



165  
2 ej<sup>o</sup>

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

TÍTULO DE TESIS

**ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y  
QUÍMICAS DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS ALEDAÑOS AL INGENIO  
AZUCARERO "EL POTRERO" EN CÓRDOBA, VERACRUZ, MÉXICO.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**BIÓLOGA**

P R E S E N T A :

**HILDA RIVAS SOLÓRZANO**



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

FACULTAD DE CIENCIAS

MÉXICO, D.F.

JUNIO DE 1996

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**M. EN C. VIRGINIA ABRIN BATULE**

Jefe de la División de Estudios Profesionales

Facultad de Ciencias

Presente

Los abajo firmantes, comunicamos a Usted, que habiendo revisado el trabajo de Tesis que realiz(ó)ron la pasante(s) Hilda Rivas Solórzano

con número de cuenta 8425640-1 con el Título:

Estudio y evaluación de algunas propiedades físicas y químicas de los suelos agrícolas aledaños al ingenio azucarero "El Potrero" en Córdoba, Veracruz, México.

Otorgamos nuestro **Voto Aprobatorio** y consideramos que a la brevedad deberá presentar su Examen Profesional para obtener el título de BIOLOGO

GRADO	NOMBRE(S)	APELLIDOS COMPLETOS	FIRMA
	Dra-Ing. Maria del Carmen Durán de Bazúa.		
<b>Director de Tesis</b>	M. en C. Francisco Bautista Zúñiga.		
	M. en C. Lourdes Flores Delgado.		
	Dr. José López García.		
<b>Suplente</b>	Dr. Víctor Manuel Luna Pabello.		
<b>Suplente</b>			



FACULTAD DE CIENCIAS  
SECCION ESCOLAR

**A mis padres**

**A mis hermanos**

**A mis amigos**

## AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental de la Facultad de Química de la UNAM.

A la Dra-Ing Carmen Durán de Bazúa por su dirección y apoyo en la realización de esta tesis.

Al M. en C. Francisco Bautista Zúñiga por su co-dirección y asesoría.

A los sinodales: Dr. José López García, Dr. Víctor Manuel Luna Pabello y, en especial, a la M. en C. Lourdes Flores Delgadillo, por su paciencia, asesoría y apoyo.

Al laboratorio de Análisis Físicos y Químicos del Ambiente del Instituto de Geografía de la UNAM, en especial a las M. en C. Margarita E. Gutiérrez Ruiz e Irene Sommer y a todo su equipo de colaboradores.

Al personal de los ingenios "El Potrero" y "San Miguelito" por su apoyo en la toma de muestras en campo.

A las geógrafas Laura Luna y Raquel Mondragón.

A Rosy, Rocio, Estela, América, Elenita, Patricia y Héctor,

Al M. V. Z. Guillermo Islas y Dondé.

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM (DGAPA) por el apoyo económico otorgado para el desarrollo del presente trabajo.

Al subprograma 127 "Formación básica para la investigación" de la Facultad de Química por el apoyo brindado.

Y a todos aquellos que de una u otra manera colaboraron en la realización de esta tesis.

# C O N T E N I D O

	Págs.
Índice de cuadros	i
Índice de figuras	ii
<b>RESUMEN</b>	<b>iii</b>
<b>I. GENERALIDADES</b>	<b>1</b>
1 Introducción	1
1.1 La industria azucarera	1-3
1.2 Propiedades y características de las vinazas	3-5
2 Antecedentes	5
2.1 Estudios edafológicos en suelos cañeros regados con vinazas	5-6
3 Objetivos	6
3.1 Objetivo general	6
3.2 Objetivos particulares	6
<b>II. FUNDAMENTOS</b>	<b>7</b>
1 Conceptos relativos al suelo	7-8
2 Conceptos relativos a la caña de azúcar	8-13
<b>III. DESCRIPCION GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>14</b>
1 Localización	14
2 Fisiografía y geología	14
3 Hidrología	14
4 Clima	15
5 Edafología	15
6 Vegetación original	15
<b>IV. METODOLOGÍA</b>	<b>16</b>
1 Trabajo de gabinete	16
2 Trabajo de campo	16
3 Trabajo de laboratorio	17
3.1 Análisis químicos	17
3.2 Análisis físicos	18
4 Análisis estadístico de la información	18
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>19</b>
1 Análisis químicos del suelo	19
1.1 pH, materia orgánica	19-22
1.2 CIC, Na, K, Ca y Mg intercambiables	22-31
1.3 Al, Si, Fe extraíbles, P disponible, retención de fosfatos	32-40
2 Análisis físicos del suelo	41
2.1 Densidad aparente, densidad real, capacidad de campo	41-45
2.2 Arcilla, arena, limo, color en seco y húmedo	45-52
3 Relaciones entre propiedades del suelo	52-57

4	Clasificación taxonómica	57-59
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>60-62</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>63-66</b>
<b>VIII.</b>	<b>GLOSARIO</b>	<b>67-68</b>
<b>IX.</b>	<b>APÉNDICE</b>	<b>69</b>
1	Análisis estadístico	69
1.1	Comparación múltiple	72-93
1.2	Correlación simple	94-98
1.3	Prueba de t	99

## ÍNDICE DE CUADROS

		Págs.
<b>Cuadro 1</b>	Principales constituyentes de las vinazas	4
<b>Cuadro 2</b>	Constituyentes de las vinazas y sus posibles efectos en cuerpos de agua y suelos	4
<b>Cuadro 3</b>	Tasas estimadas de formación de suelo	8
<b>Cuadro 4</b>	Elementos presentes en disolución o en forma coloidal en el suelo	11
<b>Cuadro 5</b>	Formas en las que se encuentran los macronutrientes en los suelos minerales	12
<b>Cuadro 6</b>	Potencial de hidrógeno en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	20
<b>Cuadro 7</b>	Contenido de materia orgánica en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	22
<b>Cuadro 8</b>	Capacidad de intercambio catiónico con cloruro de bario en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	24
<b>Cuadro 9</b>	Contenido de sodio intercambiable con acetato de amonio en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	26
<b>Cuadro 10</b>	Contenido de potasio intercambiable con acetato de amonio en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	28
<b>Cuadro 11</b>	Contenido de calcio intercambiable con acetato de amonio en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	30
<b>Cuadro 12</b>	Contenido de magnesio intercambiable con acetato de amonio en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	31
<b>Cuadro 13</b>	Contenido de aluminio en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	33
<b>Cuadro 14</b>	Contenido de silicio en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	35
<b>Cuadro 15</b>	Contenido de hierro en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	36
<b>Cuadro 16</b>	Contenido de fósforo disponible en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	38
<b>Cuadro 17</b>	Porcentaje de retención de fosfatos en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	40
<b>Cuadro 18</b>	Valores de densidad real en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	42
<b>Cuadro 19</b>	Valores de densidad aparente en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	44
<b>Cuadro 20</b>	Valores de capacidad de campo en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	46
<b>Cuadro 21</b>	Porcentaje de arcilla en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	48
<b>Cuadro 22</b>	Porcentaje de limo en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	49
<b>Cuadro 23</b>	Porcentaje de arena en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	50
<b>Cuadro 24</b>	Color en húmedo en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	51
<b>Cuadro 25</b>	Color en seco en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	52
<b>Cuadro 26</b>	Resumen de propiedades químicas en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	70
<b>Cuadro 27</b>	Resumen de propiedades físicas en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Págs.</b>
<b>Figura 1</b> Mapa que muestra el punto donde se vierten las vinazas al canal muerto del río Atoyac	<b>4a</b>
<b>Figura 2</b> Mapa que muestra los sitios de muestreo	<b>18a</b>
<b>Figura 3</b> Potencial de hidrógeno en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	<b>20</b>
<b>Figura 4</b> Contenido de materia orgánica en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	<b>21</b>
<b>Figura 5</b> Capacidad de intercambio catiónico con cloruro de bario en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	<b>23</b>
<b>Figura 6</b> Sodio intercambiable con acetato de amonio en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	<b>25</b>
<b>Figura 7</b> Potasio intercambiable con acetato de amonio en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	<b>27</b>
<b>Figura 8</b> Calcio intercambiable con acetato de amonio en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	<b>30</b>
<b>Figura 9</b> Magnesio intercambiable con acetato de amonio en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	<b>31</b>
<b>Figura 10</b> Aluminio extraíble con oxalato-ácido en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	<b>32</b>
<b>Figura 11</b> Silicio extraíble con oxalato-ácido en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	<b>34</b>
<b>Figura 12</b> Hierro extraíble con oxalato-ácido en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	<b>36</b>
<b>Figura 13</b> Contenido de fósforo disponible en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	<b>37</b>
<b>Figura 14</b> Retención de fosfatos en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	<b>39</b>
<b>Figura 15</b> Densidad real en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	<b>41</b>
<b>Figura 16</b> Densidad aparente en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	<b>43</b>
<b>Figura 17</b> Capacidad de campo en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	<b>45</b>
<b>Figura 18</b> Porcentaje de arena limo y arcilla en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"	<b>47</b>

## RESUMEN

Este estudio forma parte de una investigación multidisciplinaria, enfocada al aprovechamiento óptimo y cuidadoso de las vinazas, las cuales son desechos generados durante el proceso industrial de obtención del alcohol etílico y, generalmente, se emplean para elevar el nivel de fertilidad de los suelos. Sin embargo, su uso prolongado y sin control puede provocar efectos adversos en las propiedades de los suelos, así como problemas de contaminación en los mismos. La caña de azúcar es un cultivo muy importante en nuestro país, debido a que constituye la materia prima en la obtención de azúcar refinada así como de otros productos a través de la sucroquímica y su rendimiento y crecimiento óptimos están estrechamente ligados a las condiciones, químicas, físicas y biológicas del suelo. El sitio de estudio se encuentra localizado a 375 km al este de la Ciudad de México y corresponde a un terreno cultivado con caña de azúcar, perteneciente al ingenio "El Potrero" ubicado en Córdoba, Veracruz, México. Se realizaron cinco perfiles en el campo, seleccionándose aquellos sitios que tenían una clara diferencia altitudinal que se reflejaba en el color del suelo, anotando algunas observaciones y determinaciones de cada sitio. El primero y tercer perfiles teóricamente no se han regado con aguas residuales, el segundo, cuarto y quinto perfiles corresponden a áreas en donde se han vertido aguas residuales.

El trabajo analítico se realizó en el Laboratorio de Análisis Físicos y Químicos del Ambiente en el Instituto de Geografía y en los del Programa de Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental de la Facultad de Química de la UNAM. Los análisis de laboratorio realizados fueron: Valores de pH, materia orgánica, cationes intercambiables, capacidad de intercambio catiónico, capacidad de retención de fosfatos, fósforo asimilable, extracción de Fe, Al y Si amorfo, color en seco y húmedo, textura, densidad aparente y real, así como capacidad de campo. Los resultados obtenidos se sometieron a análisis estadísticos para ayudar a la interpretación de los mismos. A través de estos análisis se observó un claro efecto de la profundidad del perfil del suelo sobre sus características. Para los valores de pH, hay una diferencia significativa entre los suelos regados con aguas residuales y los que no han sido regados con ellas, mostrando valores cercanos a la neutralidad (6.99) para los primeros y con alta acidez (4.48) para los segundos. Los contenidos de materia orgánica son variables en los horizontes de los cinco perfiles y entre ellos; con excepción del tercer perfil, todos los restantes tienen un contenido mayor en el horizonte superficial, como ocurre de manera natural (posiblemente se tuviera un error de muestreo o etiquetado para ese horizonte en particular). Los valores de sodio y potasio intercambiables son bajos. Los perfiles de gran acidez tienen una baja concentración de calcio y magnesio intercambiables, mientras que, en los perfiles de menor acidez la concentración de estos cationes intercambiables es mayor. El contenido de fósforo asimilable es alto en el horizonte superficial de los cinco perfiles. La capacidad de retención de fosfatos presenta valores similares en los cinco perfiles, siendo mayor la retención del primer perfil respecto a los otros cuatro. El porcentaje de Fe, Al y Si extraíbles es bajo. Los valores de densidad real y aparente corresponden a los porcentajes de arcilla y materia orgánica encontrados en el área. La capacidad de campo es normal para este tipo de suelo.

Las condiciones del suelo encontradas en el área no son del todo óptimas para el desarrollo del cultivo de la caña de azúcar. Aparentemente, los datos indican que los suelos regados con aguas residuales tienen una presencia menor de Al, Fe, Mn, Cu y Zn mientras en los no regados se tienen cantidades que podrían llegar a ser tóxicas, posiblemente por el propio pH de los suelos. La presencia de Ca de la cachaza podría hacer que las cantidades de este catión sean mayores en los suelos regados, subiendo con ello el pH. Por otra parte, la capacidad de retención de fosfatos es un factor negativo para éste o cualquier otro cultivo. El fósforo que se encuentra en el suelo o que se adiciona en forma de fertilizante, al reaccionar con los cationes Al y Fe, principalmente, pasará a formas no aprovechables por la planta; es decir, que esta retención de fosfatos está indicando la relativamente baja disponibilidad del fósforo en este tipo de suelos.

# I. GENERALIDADES

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 La industria azucarera

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) se considera originaria de Asia y la que se explota actualmente es un híbrido complejo de varias especies. El producto agrícola de esta planta es el tallo, que es el órgano donde se acumulan los azúcares, siendo mayor el contenido de sacarosa en la base; y el contenido de azúcares reductores y celulosa es mayor en la parte superior llamada macolla o cogollo de la caña. Se propaga asexualmente por trozos con una o más yemas. Presenta una fotosíntesis  $C_4$ , es una planta tropical y subtropical, cultivándose en una franja alrededor del Ecuador que llega a los 30° de latitud norte y sur.

El clima mexicano dió a la caña una cálida acogida, por encontrarse en la zona tropical y subtropical.

En México, la presencia del azúcar data de los primeros días de la conquista. Conducida desde las Islas Canarias, tuvo un rápido desarrollo en el área antillana de donde pasó a la Nueva España. Hernán Cortés la introdujo en la región de los Tuxtlas en 1521. Tiempo después, Cortés trasladó el cultivo de la caña a la hacienda de Tlaltenango, cerca de Cuernavaca e instaló el primer trapiche del que se tiene noticia en México (Hernández, 1974).

La producción azucarera quedó consolidada a principios del siglo XVII. Las principales zonas productoras eran las de Morelos, Michoacán y Veracruz, aunque el cultivo de la caña en pequeña escala era generalizado (Landázuri y Vázquez, 1988).

La clasificación taxonómica de la caña de azúcar es la siguiente (García, 1984):

División:	Espermatofita
Subdivisión:	Angiosperma
Clase:	Monocotiledónea
Orden:	Zacates
Familia:	Gramineae
Género:	<i>Saccharum</i>
Especies:	<i>officinarum</i> <i>spontaneum</i>

La industria azucarera mexicana contaba con 66 ingenios distribuidos en 14 estados, que pueden ubicarse en cuatro regiones:

Occidente:	Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Michoacán y Colima.
Oriente:	Tamaulipas, Veracruz y San Luis Potosí.
Centro:	Morelos y Puebla
Sur:	Campeche, Chiapas, Oaxaca y Quintana Roo.

Algunos de ellos, por problemas de liquidez y tecnológicos, están actualmente cerrados. A nivel nacional, Veracruz es el estado productor más importante de caña de azúcar en México.

El cultivo de la caña de azúcar es uno de los más importantes en nuestro país debido a que es la materia prima en la obtención de azúcar refinada y otros productos. Existe una diversidad de subproductos derivados de su procesamiento y su utilización representa un reto tecnológico para los países productores de este recurso natural renovable, para hacerlos más competitivos (Campos y Ríos, 1995).

Hasta el siglo XIX, la población mundial creció lentamente y, por ello, la producción de alimentos no necesitó crecer mucho. En el siglo XX, sin embargo, la población casi se triplicó entre 1900 y 1980 llegando a ser de 4 300 millones, y se prevee que llegue al menos a 6 000 millones antes de que el siglo se acabe. La solución del problema de la producción de alimentos para toda la población dependerá de la medida en que la productividad de las tierras existentes pueda incrementarse (FAO, 1984).

Para el desarrollo y rendimiento óptimo de la caña de azúcar, primero se deben determinar los factores que, tanto en el campo como en el laboratorio, caracterizan las condiciones físicas y químicas más generales, como la profundidad del suelo, su capacidad de laboreo, pendiente, drenaje natural, pedregosidad, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y capacidad de intercambio de cationes.

En la zafra 1990/1991 la producción mundial de azúcar fue de aproximadamente 114 millones de toneladas, de las cuales el 64% se obtiene de la caña de azúcar y el 36% de la remolacha en más de 2,200 fábricas en 111 países de todos los continentes, situados en su mayoría en zonas tropicales y ecuatoriales (Chen, 1991).

En la zafra 1992/1993 para México se alcanzó una producción de más de 44 millones de toneladas de caña para asegurar la autosuficiencia nacional por segundo año consecutivo, con una producción de 4 millones 80 mil toneladas de azúcar, con base en una cosecha que logró un excelente rendimiento de azúcar, sólo superado por India, Brasil y Cuba. Sin embargo, varios ingenios se han declarado en quiebra, como ya se mencionó párrafos arriba.

La industria azucarera nacional carece en su gran mayoría de un control efectivo en las descargas de sus aguas residuales, y los sistemas rudimentarios que existen actualmente carecen de un control adecuado por parte de las autoridades de las empresas (Moreno, 1994).

Actualmente, los principales países con producción de caña de azúcar son: India, Cuba y Brasil, siguiendo después México, China, Filipinas, Australia, África del Sur, Islas Hawaii, República Dominicana y Formosa.

La industria azucarera atraviesa por tres grandes problemas:

- La disminución e inestabilidad en los precios del azúcar debidos entre otras cosas a la aparición de otros edulcorantes naturales y sintéticos
- Los altos costos de producción y
- La contaminación ambiental originada por las grandes cantidades de residuos líquidos, sólidos y gaseosos que, en muchos casos, obligan a cerrar a estas industrias.

En México, de acuerdo al tipo de contaminación generada por el sector industrial, se divide a éste en 39 grupos, de los cuales 9 son los que producen la mayor cantidad de aguas residuales: azúcar, química, papel y celulosa, petróleo, bebidas, textiles, siderurgia, electricidad y alimentos, los que arrojan el 82% del total de aguas residuales de origen industrial en el país, mientras que sólo las dos primeras (azúcar y química) arrojan el 59.8% del total (Elizondo, 1993).

Dentro de los subproductos del procesamiento de la caña de azúcar, se encuentran las melazas, que son el resultante de la cristalización de la sacarosa. Estas pueden ser fermentadas para producir alcohol etílico usando levaduras del género *Saccharomyces cerevisiae*. Por limitaciones metabólicas, la concentración máxima de etanol que se obtiene en la fermentación intermitente no rebasa el 10% en volumen. En esa producción de alcohol de caña a partir de subproductos del azúcar (melazas) se obtienen enormes cantidades de agua, que superan el millón de metros cúbicos al día dependiendo de la producción. Esto hace que la agroindustria azucarera además de consumir grandes cantidades de agua, que es un recurso limitado en el país, contamine fuertemente las cuencas acuíferas, que es donde generalmente arroja sus efluentes. Las aguas residuales tienen diferente composición, dependiendo del proceso del que provienen, como lavado de caña, limpieza de evaporadores, calentadores, purga de caldera, enfriamiento de condensadores, servicios sanitarios, tinajas de fermentación y torres de destilación. De esas aguas residuales, una de las más importantes es la vinaza que proviene de la destilación del alcohol, ya que por cada litro de alcohol de 96% en volumen, se producen 10 litros de vinaza y si se considera la generación global de vinaza en todo el país (1.5 millones de metros cúbicos en 1987), su volumen o caudal es muy alto. Su reaprovechamiento, por ende, implica un estudio cuidadoso para evaluar su efecto en el ambiente. Esta corriente pobre en etanol, la vinaza, que sale de la primera torre de destilación, contiene casi todos los productos secundarios de la fermentación (Castro y Villegas, 1990; Durán-Domínguez-de-Bazúa, 1994; Durán de Bazúa et al, 1991).

## 1.2 Propiedades y características de las vinazas

Las vinazas contienen principalmente material disuelto que, medido como demanda química de oxígeno (DQO), alcanza valores de hasta 150 g/L (casi mil veces la cantidad presente en aguas residuales domésticas). Tienen un pH menor a 5, lo que las convierte en un residuo ácido que van corroyendo los materiales de recipientes y tuberías y, por lo tanto, van acumulando metales en disolución. Contienen cantidades importantes de iones sulfato y de iones potasio, lo que puede generar problemas al ser metabolizados por las bacterias sulfatorreductoras que producen ácido sulfhídrico. Además, contienen cantidades importantes de nitrógeno total (1600 mg/L) y amoniacal (150 mg/L), lo que podría constituir una fuente de nitrógeno barata para los suelos en los que se cultiva la caña, si no es metabolizado antes por las bacterias del suelo.

Ese contenido de nitrógeno total (1600 mg/L), para el caso de las fuentes hídricas puede llegar a generar eutroficación, como en la actualidad ocurre, ocasionando por esto la muerte de especies superiores aerobias acuáticas, tanto animales como vegetales, al consumirse el oxígeno disuelto presente en ellas por las bacterias que lo metabolizan. La temperatura a la que salen las vinazas de las torres de destilación es de casi 80°C.

El ingenio azucarero "El Potrero" ubicado en Córdoba, Veracruz, a 375 km al este de la Ciudad de México cuenta con: 20 000 hectáreas de superficie cultivable, un rendimiento de campo de 76.0 toneladas/ha, 161 días de zafra, durante los cuales en promedio muele 1,400 toneladas de caña por hora y genera 10.69% de azúcar de la caña producida, tiene una capacidad de molienda de 11,000 toneladas de caña/día y usa sus aguas residuales, entre ellas las vinazas, diluidas con aguas desviadas del río Atoyac en el riego de una parte de sus campos (desde hace 45 años se riega una extensión menor al 45% y desde hace 26 años se riega con esas aguas residuales que contienen vinazas el 48% de su superficie). El riego lo realiza a través de un sistema especialmente proyectado, con 33 obras principales y una red de 390 kilómetros de canales. Existen 53 kilómetros entre la descarga de la fábrica al sistema y el desalojo de los remanentes del riego al cuerpo receptor. La producción de vinazas es de alrededor de 212,000 litros al día durante la época del año en que se produce alcohol etílico (enero a agosto o

septiembre, aproximadamente) y son vertidas al canal muerto del río Atoyac (Chávez, 1994). La Fig. 1 muestra el plano de distribución de las aguas de riego.

Las vinazas, como todos los residuos industriales, varían en su composición, la cual depende de la materia prima utilizada durante la fermentación, así como del proceso en general. En el cuadro 1 se muestran algunas características de las vinazas producidas en el ingenio Alianza Popular en San Luis Potosí (Durán de Bazúa et al., 1991).

Si las vinazas fueran aplicadas a suelos de tipo calcáreos, alcalinos, con baja capacidad de intercambio de cationes, baja conductividad hidráulica, baja capacidad de campo y bajos contenidos de nitrógeno, potasio y otros micronutrientes podrían darles características positivas, convirtiéndose en enmiendas, debido a su contenido de materia orgánica (humus), nitrógeno, potasio y a su pH ácido. En el cuadro 2 se muestran los constituyentes de las vinazas y sus posibles efectos en cuerpos de agua y suelos.

**Cuadro 1. Principales constituyentes de las vinazas (Durán de Bazúa et al., 1991)**

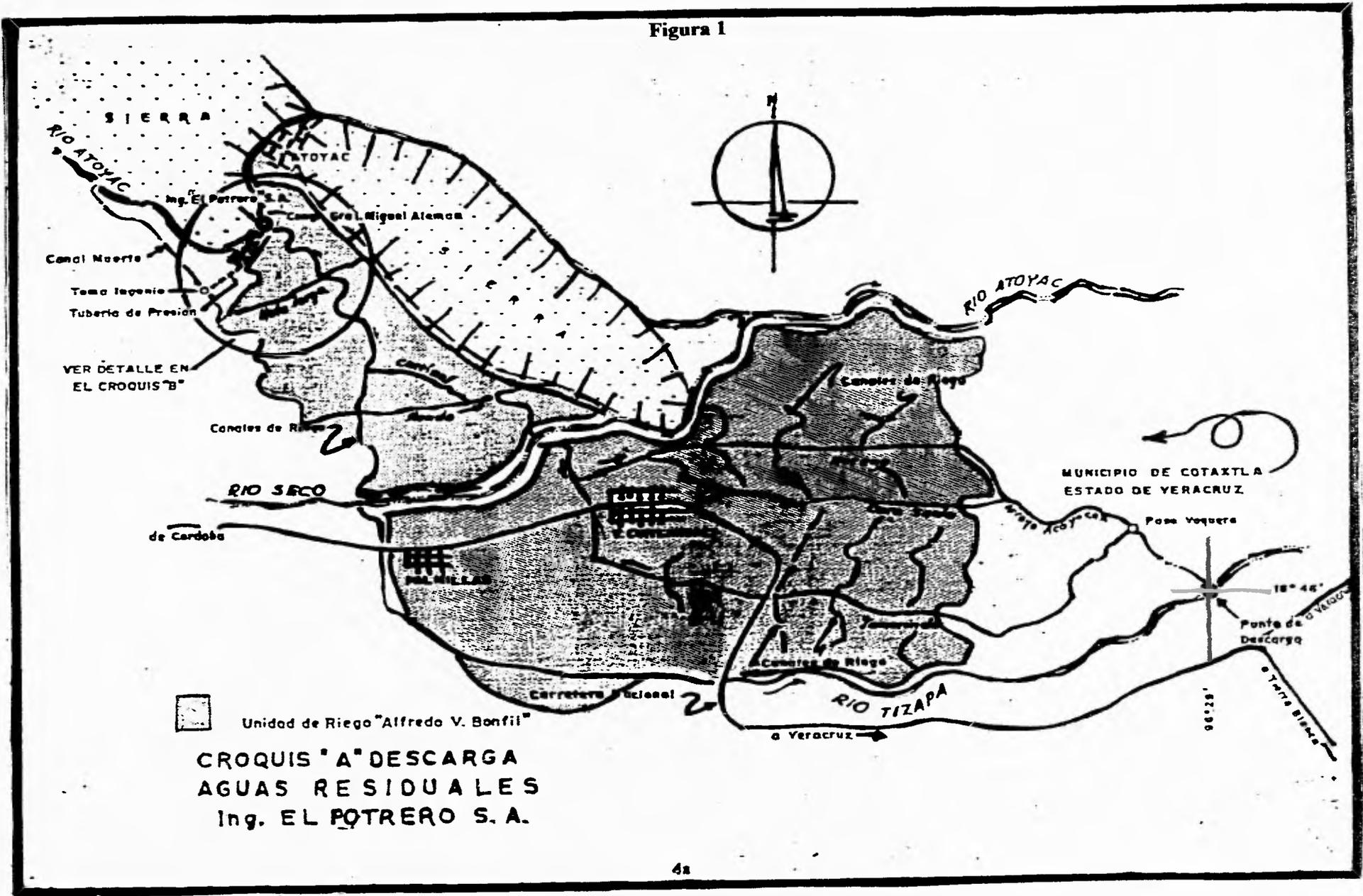
Parámetro	Cantidad
pH	4.2 - 7.0
alcalinidad, g/L	5.8
turbiedad	3000
sólidos totales, g/L	69 90
DBO, mg O <sub>2</sub> /L	32,500
DQO, g O <sub>2</sub> /L	69 - 128
nitrógeno total, g/L	1.2 - 1.6
nitrógeno amoniacal, mg/L	150
iones sulfato, g/L	3.1 - 5.8
iones potasio, g/L	8.1
iones sodio, g/L	0.14

**Cuadro 2. Constituyentes de las vinazas crudas y sus posibles efectos en cuerpos de agua y suelos (Durán de Bazúa et al 1991, modificada por Bautista, 1994)**

Parámetro	cantidad	agua	suelo
pH	4.2	X	B, X
alcalinidad, g/L	5.8	-	-
turbiedad	30000	XX	-
sólidos totales, g/L	69 - 90	XX	B, -, X
DBO, mg O <sub>2</sub> /L	31,500	XXX	BB
DQO, g O <sub>2</sub> /L	69 - 128	XXX	BB
nitrógeno total, g/L	1.2 - 1.6	XXX	BB, PP
nitrógeno amoniacal, mg/L	150	XXX	BB, PP
iones sulfato, g/L	3.1 - 5.8	X	B, -, PP
iones potasio, g/L	8.1	X	BB
iones sodio, g/L	0.14	-	-, PP

X= dañino, XX= muy dañino, XXX= extremadamente dañino  
B= benéfico, BB= muy benéfico, -= indiferente y PP= potencialmente peligroso.

Figura 1



El reuso de algunos de los residuos o subproductos generados por esta rama industrial es una posibilidad de solución a los problemas de contaminación que, a la vez repercutirían favorablemente en los costos de producción. Tal sería el objetivo de estudiar el efecto de la aplicación de las vinazas "crudas", tratadas anaerobiamente y anaerobia-aerobiamente en los suelos del ingenio azucarero "El Potrero" en Córdoba, Veracruz, siendo por ello necesario el estudio preliminar de algunas propiedades físicas y químicas de esos suelos.

Consecuentemente, el propósito del presente estudio es el análisis de algunas de las propiedades físicas y químicas de los suelos aledaños al ingenio "El Potrero" para ver el posible efecto del riego con las aguas residuales provenientes de la propia fábrica.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1 Estudios edafológicos en suelos cañeros regados con vinazas**

El tratamiento de las aguas residuales conocidas como vinazas ha sido motivo de estudio de varias investigaciones, entre las que se encuentra el tratamiento biológico aerobio y anaerobio-aerobio, el cual es considerado como un proceso bioquímico en el que los microorganismos anaerobios y facultativos, licúan, gasifican y mineralizan los sólidos orgánicos para obtener energía y ciertos elementos tales como carbono para la síntesis de su protoplasma. El tratamiento de estos residuos ha sido con el fin de reducir la carga orgánica disuelta en la vinaza, lo cual se ha llegado a obtener hasta en un 90%; estos sistemas generan como subproductos biogás y biomasa microbiana a expensas de la materia orgánica disuelta en la vinaza. Sin embargo, el 10% restante es material no biodegradable, por lo que aún se hacen necesarias otras investigaciones que ayuden a resolver el problema de la contaminación remanente en las aguas tratadas a través de su uso como aguas de riego (Durán de Bazúa et al, 1988, 1991, 1994).

Actualmente, las vinazas se analizan y estudian para utilizarse como complemento dietético para animales, lográndose resultados alentadores aunque no definitivos (Valdés et al., 1991a).

También existen estudios preliminares sobre la evaluación de los lodos anaerobios producidos a partir del tratamiento de las aguas residuales de las destilerías (Valdés et al., 1991b), encontrando una alta calidad como abono (biofertilizante, es el término utilizado por los autores), debido a las altas cantidades de materia orgánica, N, P, K y cantidades importantes de Zn y Cr reportadas por otros investigadores como Otero y González, en 1991.

Mena y Martínez, en 1986, probaron la efectividad del agua residual de una fábrica de azúcar y del mosto de las destilerías de alcohol en la fracción orgánica y la actividad biológica de un suelo salino previamente tratado o no con cachaza, en el valle de Guantánamo, que se caracteriza por tener mala estructura y ser pobre en materia orgánica. Los autores demostraron que ambos residuos, incrementan el contenido de N y C en el suelo y modifican las relaciones ácido húmico/ácido fúlvico y C/N; también aumentan las bacterias, hongos (actinomicetos) y la actividad de la deshidrogenasa. Los mejores resultados los obtuvieron del tratamiento con el residuo de destilería, ya que en él predominan los compuestos de naturaleza proteica, carbohidratos simples y fenoles mientras que los residuos del azúcar son materiales lignocelulósicos (bagacillo) los que lo componen.

Orlando (1994), reporta el uso agrícola de vinaza en cultivos de caña, como un sustituto parcial o total de los fertilizantes minerales, ya que ha obtenido incrementos significativos sobre los rendimientos en la caña cuando la vinaza es aplicada a las raíces o a la planta. En dosis

adecuadas, las vinazas pueden incrementar los valores de pH del suelo, las concentraciones de nutrimentos (K, Ca, Mg, S), de materia orgánica y de capacidad de intercambio catiónico del suelo; también puede mejorarse la actividad microbiológica cuando la vinaza es aplicada en dosis relativamente altas, ya que induce un incremento sobre los niveles de  $\text{NO}_3$ , pero cuando este residuo se aplica en exceso la calidad de la caña decrece. Todo esto, naturalmente, depende de las características físicas y químicas de los suelos en cuestión.

El reuso de algunos de los residuos o subproductos generados por esta rama industrial es una posibilidad de solución a los problemas de contaminación que, a la vez, repercuten favorablemente en los costos de producción. Tal sería el objetivo de estudiar el efecto de la aplicación de las vinazas "crudas", tratadas anaerobiamente y anaerobia-aerobiamente en los suelos de un ingenio azucarero ubicado en Córdoba, Veracruz, México siendo por ello necesario el estudio preliminar de algunas propiedades físicas y químicas de esos suelos en particular.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar algunas de las propiedades físicas y químicas de los suelos agrícolas aledaños al ingenio "El Potrero", con el fin de que estos constituyan una base a estudios posteriores sobre el efecto de las vinazas regadas en estos suelos.

#### **3.2 OBJETIVOS PARTICULARES**

- Identificar las posibles causas edáficas que limitan el desarrollo óptimo de la caña de azúcar.
- Identificar las unidades de suelo aledañas al ingenio.

## II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 1. Conceptos relativos al suelo

El suelo puede considerarse un biocistema en donde tienen lugar reacciones físicas, químicas y biológicas. Estos procesos están controlados por factores formadores del suelo que incluyen el clima, material parental, relieve, organismos y tiempo (Zinck, 1990).

El suelo es de vital importancia para las actividades humanas puesto que en él se desarrollan diferentes actividades tales como:

- Conservación, que considera al suelo como el sustrato de donde se desprenden todas las formas de vida de flora y fauna silvestres de tipo terrestre.
- Agronómicas, las cuales consideran al suelo como un medio para cultivar plantas e incrementar su productividad.
- Ingenieriles, que consideran al suelo como una fuente de materiales para trabajos de construcción, o como un soporte para estructuras de ingeniería relacionadas con desarrollos urbano, industrial y de transporte.
- Sanitarias, que consideran al suelo como un almacén o filtro urbano, industrial o de desperdicios agrícolas.
- Recreación y estéticas, que consideran al suelo como un área de descanso, recreación o simple disfrute del paisaje y, por lo tanto, afecta las posibilidades de mejorar la calidad de vida (Zinck, 1990).

Muy frecuentemente, no todos los suelos son considerados como un recurso ilimitado en tiempo y en espacio, ya que presentan tres atributos: escasez, vulnerabilidad y lenta formación.

**Escasez.** Los buenos suelos para la agricultura son escasos y representan sólo una pequeña proporción del total mundial, ya que los suelos se ven afectados por un drenaje pobre, alta salinidad, alta sodicidad, baja fertilidad, erosión, formación de duripanes, etc, lo cual dificulta su manejo y requiere de altos costos de producción.

**Vulnerabilidad.** Los suelos son frecuentemente alterados por el hombre; el daño que el hombre induce incrementa en extensión y en rapidez la erosión natural. Los suelos pueden llegar a presentar signos de exhaustión y fragilidad física. La degradación del suelo se presenta por:

- Erosión del suelo por agua, viento y otros meteoros.
- Agotamiento de la fertilidad del suelo.
- Compactación superficial y del subsuelo.
- Salinización y alcalinización.
- Contaminación por fertilización, plaguicidas, residuos industriales y lluvia ácida (Zinck, 1990).

**Lenta formación.** Con el propósito de hacer conciencia social se debe considerar al suelo como un recurso no renovable, en escalas de vida humana, ya que se requiere de centurias o milenios para la formación de un espesor capaz de cubrir apropiadamente el crecimiento y desarrollo de una planta.

El daño hecho a un suelo puede ser evaluado en términos cuantitativos (pérdidas) y cualitativos (deterioro).

Entre otras cosas, debido a su lenta formación, el suelo requiere, antes de ser explotado, ser estudiado, lo cual la mayoría de las veces no ocurre. Esto ha provocado que haya sido fuertemente alterado por la mano del hombre a través del tiempo. Es por ello que la importancia de conocer las características físicas y químicas de cada suelo es prioritaria, aunque este suelo se encuentre ya en uso. Este conocimiento comienza en el campo con una descripción precisa que proporcione la base para los estudios sobre formación o desarrollo de los suelos. El cuadro 3 presenta las tasas estimadas de formación del suelo. A las diferentes capas de suelo, desde la superficie hacia abajo se les denomina horizontes y se les asignan las letras A, B, etc, según su origen pedogenético (en orden de profundidad, generalmente).

**Cuadro 3. Tasas estimadas de formación de suelo (Zinck, 1990)**

Material de suelo	Tiempo de formación (años)	Profundidad de suelo (cm)	Tasa de formación (años/cm)
Horizonte A (Mollisol)	400	33	12
Horizontes A+B (Alfisol)	4,000	100	40
Horizontes A + B (Oxisol)	75,000	100	750

El conocimiento de las necesidades del cultivo en una región determinada es de valor incierto sin un conocimiento de los procesos de formación de los suelos estudiados y de las semejanzas y diferencias entre sus perfiles actuales. Para llegar a tales conocimientos deben ser consideradas tres fases: (1) la génesis del suelo o la evolución de un suelo desde su material originario; (2) la clasificación de los suelos; y (3) los estudios del suelo, su interpretación y utilización (Zinck, 1990).

## 2. Conceptos relativos a la caña de azúcar

Los factores que influyen en el desarrollo de la caña son: climáticos y edáficos.

### A.- Factores climáticos

La temperatura, la luz y la humedad son los principales elementos del clima que controlan el desarrollo de la caña de azúcar.

**Temperatura.** García, en 1984, determinó los siguientes índices de temperatura.

- |    |  |               |
|----|--|---------------|
| a. | Margen de germinación óptimo de:                             | 32 a 38°C     |
| b. | Margen óptimo para el desarrollo y absorción de nutrimentos: | 27°C          |
| c. | Margen de desarrollo normal de la caña:                      | 21 a 38°C     |
| d. | Margen en el que la caña retarda su desarrollo:              | de 10 a 21°C  |
| e. | Margen en el que la caña paraliza sus funciones:             | menos de 10°C |
| f. | Margen en el que la caña se daña:                            | menos de 2°C  |

**Luz.** Si la insolación se reduce, el rendimiento de la caña también disminuye y llega a la madurez a una mayor edad.

**Humedad.** Roger (1974) reporta que el crecimiento de la caña es uniforme en tanto que la humedad del suelo esté dentro de los límites de la capacidad de campo. Las lloviznas y rocíos

abundantes influyen en el desarrollo de la caña, puesto que ésta puede absorber humedad a través de las hojas y de las vainas; las lloviznas ligeras conservan el follaje limpio y también elevan la humedad ambiente, reduciendo pérdidas por transpiración.

La altitud de los campos cañeros varía desde cerca del nivel del mar en áreas costeras del Pacífico y del Golfo de México, hasta los 1,350m en zonas de Jalisco y Michoacán (Hernández, 1983).

## **B.- Factores edáficos**

**Propiedades físicas.** Entre las condiciones del suelo que restringen el crecimiento de las raíces está la compactación, por la destrucción de la estructura del suelo y que generalmente se presenta con una reducción del volumen de los macroporos teniéndose así microporos de tamaño uniforme que disminuyen la permeabilidad del aire y agua. Esto trae como consecuencia una pobre aireación (Humbert, 1984). Para el buen crecimiento de las raíces, el suelo debe tener un sistema permanente, heterogéneo y continuo de poros que le proporcionen una buena aireación, disponibilidad de humedad y que carezcan de condiciones químicas adversas (Dijkerman, 1981).

**Profundidad efectiva.** Este es uno de los factores más importantes para el desarrollo de la caña de azúcar, vinculado a la extensión del sistema radical y a las reservas nutrimentales del suelo. Está determinado generalmente por la pedregosidad, la erosión y por la profundidad del material parental, los pedregones son factores edáficos negativos que determinan en gran medida el manejo de los suelos.

El mantenimiento de las condiciones óptimas del suelo para el crecimiento de la caña de azúcar es decisivo para el logro de rendimientos económicos, sumado a una nutrición adecuada, el mantenimiento de un balance entre la humedad del suelo y la oxigenación de éste. El drenaje de los suelos sirve para evacuar excesos de agua de la zona de absorción, con el fin de evitar la saturación del suelo. El exceso de humedad afecta desfavorablemente algunas propiedades físicas del suelo de importancia para el desarrollo de los cultivos; el efecto más importante es la aireación de la zona radicular; otras propiedades afectadas son la estructura, permeabilidad y temperatura, que causan algunos problemas, como la absorción de nutrimentos.

El buen drenaje fomenta la aireación del suelo, estimula la actividad microbiana benéfica, facilita el mullimiento del suelo con las labores de preparación y promueve el desarrollo de un sistema radicular vigoroso. La falta de aireación ocasionada por los excesos de agua, generalmente viene acompañada por síntomas claros de deficiencia de nutrimentos. La transpiración se reduce drásticamente y las hojas se marchitan y arrugan en forma semejante a la producida por la sequía, indicando una reducida absorción de agua ocasionada por la dificultad de la planta para tomarla en condiciones de saturación (Hernández, 1983).

La caña de azúcar es un cultivo que requiere, para su óptimo desarrollo, de un drenaje moderado a uno bien drenado. Los suelos bien drenados tienen colores cafés (10YR, 7.5 YR), café rojizo (5YR, 2.5YR) y rojo (10YR) (Dijkerman, 1981).

La caña de azúcar es una planta que tolera muy bien diferentes condiciones del suelo. Se le cultiva con éxito, tanto en terreno arcilloso muy pesado como en turba casi pura o en terrenos extremadamente arenosos.

La caña tolera valores de pH de 4.0-10.0.

La lista siguiente, señala las características ideales de los suelos que se pretendan destinar al cultivo de la caña de azúcar, la cual debe ser considerada como indicadora y no como limitativa:

Terrenos de origen volcánico o aluviones recientes	
Textura limosa o arcillosa-arenosa	
Estructura granulada porosa	
Profundidad de los suelos	
Índice o clasificación	Profundidad
Suelos no cañeros	menos de 30 cm
Suelos cañeros de segunda clase	de 30 a 60 cm
Suelos cañeros de primera clase	más de 90 cm
pH entre 6.0 y 8.0	
Vida microbiana activa y suficiente contenido de materia orgánica y N	
Reservas de elementos minerales asimilables	
Ni exceso de sales tóxicas, ni carencia de oligoelementos	
Topografía poco inclinada y regular	

Las operaciones más comunes para aumentar la productividad de un terreno para el cultivo de caña consisten en:

- Airar el suelo por medio de trabajos de labranza profunda.
- Incorporar al suelo desechos orgánicos como estiércol
- En caso de acidez encalar al comienzo de la plantación para elevar el pH

El suelo proporciona a las plantas superiores varios factores esenciales, los principales son el soporte mecánico, el agua, el oxígeno para la respiración de las raíces y los nutrientes, los cuales deben estar presentes en formas utilizables y en concentraciones óptimas (demasiado calcio, por ejemplo, puede interferir con la asimilación del fósforo y la del boro o puede provocar clorosis debida a una reducción del hierro, zinc o manganeso del suelo).

Las plantas superiores obtienen la mayor parte del carbono y del oxígeno directamente del aire, por fotosíntesis. Los iones  $\text{CO}_3^-$  y  $\text{HCO}_3^-$  están en la solución del suelo y existe evidencia de que pueden ser adsorbidos por las plantas verdes. El hidrógeno se toma, directa e indirectamente del agua del suelo. Todos los demás elementos esenciales, excepto el  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , son obtenidos de la solución o de los sólidos del suelo. De los dieciséis elementos esenciales obtenidos del suelo por las plantas, nueve son usados relativamente en grandes cantidades, estos son: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S y se designan como macronutrientes.

El Fe, Mn, Cu, Zn, Bo, Mo y Cl son utilizados por las plantas superiores en pequeñas cantidades y, por ello, se les llama micronutrientes.

Existen dos fuentes generales de nutrientes fácilmente asimilables en el suelo: (1) nutrientes adsorbidos por los coloides y (2) las sales en la solución del suelo. En ambos casos los elementos esenciales están presentes como iones. Los cationes son adsorbidos por los coloides, en su mayor parte; mientras que los aniones y una pequeña fracción de los cationes, se hallan en la solución del suelo.

Los iones más importantes presentes en la solución o en los coloides del suelo (Buckman y Brady, 1991) se presentan en el cuadro 4

Los requerimientos nutrimentales para la caña de azúcar son los mismos en cualquier unidad de suelo.

El pH del suelo puede influir en el crecimiento de las plantas de dos maneras: (1) a través del efecto directo del ión  $H^+$ ; (2) indirectamente, por su influencia sobre la asimilación de los nutrientes y la presencia de iones tóxicos.

A valores bajos del pH se atribuye menor disponibilidad de nutrientes e insuficiencia de otros necesarios para la planta como el Ca y el Mg. En estos bajos valores de pH llega al máximo la solubilidad de los cationes (micronutrientes), y cuando el pH aumenta, la solubilidad y asimilación de éstos por las plantas disminuye. En suelos muy ácidos existe una abundancia relativa de los iones Al, Fe, Mn, Zn y Cu y sus concentraciones incluso pueden llegar a ser tóxicas.

**Cuadro 4. Elementos presentes en disolución o adsorbidos en los coloides del suelo (Buckman y Brady, 1991)**

Elemento	Formas más comunes en la naturaleza	Iones
hierro	óxidos, sulfuros y silicatos	$Fe^{+3}$ , $Fe^{+2}$
manganeso	óxidos, silicatos y sulfuros	$Mn^{+3}$ , $Mn^{+2}$
zinc	sulfuros, óxidos y silicatos	$Zn^{+2}$
cobre	sulfuros, hidrocarbonatos	$Cu^{+2}$ , $Cu^{+1}$
boro	boro-silicatos, boratos	$BO_3^-$
molibdeno	sulfuros, molibdatos	$MoO_4^-$
cloro	cloruros	$Cl^-$
carbono	carbonatos, bicarbonatos	$CO_3^-$ , $HCO_3^-$
agua	ionizada	$H^+$ , $OH^-$

La asimilación de los nutrientes depende de las condiciones del suelo, la clase de planta y su grado de crecimiento (Cuadro 5). Los suelos pueden tener deficiencias nutritivas por :

- 1.- Las cantidades deficientes de los diferentes nutrientes presentes en los suelos.
- 2.- Sus formas de combinación.
- 3.- El proceso por el cual estos elementos resultan asimilables para las plantas.
- 4.- La solución del suelo y su pH.

Cuando el Ca escasea en un suelo, éste tiende a ser ácido. Por consiguiente, se le necesita no sólo como nutriente, sino también para controlar la acidez del suelo (Buckman y Brady, 1991)

Prácticamente todo el N y gran parte del S y P, están contenidos en combinaciones orgánicas.

El potasio es requerido por la caña de azúcar en cantidades mayores que cualquier otro nutriente. Sus funciones son múltiples:

- Favorece en primer lugar la función clorofiliana, sobre todo en el transporte de glúcidos; de ahí su importancia en la producción de la caña.
- Es necesario para la estructura de la célula, al aumentar la resistencia de sus paredes. Interviene en la asimilación del carbono, la fotosíntesis, y la síntesis de las proteínas, ya que sirve como catalizador en la reducción de los nitratos.
- Su presencia hace posible la formación de azúcar de los compuestos carbohidratos simples y la conversión del azúcar en almidón y otros carbohidratos de alto peso molecular.

- Tiene influencia también en la formación y neutralización de los ácidos orgánicos y para formar un balance de azúcar y ácidos que promueven el aroma y calidad de muchos frutos.
- En la absorción de agua por la planta, al promover la turgencia de las células y mantiene la presión interna en los tejidos de la planta, el desarrollo normal de las raíces y otros muchos procesos vitales. El potasio es el mayor constituyente de las cenizas de la caña y de los residuos del procesamiento de su jugo para obtener sacarosa (Humbert, 1984).

**Cuadro 5. Formas en las que se encuentran los macronutrientes en los suelos minerales (Buckman y Brady, 1991)**

ELEMENTO	FUENTE	FORMA ASIMILABLE POR LAS PLANTAS
Nitrógeno	Combinaciones orgánicas (proteínas, en forma coloidal y sujetas a desintegración).	Sales de amonio $\text{NH}_4^+$ Nitritos $\text{NO}_2^-$ Nitratos $\text{NO}_3^-$
Fósforo	Apatita, en forma primaria. Fosfatos secundarios de Ca, Fe y Al. Orgánico: fitina, ácidos nucleicos y otras combinaciones.	Formas inorgánicas solubles. $\text{PO}_4\text{H}^-$ $\text{PO}_4\text{H}_2^-$
Potasio	Feldespatos y mica. Silicatos secundarios de Al, como arcillas, especialmente ilita.	Iones de K absorbidos por coloides complejos $\text{K}^+$  Sales de K, tales como sulfatos, carbonatos, etc.
Calcio	Feldespatos, "hornblenda", calcita y dolomita.	Iones de Ca absorbidos por complejos coloidales $\text{Ca}^{++}$  Una variedad de sales simples de Ca
Magnesio	Mica, "hornblenda", dolomita y serpentina. Silicatos secundarios de Al, como arcillas montmorilloníticas.	Iones de Mg absorbidos por complejos coloidales. $\text{Mg}^{++}$  Numerosas sales simples de magnesio.
Azufre	Pirita y yeso. Formas orgánicas: coloidales y sujetas a descomposición.	Varios sulfitos $\text{SO}_3^-$ y sulfatos $\text{SO}_4^-$ de Ca, K, Mg, etc.

El P es poco móvil, sus pérdidas se limitan en lo esencial a la extracción que de él realiza la cosecha y a la erosión. Parte del P extraído por la cosecha retorna por los restos de éstas o por la ceniza, en forma más asimilable que cuando se encontraba nativo en el suelo; pero cierta cantidad es exportada por los tallos que salen del campo.

El N y el P están presentes casi siempre en bajas cantidades en los suelos minerales. Sin embargo, en una proporción alta presentan combinaciones no asimilables para las plantas. La mayor parte del N del suelo se encuentra en la materia orgánica; su descomposición es un proceso bioquímico muy complejo y va acompañado de la formación de anhídrido carbónico, el N aparece como compuesto de amonio y, si las condiciones son favorables, se oxida a la forma de nitrito y posteriormente a nitrato, formas en las que las plantas superiores lo absorben.

El ión fosfato, en particular, es asimilado por las plantas superiores y, al parecer, está determinado en gran parte por el pH del suelo. Cuando éste es marcadamente alcalino, el ion  $\text{HPO}_4^{=}$  es de la forma soluble en la cual se presenta el P. Cuando el pH disminuye y el suelo aparece levemente ácido, ambos iones,  $\text{HPO}_4^{=}$  y  $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$  coexisten; mientras que, con acidez elevada, casi todo el P se presenta como ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$ . Estas dos formas son las que se consideran asimilables para las plantas superiores. La caña de azúcar con manejo intensivo puede extraer de 20 a 70 kg/ha de P por año según los niveles de rendimiento (Sánchez, 1981).

Gran parte del K, Ca, y Mg existen en el suelo estrictamente en formas inorgánicas. El K asimilable es menor del 1% de la cantidad total de este elemento en el suelo.

Una pequeña proporción de K y una grande de Ca presentes en los suelos, es retenida en las superficies de los coloides como cationes adsorbidos. Estos cationes son fácilmente liberados a la solución del suelo por intercambio con otros cationes.

El Al tiende a acumularse en las raíces en donde impide la absorción y traslado del Ca y el P a la parte aérea de la planta.

Contenidos de Al móvil superiores a 1 me/100g resultan peligrosos para el cultivo de la caña de azúcar.

La caña de azúcar es un cultivo tolerante al carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ : 0-25 óptimo, 25-50 marginal; y al yeso:  $\text{CaSO}_4$ , 0-5 óptimo, 5-20 marginal).

Para producir 100 tons de caña se tiene una remoción de nutrimentos del suelo del orden de 93.7 kg de N, 75 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y 275 kg de  $\text{K}_2\text{O}$ /ha, en promedio (Correa, 1970).

La caña cultivada en suelo orgánico comúnmente tiene deficiencia de Si.

A continuación se presenta en el siguiente capítulo una descripción general de la zona de estudio.

### III. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

#### 1. LOCALIZACIÓN

El ingenio azucarero "El Potrero" está ubicado en Córdoba, Veracruz, a 375 km al este de la Ciudad de México. Las coordenadas geográficas del área de estudio están comprendidas entre los 18° 55' y los 18° 48' de latitud norte y los 96° 52' y los 96° 41' de longitud oeste. Pertenecen al municipio de Atoyac dentro de la congregación Miguel Alemán.

#### 2. FISIOGRAFÍA Y GEOLOGÍA

El ingenio azucarero "El Potrero" forma parte de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, dentro de las subprovincias de las Sierras Orientales, en el Estado de Veracruz.

El conjunto Atoyac podría tener una edad del Campanino Superior al Maestrichtiano Inferior, pertenecientes al Cretácico Superior, con un intervalo de 135 millones más menos cinco millones de años antes del presente (López, 1983; SPP, 1980).

La formación Atoyac es de carácter arrecifal. En la Sierra de Atoyac se observa un fracturamiento con dirección NW-SE (anticlinal recumbente, asociado a una falla normal). Está constituida por un anticlinal asimétrico al oriente, con el flanco occidental amplio y echados de 20° a 35° de intensidad, en el flanco oriental, la inclinación varía paulatinamente a partir del núcleo hasta quedar en posición vertical.

La Sierra de Atoyac está constituida por rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Las primeras son intrusivas: granitos y granodioritas de textura fanerítica con fracturamiento escaso a intenso, permeabilidad baja e intemperismo somero. Las extrusivas: andesítica, dacítica, basalto y brechas de composición intermedia y básica, son de textura afanítica y fanerítica. Tienen fracturamiento moderado y escaso, la permeabilidad es alta en el basalto del Cuaternario y la brecha volcánica básica, media en el basalto y la brecha del Terciario y baja para la andesita y dacita (López, 1983).

Las rocas sedimentarias son depósitos clásticos arcillosos y carbonatados evaporíticos así como y vulcanosedimentarias con caliza. Los primeros, formados por conglomerados, lutita-arenisca, arenisca y arenisca conglomerado, cementados por carbonato de calcio, silicio, óxido de hierro, con intemperismo somero, fracturamiento escaso y permeabilidad baja. Las rocas metamórficas son: esquistos, gneis, cataclasita y metasedimentaria; las dos primeras presentan fracturamiento intenso e intemperismo somero a profundo y permeabilidad baja.

Se identifican las siguientes etapas tectónicas de formación: una de carácter compresivo a finales del Paleozoico; otra también compresiva de finales del Cretácico y principios del Terciario, responsable del plegamiento y de la dislocación por fallas inversas de las unidades Mesozoicas. El relieve es muy abrupto. Atoyac es un lugar de sierras de cumbres tendidas con dolinas. En Paraje Nuevo, Potrero Viejo, Yanga y Cuitláhuac se presenta un suelo del Cuaternario, aluvial; vulcanosedimentario y sedimentario.

#### 3. HIDROLOGÍA

La zona de estudio pertenece a la cuenca hidrológica del río Papaloapan, que drena al Golfo de México. El río principal que atraviesa el área forma parte de la cuenca hidrológica del río

Atoyac. Este río se forma con escurrimientos que bajan del Iztaccihuatl desde una altitud de 4000 msnm, en los límites de los estados de México y Puebla. En su inicio se forma con las corrientes de varios escurrimientos y es hasta la confluencia de los ríos Tlahuapan y Turín donde toma el nombre de Atoyac, desciende de la sierra del mismo nombre y sus corrientes principales son de régimen perenne (INEGI, 1984a).

#### 4. CLIMA

El ingenio azucarero se encuentra en una región cálida húmeda que se caracteriza por tener una temperatura anual entre 22° y 24°C o mayor. La temperatura media del mes más frío es superior a 18°C (Soto y García, 1989). Tiene un clima Am cálido húmedo, con abundante lluvia en verano, tiene condición de "canícula" o sequía intraestival (se observa un descenso en las cifras de precipitación durante el mes de agosto).

La estación meteorológica Potrero tiene una latitud de 18° 52', una longitud de 96° 50' y una altitud de 606 m.s.n.m. De acuerdo con la gráfica de distribución anual de lluvia, la precipitación más alta es de 350 mm y se presenta para el mes de septiembre con una temperatura de 35°C, seguido de los meses de junio y julio con una precipitación ligeramente menor, los meses de mayo y octubre tienen una precipitación mayor a los 100 mm con una temperatura de 15°C, los meses restantes cuentan con una precipitación menor a los 100 mm y una temperatura menor a los 10°C (Soto y García, 1989).

#### 5. EDAFOLOGÍA

Para el Municipio de Atoyac se reportan los siguientes suelos: vertisol pélico, de color gris oscuro y vertisoles crómicos, de tonos ocre por la presencia de óxidos de hierro (INEGI, 1984d). Los vertisoles se encuentran en clima tropical y subtropical. Son suelos arcillosos dominados por arcillas minerales tales como montmorillonita que se expanden cuando están mojadas y se contraen cuando están secas, hecho que ocasiona la presencia de una microtopografía de montículos y depresiones llamada "gilgai". Una estación seca es una de las características necesarias para la presencia de un vertisol; generalmente tienen de 3 a 5% de materia orgánica (Wilding, 1984).

#### 6. VEGETACIÓN ORIGINAL

El encinar de *Quercus oleoides* formaba parte de la vegetación original del ingenio azucarero "El Potrero", árboles relictos y el tipo de suelo lo prueba. También existe el testimonio escrito (Malzine, 1873) que lo reafirma. Los encinares son bosques más o menos densos de encinos de hojas generalmente persistentes. En el ingenio este tipo de vegetación actualmente ha desaparecido por completo, habiéndose establecido en su lugar extensas plantaciones de caña, *Saccharum officinarum*. También se ubicó dentro de la región, la selva mediana subperennifolia de *Brosimum alicastrum*, la cual se caracteriza porque algunos de los árboles que la forman (alrededor de 25-50%) pierden sus hojas en lo más acentuado de la época seca. Este tipo de selva se encuentra en climas cálidos, las *Brosimum alicastrum* encontradas se desarrollan sobre suelos someros, con rocas aflorantes y mal drenaje (Chiang, 1970).

Con estos conocimientos, para alcanzar los objetivos propuestos, se presenta a continuación la metodología seguida en este trabajo.

## IV. METODOLOGÍA

### I. TRABAJO DE GABINETE

Esta etapa de trabajo incluyó una revisión bibliográfica, tendiente a recabar información sobre los suelos agrícolas de ingenios azucareros y vinazas, tanto en México como en el extranjero.

Para la descripción general de la zona de estudio se consultaron principalmente los mapas de:

INEGI. (1984a). Carta hidrológica de aguas superficiales. Orizaba E 14-6 Escala 1: 250,000 México, D. F., México,

INEGI. (1984b). Carta hidrológica de aguas subterráneas. Orizaba E 14-6 Escala 1: 250,000 México, D. F., México,

INEGI. (1984c). Carta de efectos climáticos regionales noviembre-abril y mayo-octubre. Orizaba E 14-6 Escala 1: 250,000 Orizaba México, D. F., México,

INEGI. (1984d). Carta edafológica. Orizaba E 14-6 Escala 1: 250,000 México, D. F., México,

INEGI. (1984e). Carta geológica. Orizaba. E 14-6 Escala 1: 250,000 México, D. F., México y

INEGI. (1985). Carta topográfica. Córdoba, Veracruz. E 14B57 Escala 1:50,000 México, D. F., México,

ya que una descripción precisa de ésta, proporciona las bases para los estudios de formación o desarrollo del suelo y los efectos que sobre él tengan los factores biogénicos o antropogénicos.

### 2. TRABAJO DE CAMPO

Los perfiles y, por lo tanto, el muestreo dentro de los terrenos del ingenio se realizaron tomando como base las fotografías aéreas de la zona 1:20 000 (Aerofoto, 1982) y las cartas de INEGI ya mencionadas, seleccionándose aquellos sitios que tenían una clara diferencia altitudinal. Se contó además con los conocimientos edafológicos y experiencia en campo en esa área de los ingenieros agrónomos del ingenio azucarero San Miguelito, en Córdoba, Veracruz, México. En la figura 2 se presentan los sitios de muestreo.

Se realizaron barrenaciones en varios sitios con la finalidad de delimitar grandes unidades de suelo de la zona de estudio por características del perfil (color y espesor de los horizontes).

El número de muestras se tomó dependiendo de los diferentes horizontes encontrados en cada perfil; la altura de estos varió entre los 50 y 110 cm; la profundidad a la que se llegó se debió a que, por debajo, se encontró una capa compacta.

El primero y tercer perfiles, teóricamente no han sido regados con aguas residuales, el segundo, cuarto y quinto perfiles corresponden a terrenos regados aguas residuales. Esta información fue

proporcionada por el personal del Ingenio 'El Potrero', a través de una comunicación personal de Bautista (1992).

Se observó la estructura y pedregosidad de los suelos muestreados.

Se determinaron los valores de pH y conductividad eléctrica con equipo de campo. Se realizó el análisis de color por comparación con las tablas Munsell (1990).

Se incluyeron soluciones de HCl al 10% para determinar *in situ* la presencia de carbonatos y de NaF 1M para determinar la presencia de alofano, por el método de Fieldes y Perrott (1966).

### 3. TRABAJO DE LABORATORIO

Las muestras fueron secadas al aire, molidas y tamizadas. El tamiz utilizado fue de malla 10 con una abertura de dos mm (Hodgson, 1987).

Para analizar las muestras tomadas en campo, se llevaron a cabo análisis físicos y químicos de éstas siguiéndose las metodologías estándar. Se emplearon reactivos de grado analítico marcas Baker y Merck y soluciones patrón preparadas a partir de ampolletas marca Merck.

#### 3.1 ANÁLISIS QUÍMICOS

El valor del pH se midió con un aparato electrónico marca Conductronic modelo pH-20, en suspensiones con agua destilada 1:2.5 (agua:suelo).

La materia orgánica se cuantificó con el método de Walkley y Black en Jackson (1970), corrigiendo las interferencias por fluoruros según Hesse (1971).

La capacidad de intercambio catiónico, se determinó con cloruro de bario con la técnica modificada de Gillman (1979).

Los cationes intercambiables se determinaron con acetato de amonio a un valor de pH de 7,0 (Houba, 1988).

La cantidad total de bases intercambiables ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) se evaluaron como sigue. El  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  se cuantificaron con un espectrofotómetro de absorción atómica marca Varian, en tanto que el  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  se cuantificaron con un flamómetro marca Corning modelo 400 de acuerdo a sus manuales de operación.

La extracción de aluminio y hierro se hizo con ácido oxálico (Blakemore y Searle, 1981), cuantificándose éstos posteriormente en un espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer 3110, de acuerdo a su manual de uso.

La retención de fosfatos se hizo con una solución de vanadato (Blakemore y Searle, 1981). Su cuantificación se llevó a cabo en el espectrofotómetro marca Zeiss PM2K, de acuerdo a su manual de uso.

La determinación de fósforo se realizó con fluoruro de amonio (Houba, 1988). Su cuantificación se llevó a cabo en el espectrofotómetro marca Zeiss PM2K.

### **3.2 ANÁLISIS FÍSICOS**

El color del suelo se determinó en seco y en húmedo por comparación con las tablas de Munsell (1990).

La densidad aparente se determinó por el método de la probeta (Blake, 1976).

Los valores de densidad real se obtuvieron por el método del picnómetro (Blake, 1976).

La textura se realizó por el método de Bouyoucos (Blake, 1976).

La capacidad de campo, se hizo con la olla de presión a 0.3 atmósferas (Blake, 1976).

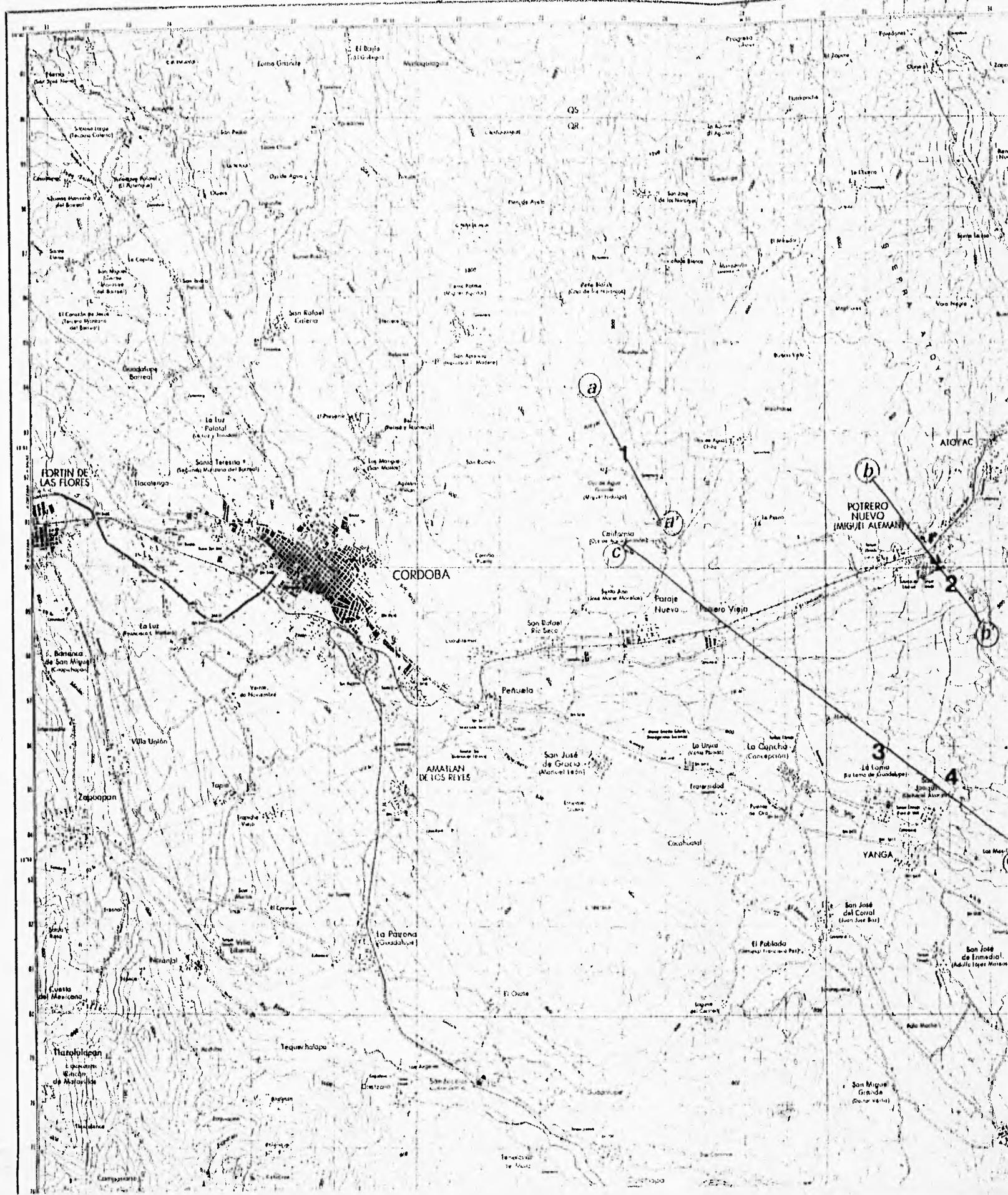
### **4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN**

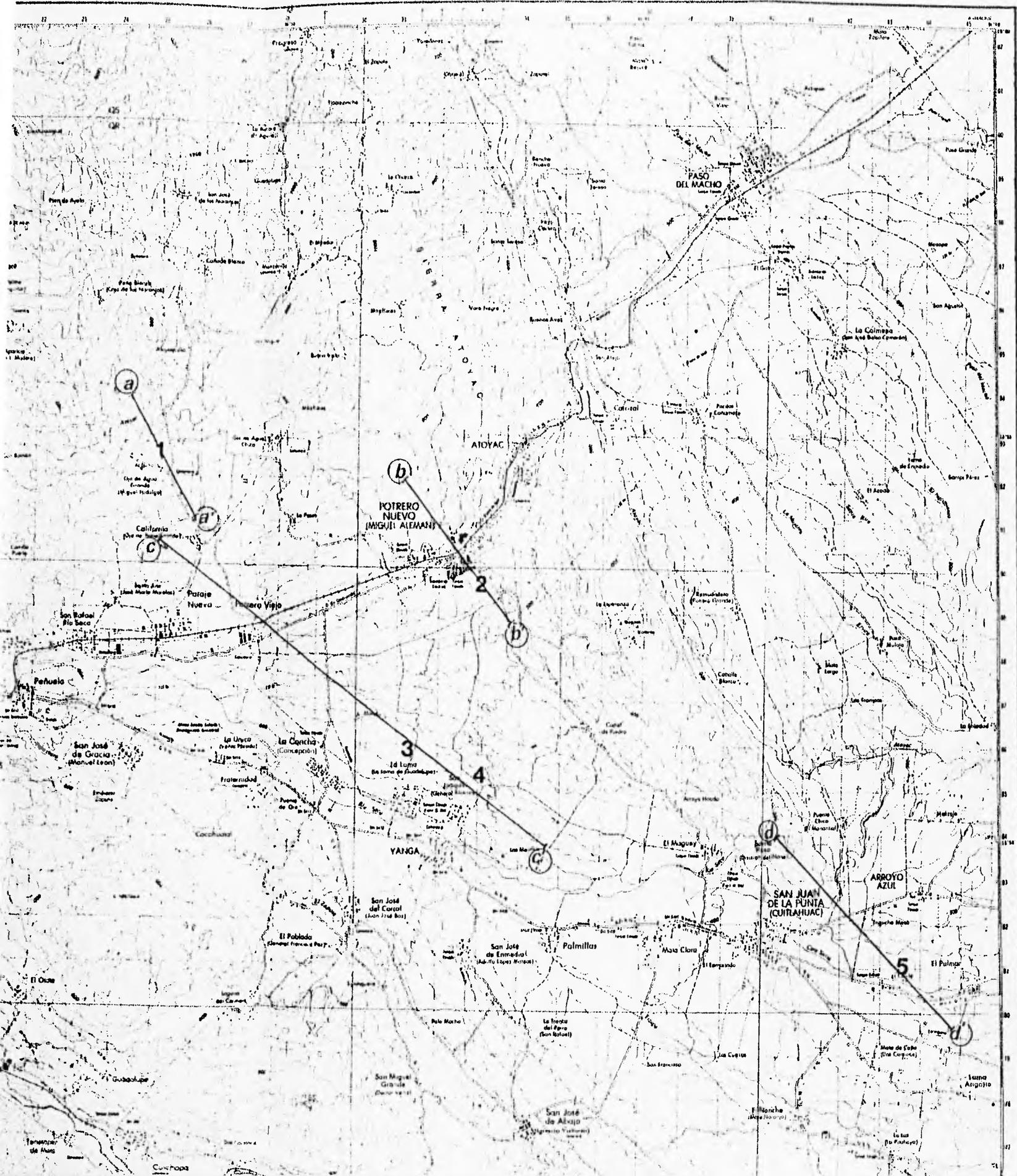
Los resultados obtenidos de los análisis mencionados anteriormente se virtieron en cuadros para su posterior interpretación y discusión. Los datos generados en el presente trabajo se sometieron a un análisis de varianza a niveles de significancia de 0.01 o 99%, de confianza; cuando éste resultaba significativo se procedía a realizar el análisis de comparaciones múltiples de Tuckey al mismo nivel de significancia (Wayne, 1982).

Todas las variables físicas y químicas estudiadas en los cinco perfiles muestreados, se sometieron a un análisis de correlación simple con el objeto de encontrar el grado y tipo de asociación entre ellas. Se realizó una prueba de t a un nivel de significancia de 0.05 o 95%, de confianza para encontrar posibles diferencias entre los perfiles teóricamente no regados con aguas residuales en comparación con los que han sido regados con aguas residuales (Wayne, 1982).

Figura 2

CÓRDOBA





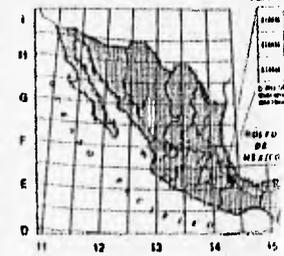
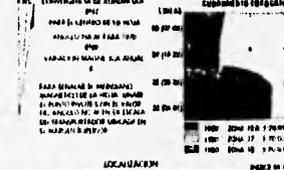
SIGNOS CONVENCION

- PUBLICACIONES**  
 CON UNO O DOS INDEMNITANTES  
 DE UNO O DOS INDEMNITANTES
- USAS FERROVIARIAS**  
 ESTACIONES DE UNO O DOS INDEMNITANTES  
 ESTACIONES DE UNO O DOS INDEMNITANTES  
 ESTACIONES DE UNO O DOS INDEMNITANTES  
 ESTACIONES DE UNO O DOS INDEMNITANTES
- AEROPUERTOS**  
 AEROPUERTO LOCAL, AEROPUERTO  
 AEROPUERTO INTERNACIONAL
- LINEAS DE CONDUCCION**  
 TELEFONICA TELEGRAFICA  
 AEROTELGRAFICA  
 CONDUCCION DE AGUA  
 CONDUCCION DE GAS
- OTROS SIGNOS CONVENCIONALES**  
 ESCUELA  
 TEMPLO  
 MONUMENTO  
 MONUMENTO HISTORICO  
 MONUMENTO CULTURAL  
 MONUMENTO NACIONAL  
 MONUMENTO INTERNACIONAL  
 MONUMENTO DE LA PAZ  
 MONUMENTO DE LA LIBERTAD  
 MONUMENTO DE LA JUSTICIA  
 MONUMENTO DE LA VERDAD  
 MONUMENTO DE LA FIDELIDAD  
 MONUMENTO DE LA LEALTAD  
 MONUMENTO DE LA AMISTAD  
 MONUMENTO DE LA COOPERACION  
 MONUMENTO DE LA SOLIDARIDAD  
 MONUMENTO DE LA HUMANIDAD  
 MONUMENTO DE LA BONDAD  
 MONUMENTO DE LA PUREZA  
 MONUMENTO DE LA CASTIDAD  
 MONUMENTO DE LA SINCERIDAD  
 MONUMENTO DE LA VERGÜENZA  
 MONUMENTO DE LA HUMILDAD  
 MONUMENTO DE LA MODESTIA  
 MONUMENTO DE LA RESERVA  
 MONUMENTO DE LA DISCRECCION  
 MONUMENTO DE LA SABIDURIA  
 MONUMENTO DE LA CIENCIA  
 MONUMENTO DE LA VERDAD  
 MONUMENTO DE LA JUSTICIA  
 MONUMENTO DE LA LEALTAD  
 MONUMENTO DE LA AMISTAD  
 MONUMENTO DE LA COOPERACION  
 MONUMENTO DE LA SOLIDARIDAD  
 MONUMENTO DE LA HUMANIDAD  
 MONUMENTO DE LA BONDAD  
 MONUMENTO DE LA PUREZA  
 MONUMENTO DE LA CASTIDAD  
 MONUMENTO DE LA SINCERIDAD  
 MONUMENTO DE LA VERGÜENZA  
 MONUMENTO DE LA HUMILDAD  
 MONUMENTO DE LA MODESTIA  
 MONUMENTO DE LA RESERVA  
 MONUMENTO DE LA DISCRECCION  
 MONUMENTO DE LA SABIDURIA
- LINEAS DE CONDUCCION**  
 TELEFONICA TELEGRAFICA  
 AEROTELGRAFICA  
 CONDUCCION DE AGUA  
 CONDUCCION DE GAS
- OTROS SIGNOS CONVENCIONALES**  
 ESCUELA  
 TEMPLO  
 MONUMENTO  
 MONUMENTO HISTORICO  
 MONUMENTO CULTURAL  
 MONUMENTO NACIONAL  
 MONUMENTO INTERNACIONAL  
 MONUMENTO DE LA PAZ  
 MONUMENTO DE LA LIBERTAD  
 MONUMENTO DE LA JUSTICIA  
 MONUMENTO DE LA VERDAD  
 MONUMENTO DE LA FIDELIDAD  
 MONUMENTO DE LA LEALTAD  
 MONUMENTO DE LA AMISTAD  
 MONUMENTO DE LA COOPERACION  
 MONUMENTO DE LA SOLIDARIDAD  
 MONUMENTO DE LA HUMANIDAD  
 MONUMENTO DE LA BONDAD  
 MONUMENTO DE LA PUREZA  
 MONUMENTO DE LA CASTIDAD  
 MONUMENTO DE LA SINCERIDAD  
 MONUMENTO DE LA VERGÜENZA  
 MONUMENTO DE LA HUMILDAD  
 MONUMENTO DE LA MODESTIA  
 MONUMENTO DE LA RESERVA  
 MONUMENTO DE LA DISCRECCION  
 MONUMENTO DE LA SABIDURIA
- LINEAS DE CONDUCCION**  
 TELEFONICA TELEGRAFICA  
 AEROTELGRAFICA  
 CONDUCCION DE AGUA  
 CONDUCCION DE GAS
- OTROS SIGNOS CONVENCIONALES**  
 ESCUELA  
 TEMPLO  
 MONUMENTO  
 MONUMENTO HISTORICO  
 MONUMENTO CULTURAL  
 MONUMENTO NACIONAL  
 MONUMENTO INTERNACIONAL  
 MONUMENTO DE LA PAZ  
 MONUMENTO DE LA LIBERTAD  
 MONUMENTO DE LA JUSTICIA  
 MONUMENTO DE LA VERDAD  
 MONUMENTO DE LA FIDELIDAD  
 MONUMENTO DE LA LEALTAD  
 MONUMENTO DE LA AMISTAD  
 MONUMENTO DE LA COOPERACION  
 MONUMENTO DE LA SOLIDARIDAD  
 MONUMENTO DE LA HUMANIDAD  
 MONUMENTO DE LA BONDAD  
 MONUMENTO DE LA PUREZA  
 MONUMENTO DE LA CASTIDAD  
 MONUMENTO DE LA SINCERIDAD  
 MONUMENTO DE LA VERGÜENZA  
 MONUMENTO DE LA HUMILDAD  
 MONUMENTO DE LA MODESTIA  
 MONUMENTO DE LA RESERVA  
 MONUMENTO DE LA DISCRECCION  
 MONUMENTO DE LA SABIDURIA

1:100,000

ESCALA

EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL: 20 M

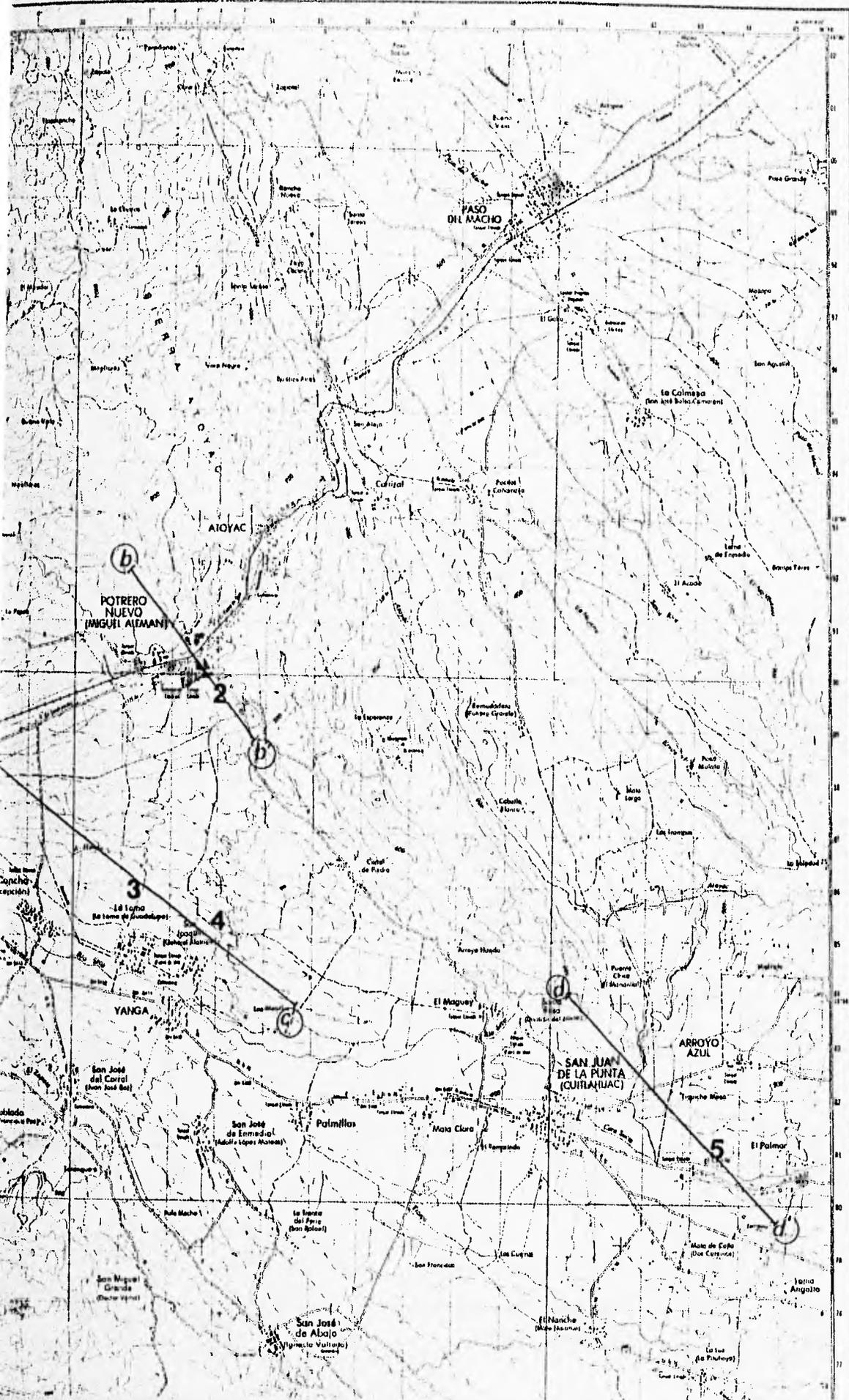


**EXPLICACION**  
 LINEAS DE CONDUCCION  
 TELEFONICA TELEGRAFICA  
 AEROTELGRAFICA  
 CONDUCCION DE AGUA  
 CONDUCCION DE GAS

**OTROS SIGNOS CONVENCIONALES**  
 ESCUELA  
 TEMPLO  
 MONUMENTO  
 MONUMENTO HISTORICO  
 MONUMENTO CULTURAL  
 MONUMENTO NACIONAL  
 MONUMENTO INTERNACIONAL  
 MONUMENTO DE LA PAZ  
 MONUMENTO DE LA LIBERTAD  
 MONUMENTO DE LA JUSTICIA  
 MONUMENTO DE LA VERDAD  
 MONUMENTO DE LA FIDELIDAD  
 MONUMENTO DE LA LEALTAD  
 MONUMENTO DE LA AMISTAD  
 MONUMENTO DE LA COOPERACION  
 MONUMENTO DE LA SOLIDARIDAD  
 MONUMENTO DE LA HUMANIDAD  
 MONUMENTO DE LA BONDAD  
 MONUMENTO DE LA PUREZA  
 MONUMENTO DE LA CASTIDAD  
 MONUMENTO DE LA SINCERIDAD  
 MONUMENTO DE LA VERGÜENZA  
 MONUMENTO DE LA HUMILDAD  
 MONUMENTO DE LA MODESTIA  
 MONUMENTO DE LA RESERVA  
 MONUMENTO DE LA DISCRECCION  
 MONUMENTO DE LA SABIDURIA

**EXPLICACION**  
 LINEAS DE CONDUCCION  
 TELEFONICA TELEGRAFICA  
 AEROTELGRAFICA  
 CONDUCCION DE AGUA  
 CONDUCCION DE GAS

**OTROS SIGNOS CONVENCIONALES**  
 ESCUELA  
 TEMPLO  
 MONUMENTO  
 MONUMENTO HISTORICO  
 MONUMENTO CULTURAL  
 MONUMENTO NACIONAL  
 MONUMENTO INTERNACIONAL  
 MONUMENTO DE LA PAZ  
 MONUMENTO DE LA LIBERTAD  
 MONUMENTO DE LA JUSTICIA  
 MONUMENTO DE LA VERDAD  
 MONUMENTO DE LA FIDELIDAD  
 MONUMENTO DE LA LEALTAD  
 MONUMENTO DE LA AMISTAD  
 MONUMENTO DE LA COOPERACION  
 MONUMENTO DE LA SOLIDARIDAD  
 MONUMENTO DE LA HUMANIDAD  
 MONUMENTO DE LA BONDAD  
 MONUMENTO DE LA PUREZA  
 MONUMENTO DE LA CASTIDAD  
 MONUMENTO DE LA SINCERIDAD  
 MONUMENTO DE LA VERGÜENZA  
 MONUMENTO DE LA HUMILDAD  
 MONUMENTO DE LA MODESTIA  
 MONUMENTO DE LA RESERVA  
 MONUMENTO DE LA DISCRECCION  
 MONUMENTO DE LA SABIDURIA



SIGNOS CONVENCIONALES

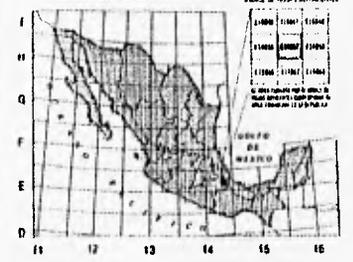
- POBLACIONES**  
 1. CIUDADES Y CABECERAS DE MUNICIPIO  
 2. VILLAGES Y PUEBLOS  
 3. CASAS Y GRANDES ESTACIONES  
 4. ESTACIONES DE FERROCARRIL  
 5. ESTACIONES DE TELEFONIA
- USOS TERRESTRES**  
 1. TERRENO DE SIEMBRA DE MAIZ  
 2. TERRENO DE SIEMBRA DE CEREAL  
 3. TERRENO DE SIEMBRA DE LEGUMINOSAS  
 4. TERRENO DE SIEMBRA DE PASTOREO  
 5. TERRENO DE SIEMBRA DE FRUTALES  
 6. TERRENO DE SIEMBRA DE CAÑA DE AZÚCAR  
 7. TERRENO DE SIEMBRA DE GOMA  
 8. TERRENO DE SIEMBRA DE CACAO  
 9. TERRENO DE SIEMBRA DE CIBOLA  
 10. TERRENO DE SIEMBRA DE ALGODON  
 11. TERRENO DE SIEMBRA DE TRIGO  
 12. TERRENO DE SIEMBRA DE SORGO  
 13. TERRENO DE SIEMBRA DE Mijo  
 14. TERRENO DE SIEMBRA DE CENIZAS  
 15. TERRENO DE SIEMBRA DE PASTOREO  
 16. TERRENO DE SIEMBRA DE SIEMBRA  
 17. TERRENO DE SIEMBRA DE SIEMBRA  
 18. TERRENO DE SIEMBRA DE SIEMBRA  
 19. TERRENO DE SIEMBRA DE SIEMBRA  
 20. TERRENO DE SIEMBRA DE SIEMBRA
- ARROYOS Y RIOS**  
 1. ARROYO PERMANENTE  
 2. ARROYO TEMPORAL  
 3. RIO PERMANENTE  
 4. RIO TEMPORAL
- LINEAS DE COMUNICACION**  
 1. FERROCARRIL  
 2. LINEA DE TELEFONIA  
 3. LINEA DE TELEFONIA DE ALTA TENSION  
 4. LINEA DE TELEFONIA DE BAJA TENSION  
 5. LINEA DE TELEFONIA DE BAJA TENSION DE ALTA TENSION
- OTROS SIGNOS CONVENCIONALES**  
 1. MONUMENTO NACIONAL  
 2. MONUMENTO LOCAL  
 3. MONUMENTO DE SIEMBRA DE MAIZ  
 4. MONUMENTO DE SIEMBRA DE CEREAL  
 5. MONUMENTO DE SIEMBRA DE LEGUMINOSAS  
 6. MONUMENTO DE SIEMBRA DE PASTOREO  
 7. MONUMENTO DE SIEMBRA DE FRUTALES  
 8. MONUMENTO DE SIEMBRA DE CAÑA DE AZÚCAR  
 9. MONUMENTO DE SIEMBRA DE GOMA  
 10. MONUMENTO DE SIEMBRA DE CIBOLA  
 11. MONUMENTO DE SIEMBRA DE ALGODON  
 12. MONUMENTO DE SIEMBRA DE TRIGO  
 13. MONUMENTO DE SIEMBRA DE SORGO  
 14. MONUMENTO DE SIEMBRA DE Mijo  
 15. MONUMENTO DE SIEMBRA DE CENIZAS  
 16. MONUMENTO DE SIEMBRA DE PASTOREO  
 17. MONUMENTO DE SIEMBRA DE SIEMBRA  
 18. MONUMENTO DE SIEMBRA DE SIEMBRA  
 19. MONUMENTO DE SIEMBRA DE SIEMBRA  
 20. MONUMENTO DE SIEMBRA DE SIEMBRA
- LIMITES**  
 1. LIMITE INTERNACIONAL  
 2. LIMITE ESTADAL
- PUNTO GEOGRAFICO**  
 1. PUNTO GEOGRAFICO  
 2. PUNTO GEOGRAFICO  
 3. PUNTO GEOGRAFICO  
 4. PUNTO GEOGRAFICO  
 5. PUNTO GEOGRAFICO
- REPRESENTACION DE LOS RIOS**  
 1. RIO PERMANENTE  
 2. RIO TEMPORAL  
 3. RIO PERMANENTE  
 4. RIO TEMPORAL  
 5. RIO PERMANENTE  
 6. RIO TEMPORAL  
 7. RIO PERMANENTE  
 8. RIO TEMPORAL  
 9. RIO PERMANENTE  
 10. RIO TEMPORAL
- AREAS EMERGENCIAS**  
 1. AREA EMERGENCIA  
 2. AREA EMERGENCIA  
 3. AREA EMERGENCIA  
 4. AREA EMERGENCIA  
 5. AREA EMERGENCIA

**PUEBLA**  
**GUANAJUATO**  
**CHAPALA**  
 Toluca  
 Acapulco  
 Compostela

1:100,000

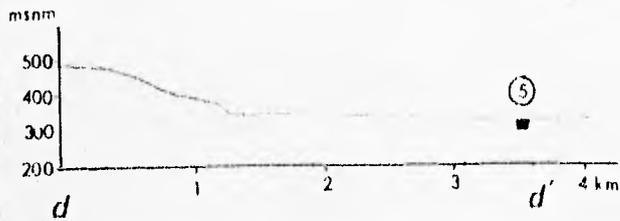
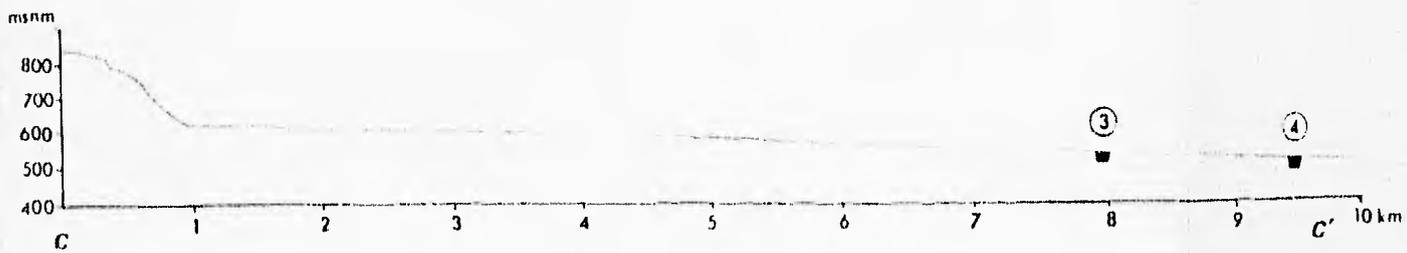
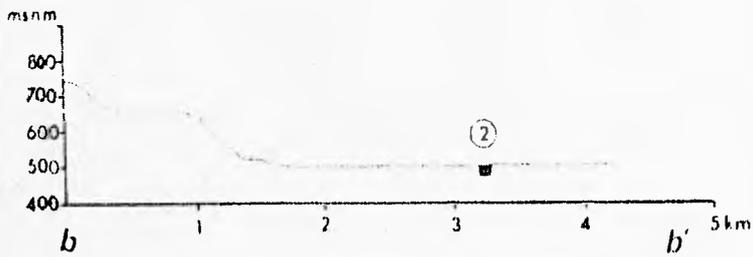
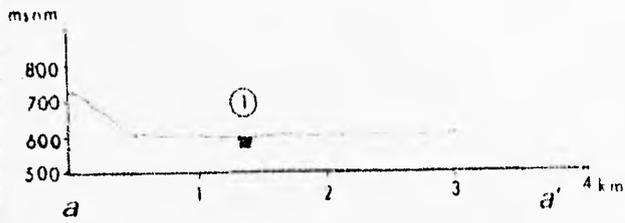
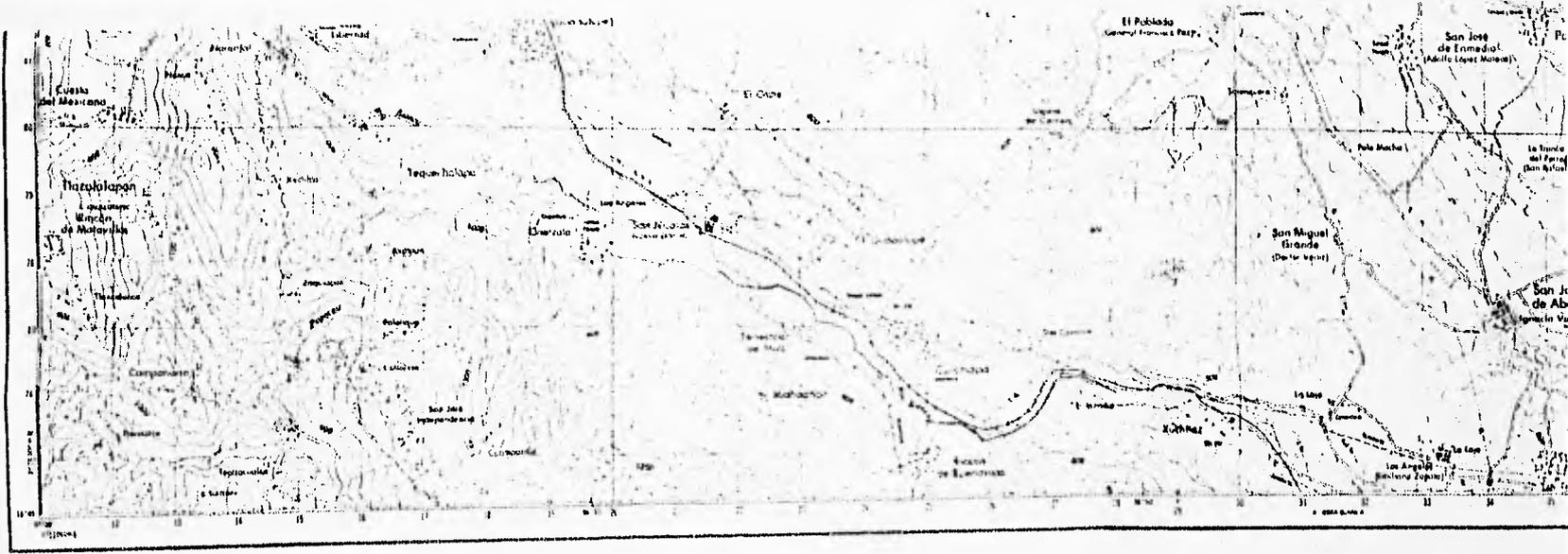


EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL: 20 METROS



**EXPLICACION**  
 1. LINEAS DE NIVEL  
 2. LINEAS DE NIVEL  
 3. LINEAS DE NIVEL  
 4. LINEAS DE NIVEL  
 5. LINEAS DE NIVEL  
 6. LINEAS DE NIVEL  
 7. LINEAS DE NIVEL  
 8. LINEAS DE NIVEL  
 9. LINEAS DE NIVEL  
 10. LINEAS DE NIVEL  
 11. LINEAS DE NIVEL  
 12. LINEAS DE NIVEL  
 13. LINEAS DE NIVEL  
 14. LINEAS DE NIVEL  
 15. LINEAS DE NIVEL  
 16. LINEAS DE NIVEL  
 17. LINEAS DE NIVEL  
 18. LINEAS DE NIVEL  
 19. LINEAS DE NIVEL  
 20. LINEAS DE NIVEL

USO DEL TIERRA	CLASIFICACION	COEFICIENTE
1. SIEMBRA DE MAIZ	100	0.1
2. SIEMBRA DE CEREAL	200	0.2
3. SIEMBRA DE LEGUMINOSAS	300	0.3
4. SIEMBRA DE PASTOREO	400	0.4
5. SIEMBRA DE FRUTALES	500	0.5
6. SIEMBRA DE CAÑA DE AZÚCAR	600	0.6
7. SIEMBRA DE GOMA	700	0.7
8. SIEMBRA DE CIBOLA	800	0.8
9. SIEMBRA DE ALGODON	900	0.9
10. SIEMBRA DE TRIGO	1000	1.0
11. SIEMBRA DE SORGO	1100	1.1
12. SIEMBRA DE Mijo	1200	1.2
13. SIEMBRA DE CENIZAS	1300	1.3
14. SIEMBRA DE PASTOREO	1400	1.4
15. SIEMBRA DE SIEMBRA	1500	1.5
16. SIEMBRA DE SIEMBRA	1600	1.6
17. SIEMBRA DE SIEMBRA	1700	1.7
18. SIEMBRA DE SIEMBRA	1800	1.8
19. SIEMBRA DE SIEMBRA	1900	1.9
20. SIEMBRA DE SIEMBRA	2000	2.0

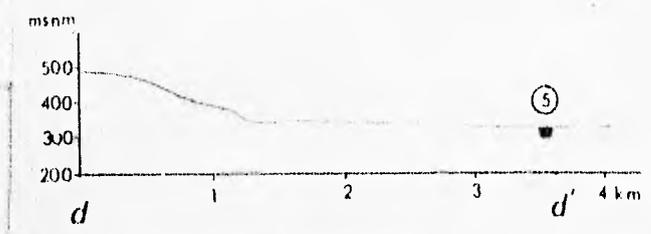
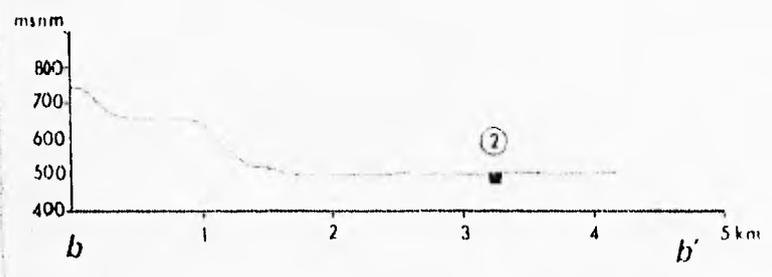
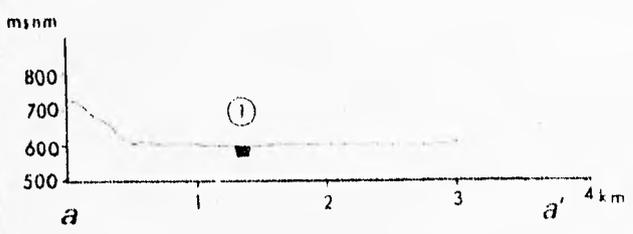
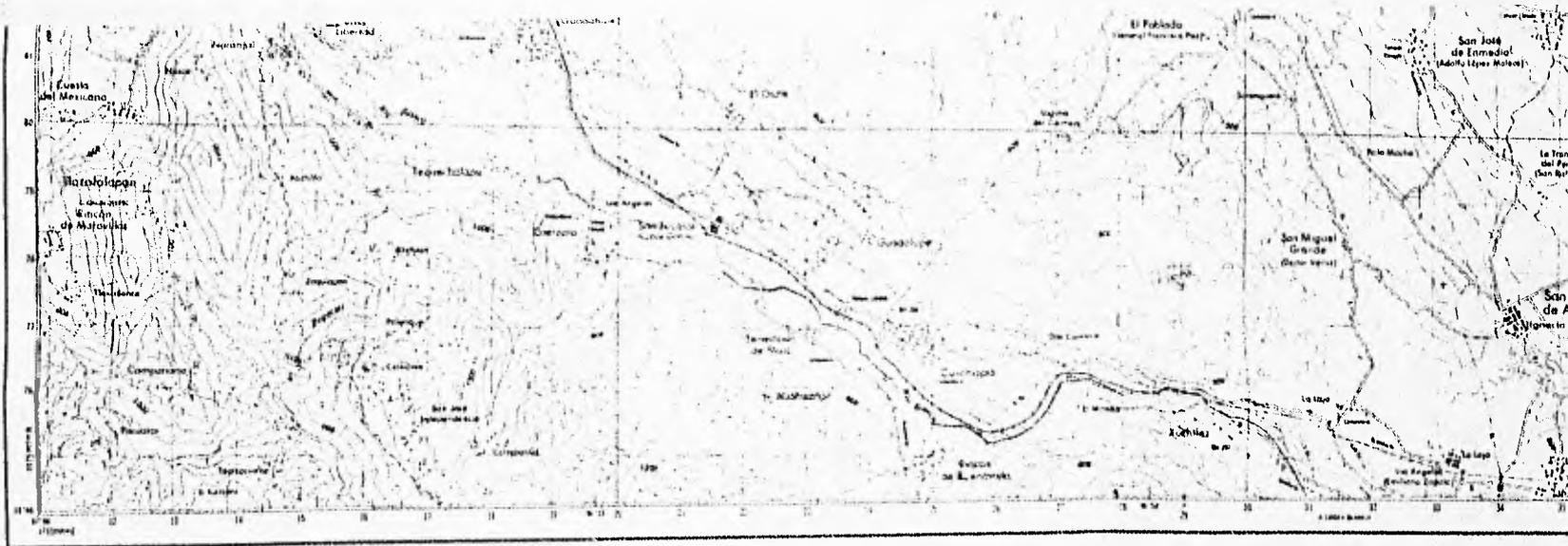


SITIO	PROFUNDIDAD (cm)
1	20 25 30
2	30 40 60
3	20 30
4	30
5	20 30

**PERFILES LONGITUDINALES QUE MUESTRAN LA RELACIÓN ALTITUDINAL Y TOPOGRÁFICA DE LOS SITIOS DE MUESTREO.**

Nota: La escala horizontal de los perfiles longitudinales equivale a 1:50,000  
La escala vertical está aumentada en 2.5 veces.

UNIVERSIDAD  
CARTOGRAFÍA  
ALGUNAS  
Elaboró:  
México,



SITIO	PR (c)
1	2 2 3
2	3 4 60
3	2 3
4	3
5	2 3

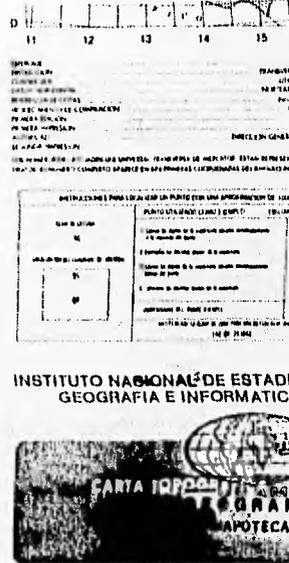
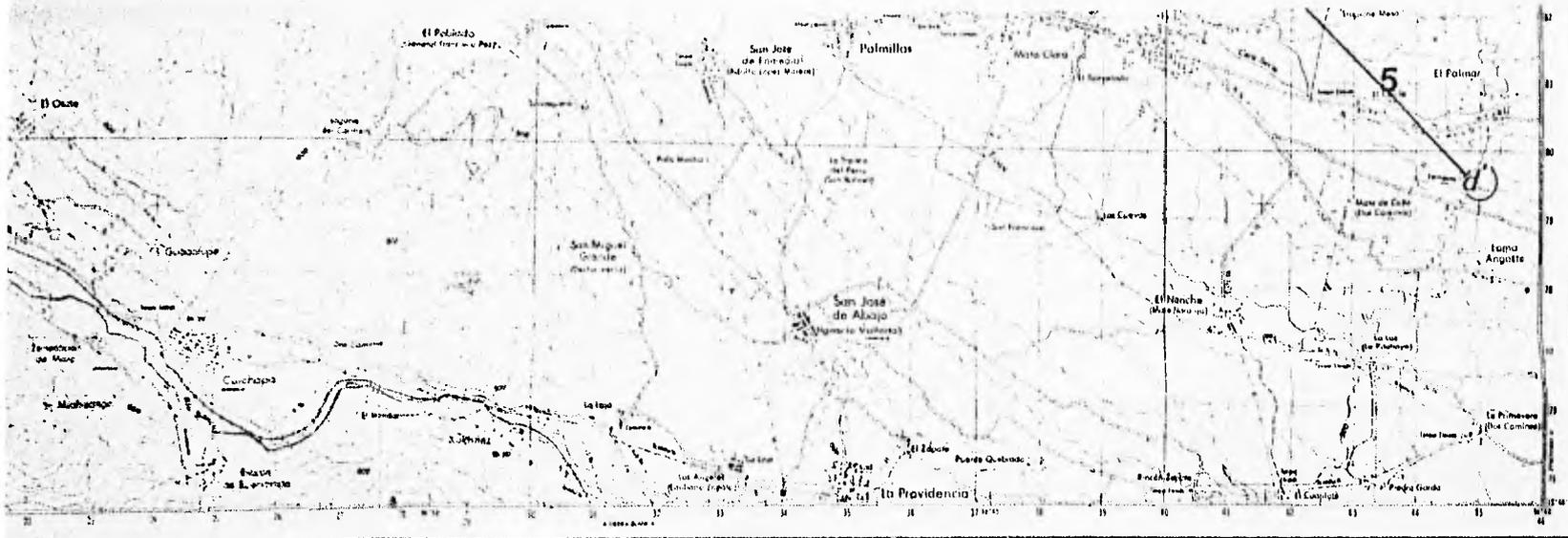
UN

CARTO  
ALGUNA

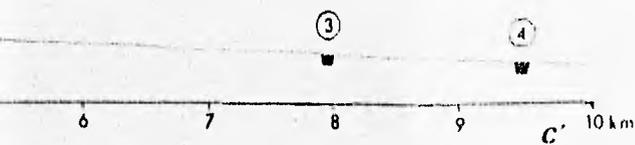
Elaboró  
México,

**PERFILES LONGITUDINALES QUE MUESTRAN LA RELACIÓN ALTITUDINAL Y TOPOGRÁFICA DE LOS SITIOS DE MUESTREO.**

Nota: La escala horizontal de los perfiles longitudinales equivale a 1:50,000  
La escala vertical está aumentada en 2.5 veces.



SITIO	PROF. (cm)	PRECIPITACION (mm)		TEMPERATURA (°C)				OBSERVACIONES
		may-oct	nov-abr	may-oct		nov-abr		
				media mín.	media máx.	media mín.	media máx.	
1	0-20 20-28 28-36 36-50	1700-1950	250-300	18-21	30	12-15	24-27	Suelos aluviales del Cuaternario.
2	0-30 30-44 44-60 60-110	1200-1400	200-250	18-21	30-33	15-18	24-27	
3	0-21 22-36 36-60	1400-1700	250-300	18-21	30-33	12-15	24-27	
4	0-36 37-66	1200-1400	250-300	18-21	30-33	15-18	24-27	
5	0-21 21-33 33-64	1200-1400	200-250	18-21	30-33	15-18	24-27	



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

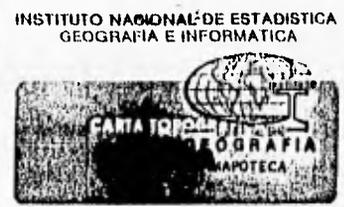
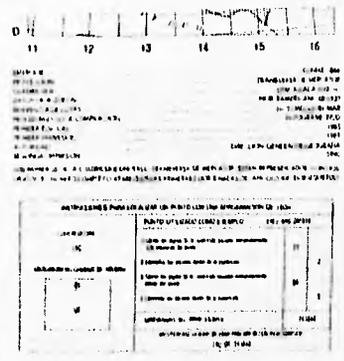
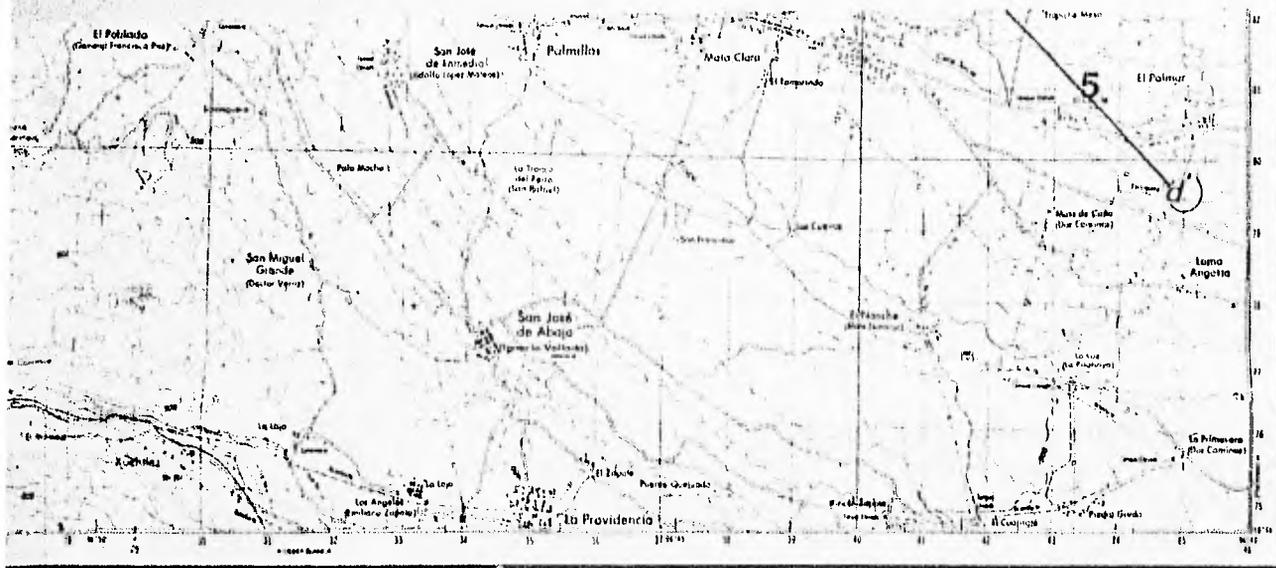
FACULTAD DE CIENCIAS

Departamento de Biología

CARTOGRAFÍA DE LA TESIS PROFESIONAL "ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS DEL INGENIO AZUCARERO 'EL POTRERO', VER."

Elaboró: Hilda Rivas Solórzano  
México, D. F. 1996

LA RELACIÓN ALTITUDINAL Y  
MUESTREO.



SITIO	PROF. (cm)	PRECIPITACIÓN (mm)		TEMPERATURA (°C)				OBSERVA- CIONES
		may-oct	nov-abr	may-oct		nov-abr		
				media mín.	media máx.	media mín.	media máx.	
1	0-20 20-28 28-36 36-50	1700-1950	250-300	18-21	30	12-15	24-27	Suelos aluviales del Cuaternario.
2	0-30 30-44 44-60 60-110	1200-1400	200-250	18-21	30-33	15-18	24-27	
3	0-21 22-36 36-60	1400-1700	250-300	18-21	30-33	12-15	24-27	
4	0-36 37-66	1200-1400	250-300	18-21	30-33	15-18	24-27	
5	0-21 21-33 33-64	1200-1400	200-250	18-21	30-33	15-18	24-27	



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

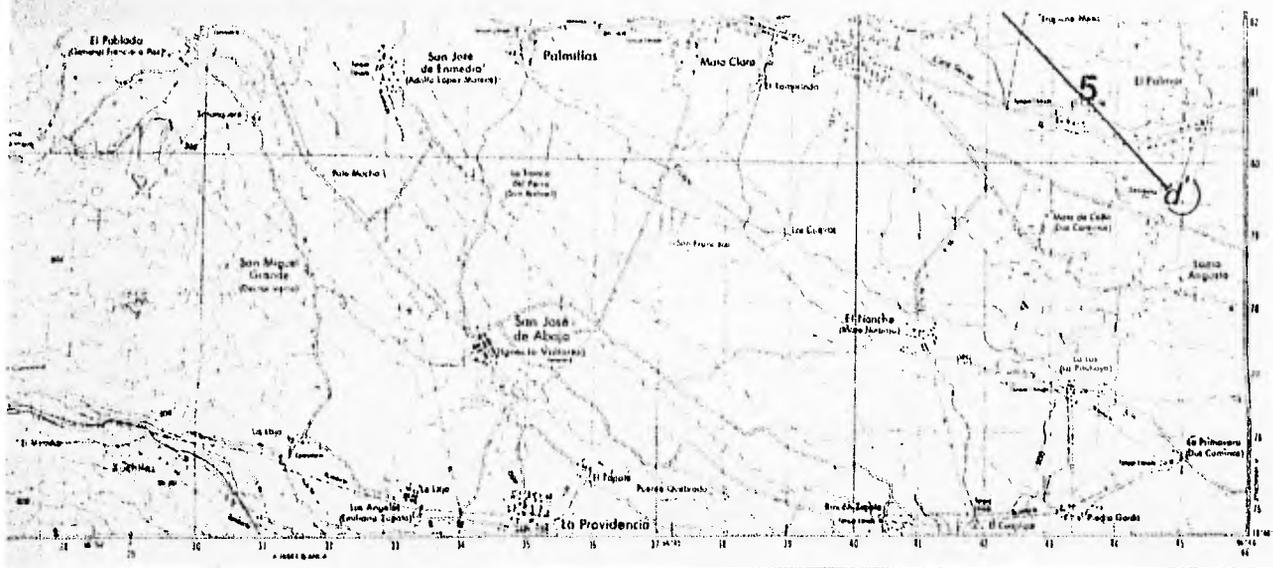
**Departamento de Biología**

---

**CARTOGRAFÍA DE LA TESIS PROFESIONAL "ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE  
ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS DEL INGENIO  
AZUCARERO 'EL POTRERO', VER."**

---

Elaboró: Hilda Rivas Solórzano  
México, D. F. 1996



D 11 12 13 14 15 16  
 ESCALA: 1:50,000  
 PROYECTO: ...  
 INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRÁFICA E INFORMÁTICA  
 DIRECCIÓN GENERAL DE GEOGRAFÍA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS GEOGRÁFICOS  
 DIRECCIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES GEOGRÁFICAS  
 DIRECCIÓN DE EDUCACIÓN GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE PUBLICACIONES GEOGRÁFICAS  
 DIRECCIÓN DE ADMINISTRACIÓN GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS TÉCNICOS GEOGRÁFICOS  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE CONSULTORÍA GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE COOPERACIÓN GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE ASesorÍA GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE PROMOCIÓN GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE RELACIONES GEOGRÁFICAS  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE COMUNICACIÓN GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE INVESTIGACIÓN GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE DESARROLLO GEOGRÁFICO  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE PLANIFICACIÓN GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE EVALUACIÓN GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE MONITORING GEOGRÁFICO  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE AUDITORÍA GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE CONTROL GEOGRÁFICO  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE CALIDAD GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE EFICIENCIA GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE TRANSPARENCIA GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE RESPONSABILIDAD GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE SUSTENTABILIDAD GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE INNOVACIÓN GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE LEADERSHIP GEOGRÁFICO  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE EXCELENCIA GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE INTEGRIDAD GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE JUSTICIA GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE EQUIDAD GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE INCLUSIÓN GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE PARTICIPACIÓN GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE TRANSPARENCIA GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE RESPONSABILIDAD GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE SUSTENTABILIDAD GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE INNOVACIÓN GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE LEADERSHIP GEOGRÁFICO  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE EXCELENCIA GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE INTEGRIDAD GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE JUSTICIA GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE EQUIDAD GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE INCLUSIÓN GEOGRÁFICA  
 DIRECCIÓN DE SERVICIOS DE PARTICIPACIÓN GEOGRÁFICA

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRÁFICA E INFORMÁTICA  
 CARTA TOPOGRÁFICA DE VERACRUZ  
 MAPOTECA

SITIO	PROF. (cm)	PRECIPITACIÓN (mm)		TEMPERATURA (°C)				OBSERVACIONES
		may-oct	nov-abr	may-oct		nov-abr		
				media mín.	media máx.	media mín.	media máx.	
1	0-20 20-28 28-36 36-50	1700-1950	250-300	18-21	30	12-15	24-27	Suelos aluviales del Cuaternario
2	0-30 30-44 44-60 60-110	1200-1400	200-250	18-21	30-33	15-18	24-27	
3	0-21 22-36 36-60	1400-1700	250-300	18-21	30-33	12-15	24-27	
4	0-36 37-66	1200-1400	250-300	18-21	30-33	15-18	24-27	
5	0-21 21-33 33-64	1200-1400	200-250	18-21	30-33	15-18	24-27	



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
 Departamento de Biología

**CARTOGRAFÍA DE LA TESIS PROFESIONAL "ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS DEL INGENIO AZUCARERO 'EL POTRERO', VER."**

Elaboró: Hilda Rivas Solórzano  
 México, D. F. 1996

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. ANÁLISIS QUÍMICOS DEL SUELO

A continuación se presentan los datos obtenidos en este estudio. Todos los análisis estadísticos aquí discutidos se encuentran en el apéndice.

#### 1.1 Valores de pH, materia orgánica

##### *Valores de pH de los suelos*

El análisis de varianza realizado a los valores de pH indicó que la profundidad del suelo tiene un efecto sobre esta variable o característica del suelo. Por otra parte, al practicar el análisis de comparaciones múltiples (Tuckey) se pudo confirmar la heterogeneidad del pH con respecto a la profundidad de los perfiles.

En los cuatro horizontes que constituyen al primer perfil se tiene una heterogeneidad en los valores de pH. Situación similar se presentó para los cuatro restantes perfiles.

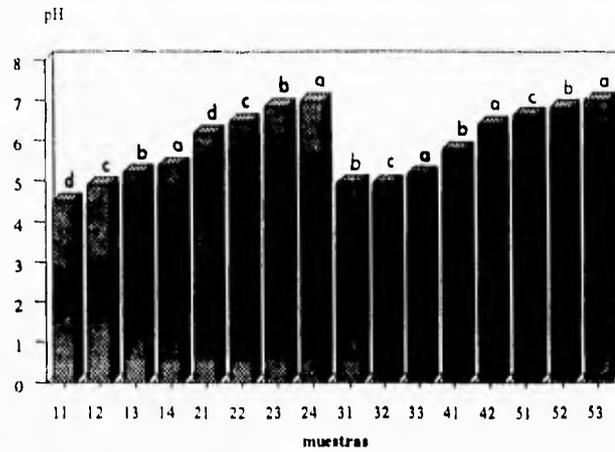
Se presenta un incremento en los valores de pH con respecto a la profundidad del perfil, lo cual puede ser reflejo de una lixiviación de sales hacia capas profundas de los perfiles.

El pH de los suelos agrícolas aledaños al ingenio "El Potrero", presenta diferencias entre los cinco perfiles. En los perfiles primero y tercero se tienen valores de pH entre 4.5 y 5.5, los cuales se asocian a suelos minerales con contenidos altos de Al intercambiable, y valores bajos de Ca y Mg intercambiables (Buckman y Brady, 1991). Por otra parte, los suelos ácidos pueden restringir el crecimiento de las raíces a través del intercambio de Ca y Mn por el Al. En los perfiles segundo y cuarto se tiene un intervalo de pH de 5.8 - 6.5, la acidez presente se relaciona con grupos orgánicos funcionales e hidróxidos de Al. Para los horizontes más profundos de los perfiles cuarto y quinto se tiene una acidez muy débil. Los perfiles segundo, cuarto y quinto tienen valores de pH comprendidos entre 5.8 y 7.0 que son los que, por regla general, causan menos trastornos a las plantas cultivadas en ellos y a los microorganismos del suelo.

El pH de los suelos del ingenio va de muy ácido a neutro. Así, dentro de los perfiles primero y tercero para sus dos primeros horizontes, hay un pH muy ácido y para sus restantes horizontes se tiene un pH ácido, para el cuarto perfil y los dos primeros horizontes del segundo perfil se tiene un pH ligeramente ácido, en tanto que para sus restantes horizontes, así como para el quinto perfil se tiene un pH cercano a la neutralidad, situación favorable para el perfil ya que generalmente los microorganismos más benéficos se encuentran funcionando mejor en los suelos con este pH, (ver fig. 3 y cuadro 6).

El primer y tercer perfiles, que teóricamente no han sido regados con aguas residuales, tienen valores de pH que van de 4.18 a 5.36 y que estadísticamente son iguales entre ellos y son valores de pH estadísticamente diferentes a los de los perfiles segundo, cuarto y quinto (6.16 a 6.99), los cuales asu vez han sido regados con aguas residuales, por lo cual se puede atribuir un efecto del riego sobre esta variable del suelo en los últimos perfiles ya mencionados.

Figura 3. Potencial de hidrógeno en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"



Cuadro 6. Potencial de hidrógeno en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"

Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	X H <sub>2</sub> O 1:2.5	STD	C.V	
1	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	4.18	0.008	0.19
		12	20-28	4.88	0.012	0.26
		13	28-36	5.20	0.012	0.24
		14	36-50	5.36	0.008	0.15
2	Fue regado con aguas residuales	21	0-30	6.16	0.012	0.20
		22	30-44	6.45	0.008	0.13
		23	44-60	6.83	0.008	0.12
		24	60-110	6.95	0.005	0.07
3	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	4.91	0.008	0.17
		32	22-36	4.90	0.050	1.02
		33	36-60	5.13	0.008	0.18
4	Fue regado con aguas residuales	41	0-36	5.76	0.008	0.14
		42	36-60	6.40	0.045	0.70
5	Fue regado con aguas residuales	51	0-21	6.62	0.008	0.12
		52	21-33	6.81	0.012	0.18
		53	33-64	6.99	0.008	0.12

X= media estadística, STD= desviación estándar, C.V= coeficiente de variación

### ***Materia orgánica***

En el primer perfil el porcentaje de materia orgánica del primer y tercer horizonte fueron diferentes entre sí y, a la vez, al encontrado entre el segundo y cuarto horizonte, los cuales, a su vez, son iguales en esta propiedad del suelo. En los cuatro horizontes que lo forman se presenta un alto, bajo, mediano y bajo porcentaje en esta característica, respectivamente.

El segundo perfil presentó, entre sus cuatro horizontes, diferencias altamente significativas en el porcentaje de materia orgánica. Los porcentajes de materia orgánica en este perfil van de alto, mediano, bajo y muy bajo, respectivamente, por lo que el contenido de materia orgánica disminuye con la profundidad.

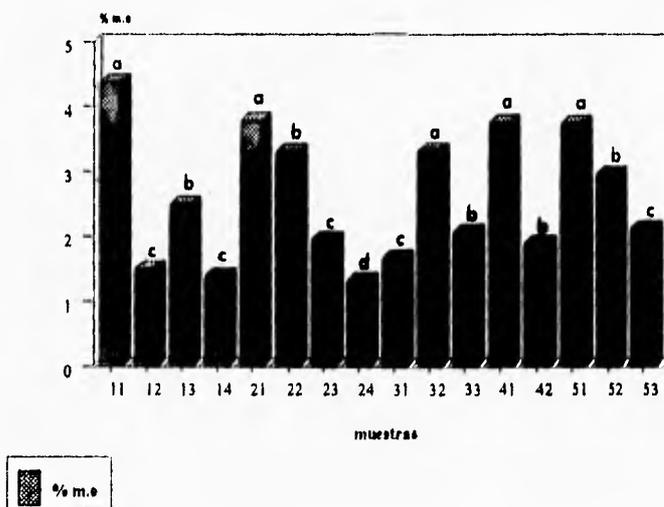
En el tercer perfil el porcentaje de materia orgánica es heterogéneo en los tres horizontes que lo conforman.

Los dos horizontes que forman al cuarto perfil tienen porcentajes de materia orgánica estadísticamente diferentes. Situación similar se obtuvo en los tres horizontes que conforman al quinto perfil, (ver fig. 4 y cuadro 7).

El porcentaje de materia orgánica en los suelos del ingenio "El Potrero" es variable en los cinco perfiles, presentándose en los mismos, a excepción del tercero, un mayor porcentaje de materia orgánica en su primer horizonte, lo cual es normal ya que aquí es donde se van depositando los restos de los seres vivos, la cubierta de materia orgánica que se forma en el suelo reduce la erosión al incrementar la agregación e induce a la formación de gránulos pequeños, la descomposición de la materia orgánica se acelera en climas cálidos (Dijkerman, 1981).

Los cinco perfiles analizados son estadísticamente diferentes entre ellos en esta propiedad del suelo, por lo cual no se le puede atribuir ningún efecto a las aguas residuales que son vertidas en ellos sobre esta variable (contenido de materia orgánica).

Figura 4. Contenido de materia orgánica en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"



**Cuadro 7. Contenido de materia orgánica en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"**

Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	X (%)	STD	C.V	
1	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	4.37	0.013	0.31
		12	20-28	1.49	0.031	2.07
		13	28-36	2.48	0.066	2.67
		14	36-50	1.38	0.027	1.96
2	Fue regado con aguas residuales	21	0-30	3.78	0.006	0.15
		22	30-44	3.30	0.001	0.03
		23	44-60	1.94	0.040	2.05
		24	60-110	1.31	0.026	2.00
3	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	1.66	0.032	1.92
		32	22-36	3.31	0.090	2.71
		33	36-60	2.05	0.030	1.46
4	Fue regado con aguas residuales	41	0-36	3.75	0.106	2.84
		42	36-60	1.87	0.001	0.03
5	Fue regado con aguas residuales	51	0-21	3.73	0.037	0.98
		52	21-33	2.94	0.038	1.29
		53	33-64	2.10	0.027	1.31

## 1.2 CIC, Na, K, Ca y Mg intercambiables

### *Capacidad de intercambio catiónico (CIC) con cloruro de bario*

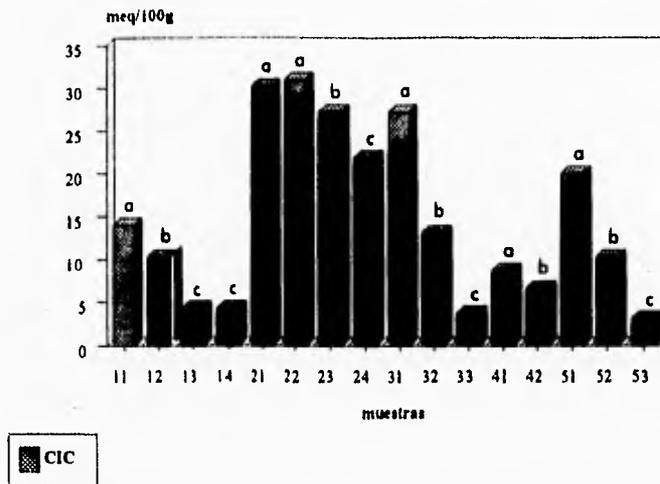
La CIC es una medida de la capacidad de intercambio o cargas negativas de las arcillas constituyentes. Las cargas negativas son de dos tipos, permanentes y dependientes del pH. En muchos suelos tropicales, las cargas permanentes se encuentran en arcillas silíceas y las cargas dependientes del pH están directamente relacionadas con la variación del pH del suelo. Así, con valores bajos de pH, la carga y, por tanto, la CIC es baja (Fitz, 1984). Los valores de la CIC determinados en el laboratorio, a pH 7, son, en muchos suelos ácidos del trópico húmedo, más bajos de lo que se obtiene en el campo.

En muchos suelos tropicales, la CIC es muy baja debido a la presencia de grandes cantidades de arcillas del tipo caolinita y/o gibsita (p. ej., caolinita de 3 a 15 meq/100 g de arcilla).

Una alta CIC en suelos minerales indica una alta capacidad de almacenamiento de nutrientes para las plantas (Dijkerman, 1981).

La capacidad de intercambio catiónico en los perfiles del Ingenio "El Potrero" es heterogénea en los horizontes de los cinco perfiles y, por lo tanto, entre ellos mismos. Así se tiene que va de mediana a muy baja para el primer perfil, en tanto que para el segundo perfil se presenta muy alta para el horizonte que va de los 30 a 44 cm, en tanto que para los restantes es alta. Para el horizonte superficial del tercer perfil se tiene una CIC alta y mediana y muy baja en los horizontes, segundo y tercero respectivamente. En el cuarto perfil se tiene una baja CIC para ambos horizontes. En el quinto perfil se tienen valores de CIC decrecientes de acuerdo con su profundidad, una alta, mediana y muy baja CIC, respectivamente (Cortés y Malagón, 1984) (ver fig. 5 y cuadro 8).

Figura 5. Capacidad de intercambio catiónico con cloruro de bario en los suelos ardeñosos al ingenio "El Potrero"



El análisis de rango múltiple mostró lo siguiente. En el primer perfil, el primero y segundo horizontes son diferentes en el valor de la CIC, en tanto que el tercer y cuarto horizontes son estadísticamente iguales; en el segundo perfil se tiene lo contrario, es decir, el primero y segundo horizontes son iguales; mientras que el tercer y cuarto horizontes son distintos; en los perfiles tercero, cuarto y quinto se tiene una CIC diferente en cada uno de los horizontes que los constituyen. El cuarto perfil tiene una CIC inferior a 10 meq/100, con 30-40% de arcilla e incluso más, por lo cual se podría relacionar con altos grados de alteración.

En suelos ácidos, el Al y el Fe, fuertemente adsorbidos en algunas arcillas, bloquean algunos de los sitios con cargas negativas reduciendo así la CIC. Con un aumento del pH, el Al y el Fe son removidos y vuelven disponibles a los sitios (Fitz, 1984).

El riego aparentemente, no ejerce ninguna influencia en esta propiedad del suelo.

**Cuadro 8. Capacidad de intercambio catiónico con cloruro de bario en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"**

Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	X (meq/100g)	STD	C.V	
1	Teóricamente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	14	0.57	4.04
		12	20-28	10.2	0.49	4.80
		13	28-36	4.2	0.85	20.20
		14	36-50	4.2	0.49	11.66
2	Fue regado con aguas residuales	21	0-30	30.2	0.28	0.94
		22	30-44	31	0.75	2.41
		23	44-60	27.2	0.28	1.04
		24	60-110	21.8	0.75	3.43
3	Teóricamente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	27.2	0.28	1.04
		32	22-36	13	0.28	2.18
		33	36-60	3.6	0.49	13.61
4	Fue regado con aguas residuales	41	0-36	8.6	0.28	3.29
		42	36-60	6.4	0.57	8.84
5	Fue regado con aguas residuales	51	0-21	20	0.57	2.83
		52	21-33	10.2	0.85	8.32
		53	33-64	3	0.98	32.66

### **Sodio intercambiable**

En general y como corresponde a estos suelos de clima húmedo, los valores de Na y K intercambiable son bajos.

A excepción del segundo perfil que es homogéneo en esta característica del suelo, se presenta un incremento en el contenido de Na intercambiable de acuerdo con el incremento en la profundidad del perfil. Este hecho puede deberse a procesos de lixiviación. En el primer perfil se tienen concentraciones muy bajas para los dos primeros horizontes y bajas para los dos más profundos; en el segundo perfil se tienen concentraciones bajas en los cuatro horizontes y en los tres que constituyen al tercer perfil. En el cuarto perfil se tienen valores bajos y medianos en el horizonte superior e inferior, respectivamente; en el quinto perfil se tienen concentraciones que van de baja, a mediana y alta (Cortés y Malagón, 1984). Altas concentraciones de Na producirían una rápida dispersión del suelo que reduciría su permeabilidad, situación desfavorable en los suelos en los que se presenta.

En el primer perfil se obtuvieron concentraciones de Na intercambiable iguales en las tres primeras profundidades, siendo diferente sólo la última profundidad.

En el segundo perfil se tienen concentraciones estadísticamente iguales de Na intercambiable en los cuatro horizontes que lo integran.

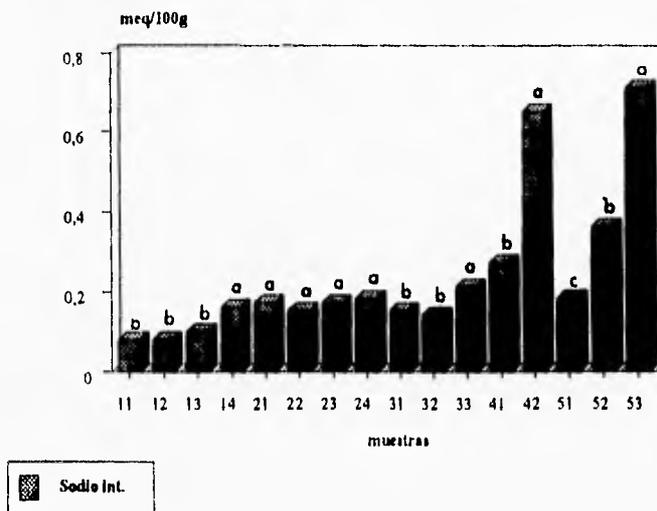
En el tercer perfil se tienen concentraciones iguales de Na en los dos primeros horizontes; mientras que, el tercero es distinto a los dos anteriores.

En el cuarto perfil se tienen diferencias entre los dos horizontes que lo conforman. Situación similar se presenta en los tres horizontes que conforman al quinto perfil, (ver fig. 6 y cuadro 9).

El terreno que rodea al ingenio no es inundado por agua de mar, ni es una zona árida en donde se acumule de forma natural, pero sí es regado con aguas que llevan sodio, provenientes de los lavados ácidos y alcalinos de los equipos del ingenio.

El primer perfil es estadísticamente diferente a los otros cuatro perfiles restantes, el segundo y tercer perfiles son iguales entre ellos, así como el quinto y cuarto perfiles, a la vez que el segundo y tercero son diferentes del cuarto y quinto perfiles, de tal manera que no se presentan en este estudio, para esta propiedad del suelo, diferencias significativas claramente atribuibles al empleo de las aguas residuales.

Figura 6. Sodio Intercambiable con acetato de amonio en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"



### **Potasio intercambiable**

Este elemento es un constituyente mayor en todas las plantas, por lo que es importante encontrar en los suelos una adecuada cantidad del elemento en forma soluble o intercambiable.

El potasio es un ión muy móvil, razón por la cual sufre un rápido arrastre. A medida que el K de los suelos va siendo eliminado por lixiviación o por las cosechas, parte del K de "reserva" presente en los feldspatos y micas va quedando alterado y se vuelve intercambiable. Otra importante fuente de K intercambiable para los suelos es la proveniente de las aguas residuales y la incorporada por restos de cosechas anteriores. Así también sus pérdidas se deben a la

remoción del cultivo pues es el K el que utilizan las plantas para crecer y para otras actividades biológicas, al lavado, a la erosión y al que se fija. Una alta concentración de K intercambiable es favorable ya que este elemento es considerado como el tercer elemento fertilizante. En el caso de la caña de azúcar es indispensable ya que, entre otras cosas, interviene como activador de 64 enzimas. Para los vegetales favorece, en primer lugar, la función clorofiliana, sobre todo en el transporte de glúcidos; de ahí su importancia en la producción de caña de azúcar (ver fundamentos).

En el primer perfil se tienen concentraciones diferentes de K intercambiable en los dos primeros horizontes, en tanto que los dos últimos son iguales en esta característica del suelo.

En el segundo perfil se tiene una distribución heterogénea en esta propiedad del suelo en los cuatro horizontes que lo integran. Situación similar se presenta en los perfiles tercero, cuarto y quinto.

En los cinco perfiles se manifiesta un decremento en las concentraciones de K intercambiable de acuerdo con la profundidad, (ver fig. 7 y cuadro 10).

**Cuadro 9. Contenido de sodio intercambiable con acetato de amonio en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"**

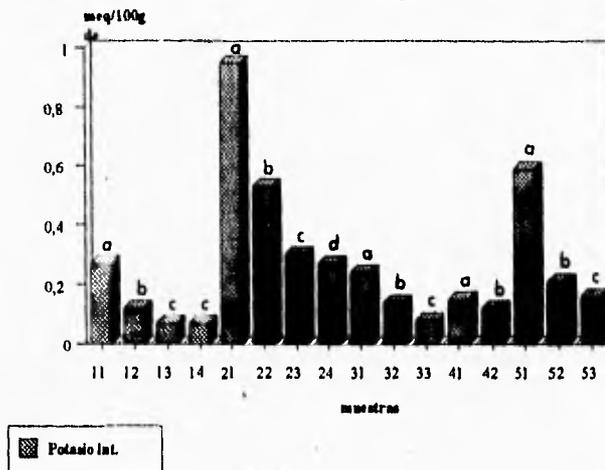
Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	X (meq/100g)	STD	C.V	
1	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	0.08	0.000	0.00
		12	20-28	0.08	0.002	1.88
		13	28-36	0.10	0.003	3.46
		14	36-50	0.16	0.013	8.28
2	fue regado con aguas residuales	21	0-30	0.17	0.009	5.35
		22	30-44	0.15	0.010	6.42
		23	44-60	0.17	0.009	5.35
		24	60-110	0.18	0.031	16.94
3	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	0.15	0.008	5.53
		32	22-36	0.14	0.016	11.40
		33	36-60	0.21	0.011	5.13
4	fue regado con aguas residuales	41	0-36	0.27	0.021	7.71
		42	36-60	0.65	0.026	3.99
5	fue regado con aguas residuales	51	0-21	0.18	0.035	19.99
		52	21-33	0.36	0.028	7.61
		53	33-64	0.71	0.008	1.09

En el primer perfil se tiene un valor bajo de K intercambiable en el horizonte superficial, teniendo los tres restantes horizontes valores muy bajos. En el segundo perfil se tienen concentraciones de K que van de alta y mediana en el primer y segundo horizonte respectivamente y baja en los dos últimos horizontes. En el tercer perfil se tiene una baja concentración de K en el primer horizonte y muy bajo en sus restantes horizontes. En el cuarto perfil se tiene una muy baja concentración de K en sus dos horizontes y en el quinto perfil se tienen concentraciones que van de mediana, baja y muy baja (Cortés y Malagón, 1984).

Los perfiles primero, tercero y cuarto son estadísticamente iguales entre ellos, y por otra parte son diferentes del segundo y quinto perfiles, los cuales a su vez son distintos entre ellos, el hecho de que el segundo y quinto perfiles muestren diferencias con respecto a los otros perfiles sugiere una influencia de las aguas residuales vertidas en ellos, ya que tienen valores más altos de K intercambiable.

Figura 7. Potasio intercambiable con acetato de amonio en los

suelos adyacentes al lagrario "El Potrero"



### Calcio intercambiable

El calcio se encuentra formando parte de la pared celular en forma de pectato de calcio (Devlin, 1982).

De acuerdo a las categorías establecidas por Cortés y Malagón, en 1984, para el Ca intercambiable, se puede decir que en el primer perfil se tienen concentraciones de Ca muy bajas en sus dos primeros horizontes y bajas para los dos más profundos. En el segundo perfil se tienen valores altos de Ca en los tres primeros horizontes y mediano para el último. En los tres horizontes del tercer perfil se tienen valores bajos de Ca, en los dos horizontes del cuarto perfil se tienen valores medianos y en el quinto perfil se tienen valores de Ca que van de alto, mediano y alto en sus horizontes superior, medio e inferior, respectivamente.

Los bajos valores de Ca intercambiable se deben a la remoción de cultivos, a la erosión y al lavado. La lluvia transporta el Ca y otros cationes hacia abajo, más allá del alcance de las raíces. Su aportación al suelo se da por medio de restos de cultivos y estiércol, por fertilizantes comerciales y por los minerales del suelo. El Ca es un catión deseable pues su presencia

produce condiciones físicas deseables e influye favorablemente en las actividades microbianas como la amonificación y la nitrificación. (Flores et al., 1990). También es deseable en altas cantidades porque refleja concentraciones bajas de otros cationes intercambiables que podrían ocasionar problemas, principalmente  $Al^{3+}$  en suelos ácidos (Bohn, 1993).

En el primer perfil se tienen concentraciones distintas de Ca intercambiable en los cuatro horizontes que lo constituyen. La concentración de Ca aumenta con la profundidad.

En el segundo perfil se tienen concentraciones iguales de Ca intercambiable en los dos primeros horizontes; mientras que, los dos últimos horizontes son diferentes entre ellos y, a la vez, entre los ya mencionados.

**Cuadro 10. Contenido de potasio intercambiable con acetato de amonio en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"**

Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	X (meq/100g)	STD	C.V	
1	Teóricamente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	0.29	0.009	3.01
		12	20-28	0.12	0.000	0.04
		13	28-36	0.07	0.000	0.07
		14	36-50	0.07	0.000	0.07
2	fue regado con aguas residuales	21	0-30	0.95	0.006	0.67
		22	30-44	0.53	0.004	0.68
		23	44-60	0.30	0.005	1.81
		24	60-110	0.27	0.005	2.01
3	Teóricamente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	0.24	0.009	3.94
		32	22-36	0.14	0.007	5.37
		33	36-60	0.08	0.005	7.05
4	fue regado con aguas residuales	41	0-36	0.15	0.003	2.12
		42	36-60	0.12	0.000	0.07
5	fue regado con aguas residuales	51	0-21	0.59	0.008	1.41
		52	21-33	0.21	0.005	2.13
		53	33-64	0.16	0.006	3.86

El tercer perfil no mostró diferencias en esta propiedad del suelo entre ninguno de los tres horizontes que lo integran. Situación similar se obtuvo en los perfiles cuarto y quinto.

La tendencia del Ca intercambiable es de acumulación en el horizonte más profundo para el primer perfil, de disminución para el segundo perfil y de estabilidad y homogeneidad para los perfiles tercero, cuarto y quinto respectivamente, (ver fig.8 y cuadro 11).

Los perfiles primero y tercero presentan las más bajas concentraciones de Ca. Existe una correlación estrecha entre un alto contenido de Ca que indica un pH casi neutro; en los perfiles en que se encontraron altas y medianas concentraciones de Ca se tienen valores de pH menos ácidos.

Las concentraciones de Ca intercambiable son estadísticamente diferentes entre los cinco perfiles, por lo cual en este estudio no se le pueden atribuir estas diferencias directamente al empleo del agua residual. Sin embargo, los valores obtenidos señalan concentraciones más bajas de Ca, en los perfiles que teóricamente no han sido regados con aguas residuales, con respecto a las concentraciones más altas obtenidas en los perfiles que si han sido regados con aguas residuales.

### ***Magnesio intercambiable***

El magnesio forma parte de la molécula de clorofila, sin la cual la fotosíntesis no podría realizarse, actúa como activador de las enzimas que intervienen en la síntesis de los ácidos nucleicos (Devlin, 1982).

En el primer perfil se tiene una baja concentración de Mg en el primer horizonte y muy baja en el segundo, en tanto, que para los dos más profundos se tienen nuevamente valores bajos, en el segundo perfil se tienen concentraciones medianas en todo el perfil, el tercer perfil tiene bajas concentraciones, el cuarto y quinto perfiles poseen altos valores de Mg intercambiable (Cortés y Malagón, 1984).

Los bajos contenidos de Ca y Mg intercambiables encontrados se pueden atribuir a pérdidas por lavado, erosión y al extraído de forma natural por las cosechas. Por otra parte, se sabe que el Mg es un ión más móvil que el ión Ca y, por lo tanto, es arrastrado con prioridad (Duchaufour, 1984). El Mg utilizable por las plantas puede ser añadido al suelo por: restos de las cosechas, fertilizantes comerciales o naturales y por los minerales del suelo.

En el primer perfil, los horizontes del suelo cuyas profundidades van de los 0-20 cm y 20-28 cm, son diferentes entre ellos y con respecto a los dos últimos, las cuales son, a su vez, iguales entre sí.

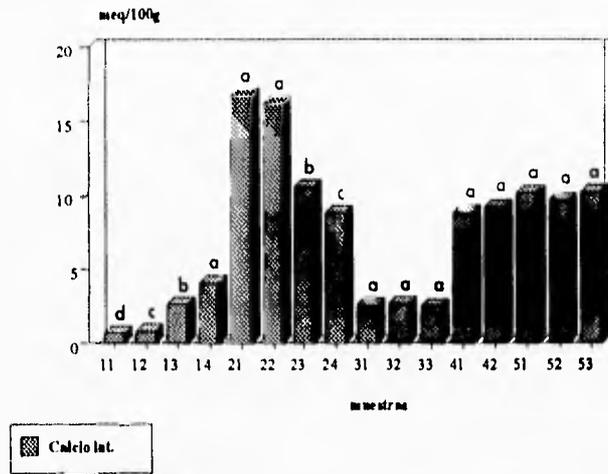
En el segundo perfil se tiene que los tres primeros horizontes son iguales en sus contenidos de Mg intercambiable, siendo diferente a ellos el cuarto horizonte. Situación similar se presenta en el tercer perfil, en donde sus dos primeros horizontes son iguales y, el más profundo, es distinto.

La distribución del Mg intercambiable en el cuarto perfil es heterogénea. Situación similar se presenta en el quinto perfil.

En los perfiles primero, cuarto y quinto se observa un incremento de Mg intercambiable de acuerdo con la profundidad, en tanto que en los perfiles segundo y tercero, se observa lo contrario (ver fig. 9 y cuadro 12).

Los cinco perfiles son estadísticamente diferentes en sus concentraciones de Mg intercambiable, de tal forma que estas diferencias no se pueden atribuir claramente al uso de las aguas residuales, no obstante los perfiles primero y tercero tienen concentraciones de Mg intercambiable más bajas que la de los perfiles segundo, cuarto y quinto.

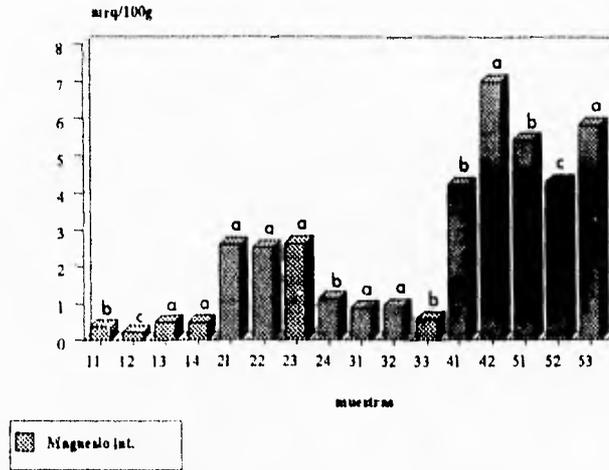
Figura 8. Calcio intercambiable con acetato de amonio en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"



Cuadro 11. Contenido de calcio intercambiable con acetato de amonio en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"

Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	X (meq/100g)	STD	C.V	
1	Teóricamente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	0.69	0.01	0.96
		12	20-28	0.81	0.01	1.15
		13	28-36	2.60	0.01	0.35
		14	36-50	4.05	0.01	0.36
2	fue regado con aguas residuales	21	0-30	16.67	0.16	0.95
		22	30-44	16.13	0.04	0.23
		23	44-60	10.54	0.19	1.83
		24	60-110	8.76	0.10	1.10
3	Teóricamente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	2.54	0.12	4.58
		32	22-36	2.60	0.01	0.24
		33	36-60	2.44	0.01	0.50
4	fue regado con aguas residuales	41	0-36	8.79	0.07	0.84
		42	36-60	9.15	0.09	0.93
5	fue regado con aguas residuales	51	0-21	10.12	0.03	0.29
		52	21-33	9.65	0.07	0.73
		53	33-64	10.25	0.09	0.93

Figura 9. Magnesio intercambiable con acetato de amonio en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"



Cuadro 12. Contenido de magnesio intercambiable con acetato de amonio en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"

Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	X (meq/100g)	STD	C.V	
1	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	0.37	0.001	0.28
		12	20-28	0.22	0.005	2.14
		13	28-36	0.48	0.006	1.34
		14	36-50	0.47	0.006	1.21
2	fue regado con aguas residuales	21	0-30	2.57	0.016	0.62
		22	30-44	2.48	0.067	2.70
		23	44-60	2.61	0.034	1.29
		24	60-110	1.11	0.019	1.68
3	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	0.85	0.11	1.32
		32	22-36	0.91	0.050	5.47
		33	36-60	0.58	0.007	1.15
4	fue regado con aguas residuales	41	0-36	4.22	0.067	1.58
		42	36-60	7.00	0.073	1.04
5	fue regado con aguas residuales	51	0-21	5.43	0.054	1.00
		52	21-33	4.29	0.016	0.37
		53	33-64	5.82	0.022	0.37

### 1.3 Al, Si, Fe extraíbles, P disponible, retención de fosfatos

#### Aluminio

El análisis de varianza fue significativo para los perfiles primero, segundo, tercero y quinto, lo cual indica que la profundidad si está relacionada con los porcentajes de aluminio.

El análisis de comparaciones múltiples mostró lo siguiente:

En el primer perfil se encontró que las concentraciones de Al en los tres horizontes de suelo que lo forman presentan porcentajes de aluminio estadísticamente iguales, siendo sólo diferente el último horizonte.

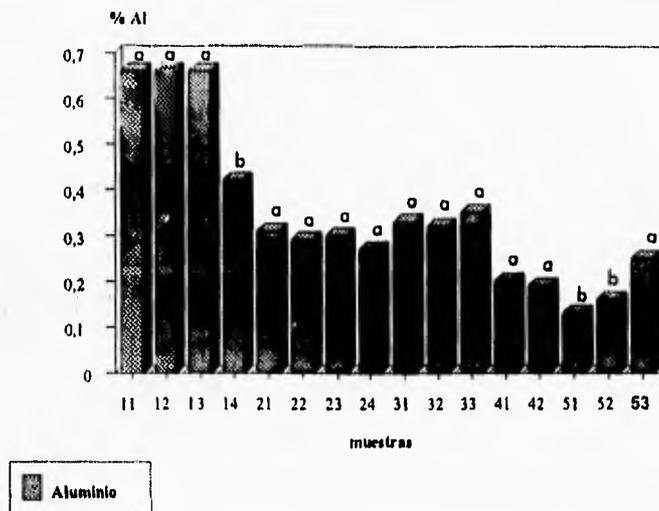
En el segundo perfil no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los cuatro horizontes que lo conforman. Situación similar se presentó entre los tres horizontes que conforman al tercer perfil y los dos horizontes que conforman al cuarto perfil.

El quinto perfil presentó porcentajes de aluminio semejantes en las profundidades comprendidas entre 0-21 cm y 21-33 cm, en tanto que, de los 33-64 cm, es diferente a los dos anteriores.

El valor más alto de Al encontrado en el primer perfil se atribuye a que ha sido el más intemperizado en la zona. Las plantas cultivadas en suelos con altos contenidos de Al pueden sufrir de toxicidad que se manifiesta casi siempre como clorosis muy irregular. No hay reportes de síntomas de toxicidad por Al en los sembradíos del ingenio.

El aluminio es un constituyente de muchos suelos agrícolas, su solubilidad aumenta a medida que comienza a ser mayor la acidez del suelo, como ocurre en el primer perfil. En el caso del aluminio, fierro y silicio las diferencias que tienen los diferentes horizontes de cada uno de los perfiles se atribuyen al desarrollo del tipo de suelo con base en el clima y la topografía.

Figura 10. Aluminio extraíble con oxalato-ácido en los suelos arcaicos al ingenio "El Potrero"



Sólo el quinto perfil presenta un incremento de Al con respecto a la profundidad. El primer perfil muestra un decremento de esta propiedad del suelo conforme aumenta la profundidad; mientras que, los perfiles segundo, tercero y cuarto no muestran ni acumulación ni pérdida de Al con respecto a la profundidad del suelo ( ver fig. 10 y cuadro 13).

**Cuadro 13. Contenido de aluminio en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"**

Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	X (%)	STD	C.V	
1	Teórica- mente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	0.66	0.042	6.37
		12	20-28	0.66	0.024	3.66
		13	28-36	0.66	0.019	2.90
		14	36-50	0.42	0.023	5.53
2	fue regado con aguas residuales	21	0-30	0.31	0.013	4.28
		22	30-44	0.29	0.028	9.67
		23	44-60	0.30	0.034	11.2
		24	60-110	0.27	0.006	2.36
3	Teórica- mente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	0.33	0.013	3.89
		32	22-36	0.32	0.013	4.10
		33	36-60	0.35	0.012	3.51
4	fue regado con aguas residuales	41	0-36	0.20	0.003	1.66
		42	36-60	0.19	0.003	1.42
5	fue regado con aguas residuales	51	0-21	0.13	0.006	4.43
		52	21-33	0.16	0.009	5.69
		53	33-64	0.25	0.018	7.08

### **Silicio**

Los porcentajes de Si para el primer perfil fueron estadísticamente iguales en todos los horizontes. Situación similar se presentó en los perfiles segundo y tercero.

Los dos horizontes que conforman al cuarto perfil son diferentes. Situación similar se presenta entre los tres horizontes que conforman al quinto perfil.

En los perfiles cuarto y quinto se observa un incremento de Si con respecto a la profundidad, ya que los perfiles primero, segundo y tercero tienen concentraciones estadísticamente similares de Si entre su último horizonte y horizontes superiores, (ver fig. 11 y cuadro 14).

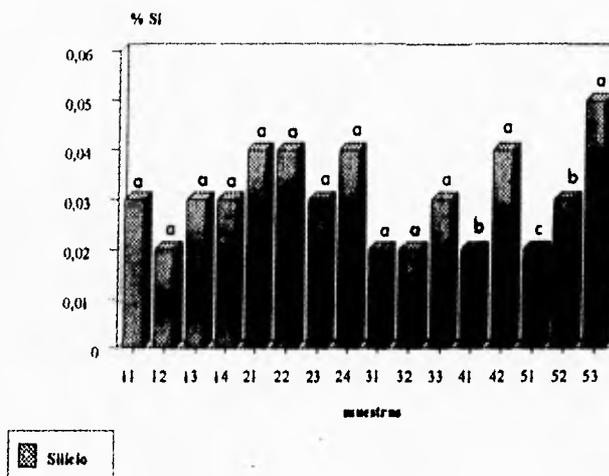
El silicio es un catión que no se da como tal en solución y parece existir en forma soluble como  $\text{Si}(\text{OH})_4$ .

Las reacciones del Si son muy importantes para el intemperismo y formación del suelo, ya que es un componente principal de los suelos intemperizados. El Si es un elemento que refuerza la pared celular de los vegetales y forma un molde de la estructura de la pared celular. La pared celular permanece intacta en los suelos como "fitolitas" de Si amorfo, después de que muere el vegetal. El Si es únicamente esencial para los animales y sólo en cantidades mínimas (Bohn, 1993).

La importancia de determinar el Fe, Al y Si amorfos está en que representan un estado de transición entre la roca madre no intemperizada y minerales secundarios con cristalización definida. Así la presencia de estos materiales, de acuerdo con su tipo, cantidad y distribución, se pueden usar como criterio para medir el grado y tipo de formación del suelo. Se les considera como formados en la fase actual de la pedogénesis y, por lo tanto, constituyen un criterio valioso para diferenciar entre fenómenos antiguos y contemporáneos (Fitz, 1984).

Figura 11. Silicio extraíble con oxalato ácido en

los suelos muestreados al ingenio "El Potrero"



## Hierro

La importancia del Fe en el suelo radica en constituir un indicador de intemperismo, ya que su valor aumenta a mayor grado intempérico y a su efecto sobre los colores del suelo. Interviene en reacciones de fijación de fosfatos y contribuye a una mayor estabilidad de los agregados del suelo. En el proceso de meteorización, hierro, aluminio y silicio son movilizados y depositados como óxidos, hidróxidos y silicatos, en sitios en donde por algún tiempo se acumulan y llegan a concretarse y entonces actúan como agentes cementantes en agregados de suelo. Es esencial en la síntesis de clorofila.

Los bajos valores de Fe encontrados en los cinco perfiles se atribuyen al drenaje deficiente. Las arcillas caolínicas que presentan los suelos del ingenio fijan los óxidos de Fe hasta en un 12% de su peso, al sobrepasarse este valor, éstos precipitan (Fitz, 1984).

El análisis de varianza demostró que la profundidad del suelo sí ejerce influencia sobre las concentraciones de hierro (ver fig. 12 y cuadro 15).

Al hacer la prueba de comparaciones múltiples se obtuvo, para los cinco perfiles, lo siguiente:

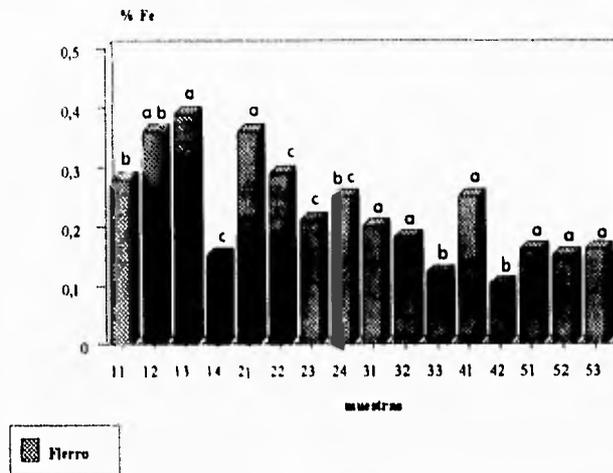
En el primer perfil los porcentajes de fierro fueron estadísticamente iguales entre el primero y segundo horizontes y, a su vez, entre el segundo y tercer horizontes, siendo diferente a ellos el cuarto horizonte. Situación similar se presentó en los cuatro horizontes que conforman al segundo perfil. En los tres horizontes que conforman al tercer perfil y en los dos horizontes que conforman al cuarto perfil; ocurre lo mismo mientras que, el quinto perfil no presentó diferencias estadísticamente significativas entre sus horizontes.

**Cuadro 14. Contenido de silicio en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"**

Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	X (%)	STD	C.V	
1	Teóricamente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	0.03	0.002	8.75
		12	20-28	0.02	0.002	11.05
		13	28-36	0.03	0.003	11.51
		14	36-50	0.03	0.001	5.66
2	fue regado con aguas residuales	21	0-30	0.04	0.002	4.35
		22	30-44	0.04	0.001	2.21
		23	44-60	0.03	0.004	12.01
		24	60-110	0.04	0.003	8.08
3	Teóricamente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	0.02	0.002	12.71
		32	22-36	0.02	0.007	18.15
		33	36-60	0.03	0.007	12.50
4	fue regado con aguas residuales	41	0-36	0.02	0.001	2.57
		42	36-60	0.04	0.002	6.17
5	fue regado con aguas residuales	51	0-21	0.02	0.002	8.32
		52	21-33	0.03	0.001	3.01
		53	33-64	0.05	0.004	7.34

El Fe presenta un decremento con respecto a la profundidad en los perfiles primero, tercero y cuarto; en el quinto perfil no se observa ni acumulación ni pérdida de este elemento con respecto a la profundidad. La comparación del contenido de Fe en los diferentes horizontes informa sobre el grado de lavado del Fe.

Figura 12. Hierro extraíble con oxalato ácido en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"



Cuadro 15. Contenido de hierro en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"

Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	X (%)	STD	C.V	
1	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	0.28	0.025	8.95
		12	20-28	0.36	0.005	1.27
		13	28-36	0.39	0.023	5.89
		14	36-50	0.15	0.006	4.22
2	fue regado con aguas residuales	21	0-30	0.36	0.015	4.10
		22	30-44	0.29	0.017	5.94
		23	44-60	0.21	0.004	2.04
		24	60-110	0.25	0.006	2.51
3	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	0.20	0.018	9.10
		32	22-36	0.18	0.025	13.97
		33	36-60	0.12	0.043	13.37
4	fue regado con aguas residuales	41	0-36	0.25	0.006	2.33
		42	36-60	0.10	0.008	7.84
5	fue regado con aguas residuales	51	0-21	0.16	0.013	7.82
		52	21-33	0.15	0.013	8.96
		53	33-64	0.16	0.019	11.85

### Fósforo disponible

El fósforo se encuentra en las plantas formando parte de los ácidos nucleicos, fosfolípidos, en las coenzimas NAD y NADP y lo que es especialmente importante, como parte integrante del ATP. En los tejidos meristemáticos la planta, interviene el fósforo en la síntesis de nucleoproteínas (Devlin, 1982).

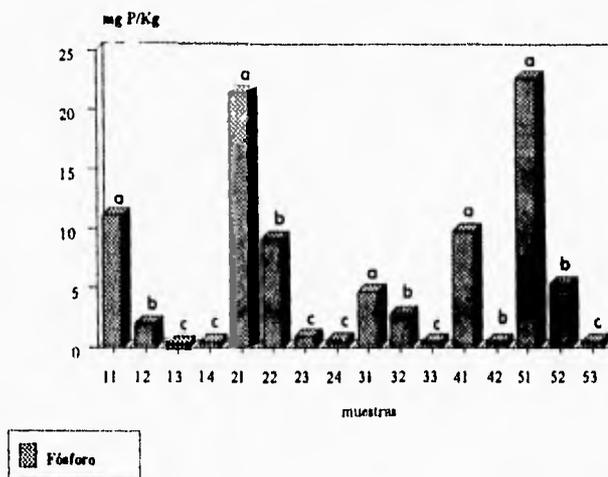
El contenido de fósforo en el primer perfil es diferente en los dos primeros horizontes, en tanto que esta propiedad del suelo es igual en sus dos últimas capas.

En el segundo perfil se encontraron concentraciones de fósforo estadísticamente iguales en los dos horizontes más profundos, mientras que los dos horizontes superficiales tienen concentraciones de este elemento diferentes entre sí y con las dos ya mencionadas.

Los tres horizontes que forman el tercer perfil presentaron diferencias entre ellas con respecto a las concentraciones de fósforo. Situación similar se presentó en los dos horizontes que conforman al cuarto perfil y en los tres que forman al quinto perfil.

El contenido de fósforo en los suelos agrícolas del ingenio "El Potrero" presenta el mismo patrón de distribución en los cinco perfiles, encontrándose mayores concentraciones en los horizontes superficiales y una disminución con la profundidad. En el primer perfil se tiene un horizonte superficial rico en este elemento y pobre en los tres horizontes restantes. En el segundo perfil se tiene un horizonte superficial extremadamente rico, en tanto que el segundo horizonte es rico y sus restantes horizontes son pobres en este elemento. En el tercer perfil se tiene una concentración mediana en el primer horizonte y pobre en los dos horizontes restantes. En el cuarto perfil, se tienen dos horizontes, siendo estos rico y pobre en su contenido de fósforo, respectivamente. El quinto perfil es extremadamente rico en el horizonte superficial, el horizonte intermedio es mediano y, el último, es pobre en su contenido de fósforo (Moreno, 1977) (ver fig. 12 y cuadro 16).

Figura 13. Fósforo disponible en los suelos  
sedeños al ingenio "El Potrero"



El fósforo es un elemento en general deficiente en suelos tropicales de alta evolución.

Para los perfiles primero y tercero que tienen valores de pH muy ácido, la disponibilidad del P queda muy limitada por la presencia del Fe libre, ya que cuando la acidez del suelo aumenta, se produce un incremento en la actividad del Fe y del Al; bajo tales condiciones, los fosfatos solubles son fijados como compuestos insolubles.

El fósforo en los suelos agrícolas se pierde por la remoción de los cultivos o por el lavado, pero debido a la relativa insolubilidad de los compuestos de fósforo en el suelo, al tener baja solubilidad, es mínimo su lavado. Sus pérdidas por erosión son pequeñas, si se comparan con las del K, Ca y Mg. que se fija; para devolverlo al suelo, puede ser por la materia orgánica del suelo, como restos de cultivos y estiércol, como fertilizantes comerciales y como minerales del suelo que lleven fosfatos (Buckman y Brady, 1991).

**Cuadro 16. Contenido de fósforo disponible en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"**

Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	X mg/kg	STD	C.V	
1	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	11.08	0.37	3.36
		12	20-28	1.98	err	err
		13	28-36	0.41	0.03	7.98
		14	36-50	0.48	0.03	6.83
2	fue regado con aguas residuales	21	0-30	21.42	0.12	0.57
		22	30-44	9.10	0.09	1.04
		23	44-60	0.92	err	err
		24	60-110	0.61	0.03	4.64
3	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	4.64	0.06	1.32
		32	22-36	2.75	0.03	1.20
		33	36-60	0.53	0.00	0.00
4	fue regado con aguas residuales	41	0-36	9.76	0.28	2.85
		42	36-60	0.53	0.00	0.00
5	fue regado con aguas residuales	51	0-21	22.65	1.18	5.22
		52	21-33	5.25	0.22	4.22
		53	33-64	0.53	0.00	0.00

Los cinco perfiles son estadísticamente diferentes razón por la cual no se le puede atribuir directamente a las aguas residuales estas diferencias, no obstante los perfiles que han sido regados con aguas residuales presentan los valores más altos en esta propiedad del suelo.

## Retención de fosfatos

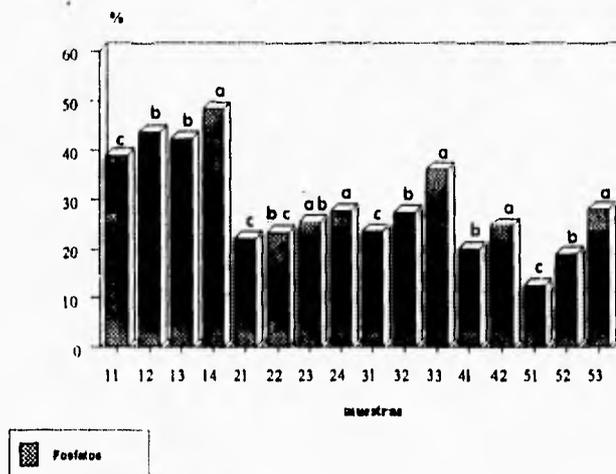
En el segundo, cuarto y quinto perfiles se presentan los valores de pH dentro del intervalo adecuado para el máximo aprovechamiento de los fosfatos por las plantas. Sin embargo, aún en este intervalo, el aprovechamiento de P es bastante bajo. Se considera que las plantas superiores no absorben a menudo más que la mitad ó un tercio del ácido fosfórico asimilable, normalmente aportado por la aplicación de superfosfato u otros fertilizantes que poseen fósforo (Buckman y Brady, 1991).

Los porcentajes de retención de fosfatos encontrados en el primer perfil, entre 0-20 cm y 20-28 cm de profundidad, son distintos, siendo esta última profundidad similar a la que va de los 28-36 cm, en tanto que el porcentaje de retención de los 36-50 cm es diferente a todas las anteriores.

En el segundo perfil se obtuvieron similitudes en el porcentaje de retención de fosfatos entre el horizonte que va de 0-30 cm con el de 30-44 cm y, a su vez, el de 30-44 cm con el de 44-60 cm y este último, con el de 60-110 cm, es decir, que cada horizonte está relacionado con su superior.

El tercer perfil presentó porcentajes heterogéneos entre cada uno de sus tres horizontes. Situación similar se presentó en los dos niveles que integran el cuarto perfil y en los tres horizontes que constituyen al quinto perfil. El primer perfil tiene el porcentaje más alto de los cinco perfiles. Esto posiblemente ocasione serios problemas a la fertilización con fosfatos, debido a la presencia del alófono o material amorfo, además de la actividad del Fe y Al libres. En los cinco perfiles se presenta un incremento en el porcentaje de retención de fosfatos con respecto a su profundidad, (ver fig. 14 y cuadro 17).

Figura 14. Retención de fosfatos en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"



Cuadro 17. Porcentaje de retención de fosfatos en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"

Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	X (%)	STD	C.V	
1	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	38.76	0.25	0.63
		12	20-28	43.41	0.37	0.85
		13	28-36	42.10	2.07	4.91
		14	36-50	48.30	0.44	0.92
2	fue regado con aguas residuales	21	0-30	21.98	0.56	2.56
		22	30-44	23.16	0.56	2.43
		23	44-60	25.19	0.67	2.65
		24	60-110	27.52	0.87	3.15
3	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	23.29	0.40	1.74
		32	22-36	27.16	0.26	0.95
		33	36-60	35.84	0.87	2.42
4	fue regado con aguas residuales	41	0-36	19.75	0.25	1.24
		42	36-60	24.63	0.29	1.18
5	fue regado con aguas residuales	51	0-21	12.34	0.40	3.25
		52	21-33	18.80	0.26	1.37
		53	33-64	27.84	0.52	1.87

## 2. ANÁLISIS FÍSICOS DEL SUELO

Al igual que para el inciso anterior, todos los análisis estadísticos aquí discutidos se encuentran evaluados en el apéndice.

### 2.1 Densidad aparente, densidad real, capacidad de campo

#### *Densidad aparente*

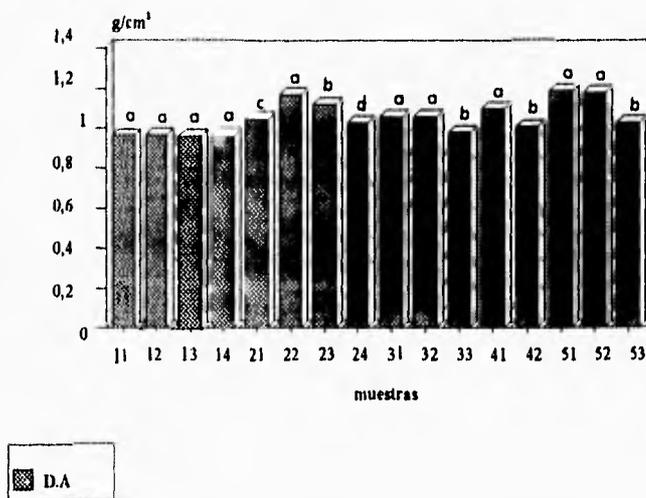
La densidad aparente de los suelos del ingenio "El Potrero" es homogénea para el primer perfil, el cual también presenta los valores más bajos. En los perfiles segundo, tercero, cuarto y quinto se presenta un decremento en esta propiedad, de acuerdo con la profundidad. Los valores de densidad aparente siempre son menores que los valores de densidad real pues incluye el espacio poroso, en tanto que la segunda sólo toma en cuenta al peso de las partículas del suelo. Con excepción del primer perfil, los valores de densidad aparente para los cuatro perfiles restantes entran en el intervalo de densidades para la arcilla (1.3 g/cc). En suelos de textura fina se consideran valores altos a aquellos mayores de 1.3 g/cc (Cortés y Malagón, 1984). (ver fig 16. y cuadro 19)

El primer perfil no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los horizontes que lo integran.

El segundo perfil presentó valores de densidad aparente heterogéneos entre los cuatro horizontes que lo conforman.

En el tercer perfil se encontraron valores de densidad aparente similares entre los 0-21 cm y 22-33 cm de profundidad; mientras que, de los 36-60 cm esta propiedad del suelo fue diferente a las dos anteriores.

Figura 16. Densidad aparente en los suelos aledaños al Ingenio "El Potrero"



Los dos horizontes que forman al cuarto perfil presentan valores de densidad aparente diferentes.

En el quinto perfil se hallaron valores similares de densidad aparente en los horizontes comprendidos entre los 0-21 cm y 21-33 cm de profundidad; en tanto que, el último horizonte fue diferente en esta característica del suelo a las dos anteriores.

Cuadro 19. Valores de densidad aparente en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"

Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	X (g/cm <sup>3</sup> )	STD	C.V	
1	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	0.96	0.002	0.16
		12	20-28	0.96	0.003	0.26
		13	28-36	0.96	0.002	0.21
		14	36-50	0.96	0.004	0.42
2	fue regado con aguas residuales	21	0-30	1.04	0.002	0.14
		22	30-44	1.16	0.008	0.71
		23	44-60	1.11	0.002	0.23
		24	60-110	1.02	0.009	0.89
3	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	1.05	0.003	0.29
		32	22-36	1.05	0.002	0.19
		33	36-60	0.97	0.17	1.76
4	fue regado con aguas residuales	41	0-36	1.09	0.016	1.51
		42	36-60	1.00	0.004	0.45
5	fue regado con aguas residuales	51	0-21	1.18	0.022	1.90
		52	21-33	1.17	0.018	1.50
		53	33-64	1.02	0.001	0.10

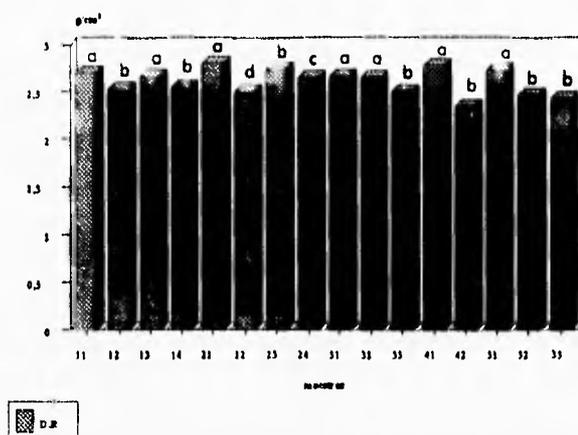
#### **Densidad real**

Los valores de densidad real obtenidos en los perfiles primero, tercero y quinto corresponden a suelos minerales con cuarzo, feldespato y silicatos coloides, en tanto que los perfiles segundo y cuarto, al presentar valores superiores a 2.75 g/cc, se les atribuyen grandes cantidades de minerales pesados, como magnetita, granates, epidota, zircón, turmalina y "hornblenda" (Buckman y Brady, 1991).

Los valores de densidad real tienden a disminuir con la profundidad, (ver fig.15 y cuadro 18).

En el primer perfil el horizonte que va de los 0-20 cm tiene un valor de densidad real similar al que va de los 28-36 cm; mientras que el horizonte que va de los 20-28 cm es similar en esta propiedad al de 36-50 cm, siendo por lo tanto similares sus horizontes extremos.

Figura 18. Densidad real en los suelos estudiados en la granja "El Porcero"



El segundo perfil es heterogéneo en los valores de densidad real de cada uno de los horizontes que lo constituyen. Situación similar se presenta en los tres horizontes que constituyen al tercer perfil y en los dos horizontes que integran al cuarto perfil.

En el quinto perfil a la profundidad de 0-21 cm la densidad real fue diferente a la encontrada en las profundidades comprendidas entre los 21-33 cm y 33-64 cm que, a su vez, fueron similares entre ellas.

### Capacidad de campo

La cantidad total de agua disponible para las plantas está en función de:

- La precipitación y evapotranspiración durante la estación de crecimiento de las plantas
- Capacidad de retención de agua por el suelo
- Desarrollo de las raíces
- Capilaridad del agua subterránea
- La humedad contenida como capacidad de campo

La falta de oxígeno a la raíz de una planta puede estar dado por un exceso de agua. Debido a ello, durante los periodos de excesiva precipitación hay poca aireación, ya que muchos poros en el suelo están llenos con agua y pocos con aire. Por lo tanto, la difusión del oxígeno está fuertemente reducida. Se ha observado que la masa de las raíces de caña de azúcar decrece cuando sobreviven a un "stress" anóxico (insuficiente aporte de oxígeno a las raíces) (Glinski y Lipiec, 1990). Un buen medio para el crecimiento de las raíces es aquel que tiene un sistema continuo y heterogéneo de poros.

Las arcillas caoliniticas retienen alrededor de un 40% de agua, el desarrollo de las raíces determina en gran medida el agua disponible que esté usándose en ese momento en el suelo.

En el primer perfil se tienen diferencias en el porcentaje de humedad entre las profundidades que van de los 0-20 cm y de los 28-36 cm; mientras que, de los 20-28 cm y de los 36-50 cm se tienen porcentajes de humedad similares entre sí.

En el segundo perfil se tienen porcentajes de humedad similares en los horizontes comprendidos entre 0-30 cm y 44-60 cm de profundidad, en tanto que los horizontes que van de los 30-44 cm y de los 60-110 cm de profundidad son iguales, pero diferentes a las dos ya mencionados.

En el tercer perfil, el porcentaje de humedad es igual para las profundidades que van de 0-21 cm y 22-36 cm. En el horizonte más profundo el porcentaje de humedad es diferente a los dos anteriores.

El porcentaje de humedad en los dos horizontes que forman al cuarto perfil son estadísticamente diferentes.

En el quinto perfil los horizontes que van de 0-21 cm y de 21-33cm de profundidad presentan porcentajes de humedad similares, pero el horizonte que va de 33-64 cm es diferente en esta propiedad a las dos anteriores.

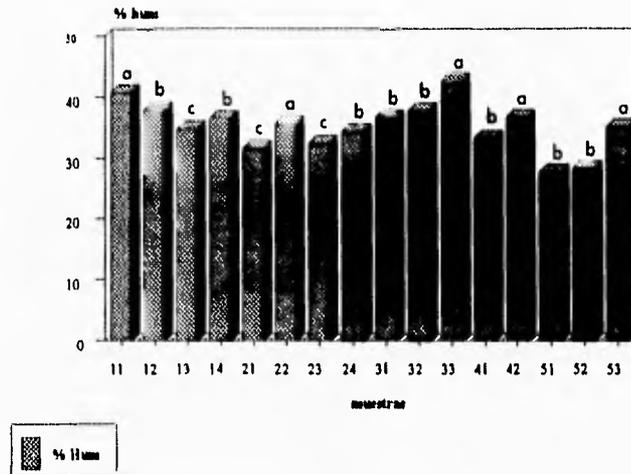
En los perfiles tercero, cuarto y quinto el porcentaje de humedad aumenta en el horizonte más profundo; mientras que, en los perfiles primero y segundo disminuye el porcentaje de humedad con respecto a la profundidad, (ver fig. 17 y cuadro 20).

**Cuadro 18. Valores de densidad real en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"**

Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	X ( $g/cm^3$ )	STD	C.V	
1	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	2.69	0.037	1.39
		12	20-28	2.52	0.008	0.32
		13	28-36	2.65	0.000	0.00
		14	36-50	2.54	0.005	0.20
2	fue regado con aguas residuales	21	0-30	2.79	0.005	0.18
		22	30-44	2.49	0.005	0.20
		23	44-60	2.73	0.005	0.18
		24	60-110	2.64	0.10	0.38
3	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	2.65	0.030	1.13
		32	22-36	2.64	0.030	1.14
		33	36-60	2.49	0.010	0.40
4	fue regado con aguas residuales	41	0-36	2.77	0.025	0.90
		42	36-60	2.33	0.025	1.08
5	fue regado con aguas residuales	51	0-21	2.72	0.010	0.37
		52	21-33	2.45	0.010	0.41
		53	33-64	2.42	0.005	0.21

La capacidad de campo debe considerarse para determinar las reservas de agua del suelo utilizables por las plantas. Esto es por que las plantas pueden absorber una fuerte proporción de esta agua de gravitación de flujo lento, (la humedad contenida a capacidad de campo es la suma máxima de humedad que puede ser retenida en el suelo cercana a la fuerza de gravedad).

Figura 17. Capacidad de campo en los suelos arcillosos al Ingenio "El Potrero"



## 2.2 Arcilla, arena, limo, color

### Arcilla

Para que un suelo sea designado como arcilla debe llevar, como mínimo, un 35% de fracción arcillosa. Los suelos de textura fina permiten retardar relativamente el movimiento del agua y aire a pesar de la gran cantidad de espacios porosos que poseen. Las partículas de arcilla a causa de su estado de fina división presentan una gran superficie exterior y en algunos tipos de arcilla hay también una superficie interna. Las pequeñas partículas coloidales de arcilla silícea llevan ordinariamente una carga negativa; por consiguiente, miles de cationes son atraídos, radicando así la importancia de la arcilla en su capacidad de intercambiar cationes.

La arcilla retarda el movimiento del agua y aire; un suelo así será altamente plástico y fuertemente adhesivo cuando esté mojado y será pesado y convertido en terrones al secarse. La expansión y contracción suele ser grande, al mojarse y secarse alternativamente.

En el primer perfil se tiene una distribución heterogénea de la arcilla. Situación similar se presenta en los perfiles segundo, tercer y cuarto.

En el quinto perfil se tienen porcentajes similares de arcilla en los horizontes extremos, el horizonte intermedio es distinto en esta propiedad del suelo a los ya mencionados, (ver fig. 18 y cuadro 21).

**Cuadro 20. Valores de capacidad de campo en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"**

Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	X (% de hum)	STD	C.V	
1	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	40.75	1.62	0.04
		12	20-28	37.87	0.30	0.01
		13	28-36	34.77	1.27	0.04
		14	36-50	36.52	2.45	0.07
2	fue regado con aguas residuales	21	0-30	31.53	0.76	0.02
		22	30-44	35.56	1.40	0.04
		23	44-60	32.43	1.42	0.04
		24	60-110	34.39	1.84	0.05
3	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	36.61	0.12	0.00
		32	22-36	37.76	0.35	0.01
		33	36-60	42.62	1.07	0.03
4	fue regado con aguas residuales	41	0-36	33.31	0.55	0.02
		42	36-60	36.71	0.52	0.01
5	fue regado con aguas residuales	51	0-21	27.75	0.51	0.02
		52	21-33	28.23	0.30	0.01
		53	33-64	35.07	0.75	0.02

El incremento de arcilla con respecto a la profundidad que se presenta en los perfiles primero y segundo, puede deberse a los siguientes procesos:

- Translocación vertical de la arcilla dentro del perfil con o sin acumulación en un horizonte iluvial.
- Traslado selectivo de la fracción fina desde la superficie del suelo, por erosión o por la mesofauna.
- Destrucción de la arcilla en la superficie del suelo como resultado de la ferrolisis (proceso por el cual en una estación de inundamiento se crean condiciones de fuerte acidez en las capas de la superficie que afectan la estabilidad de la arcilla mineral). La intensidad de la migración de las arcillas depende de varios factores: La cantidad de arcilla que está presente en el material original, la carga característica de la arcilla, la energía disponible para separar y dispersar a la arcilla y un vector (agua) para llevar la arcilla en suspensión (Wambeke, 1992).

## Limo

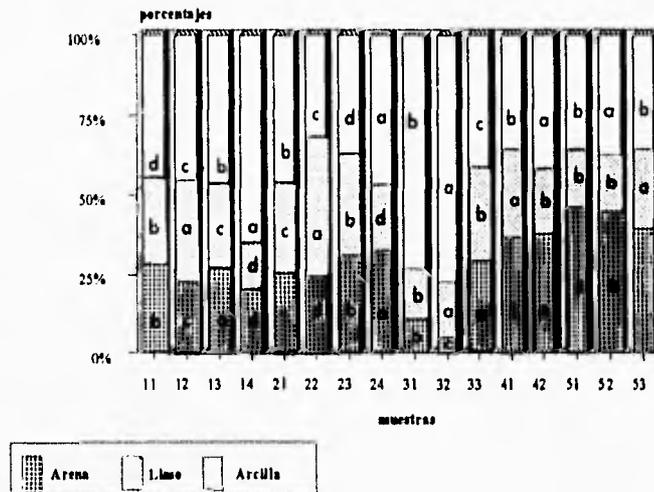
Las partículas de limo tienden a hacer fragmentos irregulares, distintos en forma y raras veces lisos o pulidos. La presencia del limo en el suelo sólo es conveniente si está combinado con cantidades adecuadas de arcilla, arena y materia orgánica.

En el primer perfil se tiene una distribución heterogénea del limo. Situación similar se presenta en los perfiles segundo y cuarto.

El tercer perfil presenta porcentajes similares en esta propiedad del suelo en los horizontes extremos; mientras que, el horizonte intermedio es diferente a ellos.

En el quinto perfil se presentan porcentajes similares de limo entre los dos primeros horizontes, siendo diferente a ellos el horizonte más profundo, ( ver fig. 18 y cuadro 22)

Figura 18. Porcentaje de arena, limo y arcilla en los suelos seldados al ingenio "El Patrero"



## Arena

Un suelo con alto porcentaje en arena tiene buena aireación y drenaje, es de fácil laboreo, lo que lo lleva a ser demasiado suelto y abierto por lo cual no tiene capacidad para absorber y guardar suficiente humedad y nutrientes. En consecuencia, los suelos que la tienen en mayor porcentaje son áridos y carentes de fertilidad.

En la figura 18 y en el cuadro 23 se observa, que en el primer perfil se tiene una distribución heterogénea de la arena. Situación similar se presenta en los perfiles segundo, tercero, cuarto y quinto.

La textura del suelo está relacionada con el tamaño de las partículas minerales, la estructura del suelo es la disposición de las partículas del suelo en grupos o agregados.

En los suelos aledaños al ingenio se tiene una clasificación textural de arcilla para el primer perfil. En el segundo perfil los horizontes extremos son arcilla y los dos intermedios son franco-arcilloso. El tercer perfil es arcilla; el horizonte superior del cuarto perfil es migajón-arcilloso y el inferior es arcilla. El horizonte superficial del quinto perfil es arcillo-arenoso y sus restantes horizontes son migajón-arcilloso.

Los horizontes de textura fina o con alto contenido de arcilla corresponden a los suelos plásticos llamados pesados, difíciles de trabajar y con fuerte poder adhesivo, que restringen el crecimiento de las raíces.

Un suelo de megajón-arcilloso usualmente forma terrones duros cuando está seco. La fracción de arcilla refleja el efecto del tiempo, la actividad química y las condiciones ambientales que existieron durante la formación del suelo. Las fracciones de arena y limo, por lo general, constituyen vestigios de la roca madre del suelo (Bohn, 1993).

**Cuadro 21. Porcentaje de arcilla en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"**

Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	X (%)	STD	C.V	
1	Teóricamente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	44.33	0.47	1.06
		12	20-28	45.34	0.47	1.04
		13	28-36	50.40	0.47	0.93
		14	36-50	65.00	0.00	0.00
2	fue regado con aguas residuales	21	0-30	45.80	0.08	0.18
		22	30-44	31.60	0.08	0.26
		23	44-60	36.87	0.05	0.13
		24	60-110	46.73	0.09	0.20
3	Teóricamente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	73.40	0.08	0.11
		32	22-36	77.50	0.07	0.09
		33	36-60	49.30	0.08	0.17
4	fue regado con aguas residuales	41	0-36	35.50	0.08	0.23
		42	36-60	41.40	0.08	0.20
5	fue regado con aguas residuales	51	0-21	35.50	0.08	0.23
		52	21-33	37.40	0.08	0.22
		53	33-64	35.40	0.08	0.23

Cuadro 22. Porcentaje de limo en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"

Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	X (%)	STD	C.V	
1	Teóricamente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	27.40	0.16	0.60
		12	20-28	32.33	0.17	0.53
		13	28-36	19.40	0.16	0.84
		14	36-50	15.00	0.16	1.09
2	fue regado con aguas residuales	21	0-30	28.47	0.05	0.17
		22	30-44	44.43	0.05	0.11
		23	44-60	32.10	0.12	0.39
		24	60-110	20.50	0.08	0.40
3	Teóricamente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	16.0	0.02	0.10
		32	22-36	18.0	0.01	0.07
		33	36-60	16.07	0.08	0.51
4	fue regado con aguas residuales	41	0-36	28.0	0.01	0.04
		42	36-60	20.04	0.04	0.22
5	fue regado con aguas residuales	51	0-21	18.00	0.00	0.00
		52	21-33	18.10	0.08	0.45
		53	33-64	26.03	0.05	0.18

### Color

El color del suelo es la luz reflejada por los minerales dominantes que contenga, va a depender de procesos de intemperismo, de la acción de la materia orgánica, de fertilizantes y está relacionado con el clima.

Los colores que se presentan en los cinco perfiles corresponden a zonas tropicales, (ver cuadros 24 y 25).

El color obtenido en los suelos aledaños al ingenio indica, en general, un drenaje imperfecto. Éste presenta un horizonte anaerobio durante períodos cortos de saturación no excediendo a pocos días y está humedo por varios meses, lo suficiente para tener al Fe y al Mn en estado reducido, con su consecuente estado oxidado en la estación seca en donde se presentan motas rojas (Fe) y negras (Mn) en la superficie. Presenta colores menos brillantes que los bien drenados.

A pesar de que se encuentran colores que indican un buen drenaje (primero y segundo perfiles, tienen colores café 10YR, 7.5YR), los suelos bien drenados tienen cromas mayores de 2, hecho que se presenta en los cinco perfiles del suelo aledaño al ingenio, pero la presencia de las motas a menos de los 50cm de altura sugiere un drenaje imperfecto. Esto ocurre en suelo seco porque en suelo húmedo se tienen cromas menores de 1, que indican suelos pobremente drenados (horizonte superficial del primer perfil, los dos primeros del segundo, el más profundo del cuarto y los dos primeros del quinto) (Dijkerman, 1983).

**Cuadro 23. Porcentaje de arena en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"**

Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	X (%)	STD	C.V	
1	Teóricamente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	28.27	0.09	0.33
		12	20-28	22.33	0.17	0.76
		13	28-36	30.2	0.08	0.27
		14	36-50	20.0	0.12	0.62
2	fue regado con aguas residuales	21	0-30	25.73	0.09	0.37
		22	30-44	23.97	0.09	0.39
		23	44-60	31.30	0.42	1.36
		24	60-110	32.77	0.05	0.14
3	Teóricamente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	10.60	0.08	0.77
		32	22-36	4.50	0.08	1.81
		33	36-60	34.63	0.05	0.14
4	fue regado con aguas residuales	41	0-36	36.50	0.08	0.22
		42	36-60	38.56	0.05	0.12
5	fue regado con aguas residuales	51	0-21	46.50	0.08	0.18
		52	21-33	44.40	0.08	0.18
		53	33-64	38.57	0.12	0.32

**Cuadro 24. Color en húmedo en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"**

Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	Color en húmedo	
1	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	negro 10YR 2/1
		12	20-28	café muy oscuro 10YR 2/2
		13	28-36	café muy oscuro 10YR 2/2
		14	36-50	café rojizo oscuro 5YR 3/3
2	fue regado con aguas residuales	21	0-30	negro 10YR 2/1
		22	30-44	negro 10YR 2/1
		23	44-60	café rojizo oscuro 5YR 3/2
		24	60-110	café rojizo oscuro 5YR 3/3
3	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	café rojizo oscuro 2.5YR 3/4
		32	22-36	café rojizo oscuro 2.5YR 3/4
		33	36-60	café rojizo 5YR 4/4
4	fue regado con aguas residuales	41	0-36	gris muy oscuro 10YR 3/2
		42	36-60	café oscuro 7.5YR 4/4
5	fue regado con aguas residuales	51	0-21	negro 10YR 2/1
		52	21-33	gris muy oscuro 5YR 3/1
		53	33-64	café 7.5YR 5/4

Cuadro 25. Color en seco en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"

Perfil	Muestra	Profundidad (cm)	Color en seco	
1	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	11	0-20	café oscuro 10YR 3/3
		12	20-28	café amarillento oscuro 10YR 4/4
		13	28-36	café amarillento oscuro 10YR 4/4
		14	36-50	café amarillento 10YR 5/6
2	fue regado con aguas residuales	21	0-30	café grisáceo muy oscuro 10YR 3/2
		22	30-44	café oscuro 10YR 4/3
		23	44-60	café 10YR 4/3
		24	60-110	café 7.5YR 5/4
3	Teórica-mente, no ha sido regado con aguas residuales	31	0-21	rojo amarillento 5YR 5/6
		32	22-36	rojo amarillento 5YR 5/6
		33	36-60	amarillo rojizo 5YR 6/8
4	fue regado con aguas residuales	41	0-36	gris café claro 10YR 6/2
		42	36-60	amarillo rojizo 7.5YR 6/6
5	fue regado con aguas residuales	51	0-21	café grisáceo 10YR 5/2
		52	21-33	café 10YR 5/3
		53	33-64	amarillo 10YR 7/6

### 3. Relaciones entre propiedades del suelo

Todos los análisis estadísticos aquí discutidos se encuentran en el apéndice.

#### *pH - Al amorfo*

La acidez del suelo es común en aquellas regiones donde la precipitación es alta. En dicha precipitación hay sustancias que pueden lixiviar cantidades apreciables de bases intercambiables de los niveles superficiales de los suelos hacia abajo (el incremento de los cationes Ca y Mg de acuerdo con la profundidad del suelo en los cinco perfiles lo confirma).

En el primero y cuarto perfiles se encontró una correlación media, negativa y significativa entre el pH del suelo y el contenido de Al amorfo. Esto significa que cuando los valores de pH de los

perfiles tienden hacia la neutralidad hay una disminución en el contenido del Al intercambiable y, por lo tanto, del contenido de óxidos e hidróxidos de Al amorfos. Por el contrario, en el tercer y quinto perfiles se presentó una correlación positiva (media en el tercero y fuerte en el quinto) y altamente significativa entre estas dos variables, lo cual indica que al acercarse el pH del suelo a la neutralidad disminuye la cantidad de Al intercambiable, pero hay un ligero aumento en el contenido de óxidos e hidróxidos de Al amorfos. En el segundo perfil no se encontró correlación entre estas dos variables del suelo.

Un aspecto importante en este tipo de suelos ácidos es que, con valores de pH por debajo de 5, la solubilidad del Al aumenta a tal grado que puede llegar a ser tóxico para las plantas.

Comparando las medias estadísticas, obtenidas a través de una prueba de t de los valores de pH, de los perfiles que tóricamente no han sido regados con aguas residuales, con los perfiles que si han sido regados con aguas residuales, se encontró que ambos son diferentes a un nivel de significancia de 0.05, en tanto que al nivel de 0.01 la diferencia obtenida quedo por debajo de la t de tabla (t de tabla 3.747 t obtenida 3.7024). Esta diferencia se puede atribuir al empleo de las aguas residuales.

#### ***pH - Fe amorfo***

No se encontró correlación entre el pH y el Fe amorfo en los perfiles primero y quinto.

Se encontró una fuerte correlación ( $R=0.90$ ), negativa y altamente significativa ( $P<0.01$ ), entre el pH y el Fe amorfo en los perfiles segundo, tercero y cuarto. Esta correlación negativa indica que, conforme disminuye la acidez, disminuye el contenido de Fe en los suelos, lo cual está de acuerdo con los valores menos ácidos que tienen los perfiles segundo y cuarto. Debido a la alta acidez que posee el primer perfil, se esperaba encontrar en él una correlación positiva, entre las dos variables ya mencionadas pero ésta no se presentó probablemente porque la forma química del Fe extraído no fue la indicada o el método empleado no fue el apropiado.

#### ***pH - Fósforo asimilable***

Se encontró una fuerte correlación, negativa y altamente significativa entre el pH y el fósforo asimilable en los cinco perfiles analizados. La anterior correlación significa que, conforme los valores de pH se acercan a la neutralidad disminuye la cantidad de P asimilable en el suelo. En el primer perfil se tienen valores de pH muy ácidos (4.18-5.36), por lo cual el P debe encontrarse fijado al Al, Fe o Mn siendo por lo tanto la correlación anterior representativa de lo que esta ocurriendo en el suelo. En los perfiles segundo cuarto y quinto, que tienen valores de pH que van de medianamente a ligeramente ácidos, debería presentarse una correlación positiva con el P asimilable pues se sabe que el intervalo de pH óptimo de asimilación por las plantas de este elemento esta entre 6 y 7; sin embargo, la correlación obtenida debe estar presentándose por que el ión  $PO_4^{3-}$  es retenido en la superficie de los coloides del suelo por los cationes  $Ca_2^+$ ,  $Fe_3^+$ ,  $Al_3^+$  a valores de pH comprendidos de entre 5.5 a 7.5. Esto se observa en los perfiles segundo y cuarto, en donde se halló una fuerte correlación, positiva y altamente significativa, entre el P asimilable y el Fe extraíble. Así, a mayor porcentaje de P asimilable mayor porcentaje de Fe extraíble. También se encontró una fuerte correlación, positiva y altamente significativa, entre el P asimilable y el Ca intercambiable en los perfiles anteriormente mencionados. En el quinto perfil no se encontró correlación entre el P asimilable y el Ca intercambiable ni entre el P y el Fe amorfo, presentandose sin embargo, una fuerte asociación negativa y altamente significativa entre el P asimilable y el Al amorfo, la cual es normal en el perfil debido a los valores de ligera acidez que presenta y, por ello, el Al extraíble se encuentra en menor porcentaje.

### ***pH - Sodio intercambiable***

En el primer perfil se encontró una correlación positiva mediana y significativa, En el segundo perfil no se encontró correlación, en los tres restantes perfiles, se obtuvo una correlación fuerte, positiva y altamente significativa. La correlación obtenida fue la esperada ya que normalmente se encuentran mayores concentraciones de Na intercambiable cuando aumentan los valores de pH en el suelo, esto es debido a que los valores de pH se acercan a la neutralidad conforme aumenta la concentración del Na en la solución del suelo.

Comparando estadísticamente las medias, con una  $P < 0.05$ , de las concentraciones de sodio intercambiable de los perfiles que teóricamente no han sido regados con aguas residuales con los que han sido regados con aguas residuales, se encontró que ambos son diferentes en el contenido de este elemento, lo cual puede deberse a la incorporación de sodio intercambiable por el uso de aguas residuales en el riego

### ***pH - Potasio intercambiable***

Se encontró una fuerte correlación negativa y altamente significativa en cuatro de los cinco perfiles, siendo mediana y significativa en el tercer perfil, el K es un ión fácilmente asimilable por las plantas, tiene un amplio margen de valores de pH en el cual puede ser asimilado (5 a 9), por lo cual la caña de azúcar cultivada en estos suelos debe absorberlo normalmente. Las correlaciones negativas indican que al aumentar los valores de pH, disminuye la concentración de potasio intercambiable, lo que en realidad no ocurre. Se sabe que el K de ciertos fertilizantes, tales como el cloruro de potasio puede ser fijado por ciertos coloides del suelo; en esta forma, el K no puede ser reemplazado por los métodos ordinarios de cambio y, en consecuencia, se considera como K no cambiante. No se encontraron diferencias significativas en el contenido de potasio intercambiable entre las medias de los perfiles estudiados.

### ***pH - Ca intercambiable***

En los perfiles primero y cuarto se presentó una fuerte correlación, positiva y altamente significativa entre el pH y el Ca intercambiable. En el segundo y tercer perfiles estas correlaciones fueron fuerte negativa y altamente significativa y débil negativa y significativa respectivamente. En el quinto perfil no se encontró correlación. La asociación positiva es la que generalmente se presenta en los suelos, la correlación obtenida en el segundo y tercer perfiles no refleja lo que en realidad está sucediendo en el suelo ya que ésta dice que, conforme los valores de pH aumentan, se presenta una menor concentración de Ca intercambiable, cuando en el suelo normalmente se tienen altas concentraciones de Ca intercambiable, se tienen también valores de pH cercanos a la neutralidad, tal vez aquí se presentaron fallas de tipo técnico en sus determinaciones analíticas.

En el análisis estadístico correspondiente se encontraron diferencias entre las concentraciones de calcio intercambiable entre los perfiles que teóricamente no han sido regados con aguas residuales con respecto a los que han sido regados con estas aguas, situación que puede deberse al empleo de las aguas residuales

### ***pH - Mg intercambiable***

No se encontró correlación entre el pH y el Mg intercambiable en los perfiles primero y quinto. En el segundo y tercer perfiles se presentó una correlación fuerte negativa y altamente significativa entre las dos características del suelo ya mencionadas. En el cuarto perfil la correlación hallada fue fuerte ( $R = 0.99$ ) positiva y altamente significativa, lo obtenido en el segundo y tercer perfiles indica que al aumentar los valores de pH disminuye la concentración de Mg. Esto generalmente, no ocurre, pero el hecho de haber obtenido una correlación positiva

en el cuarto perfil, el cual posee valores de pH que van de medianos a ligeramente ácidos parece indicar lo que comúnmente sucede en el suelo, ya que el magnesio es más fácilmente asimilable a valores de pH comprendidos entre 6 y 8.5.

Los resultados obtenidos en la comparación de las medias estadísticas en los contenidos de magnesio intercambiable en los perfiles que teóricamente no están sujetos a riego con aguas residuales en comparación con los que han sido regados con éstas, se obtuvo una diferencia altamente significativa entre ambas, resultado que puede deberse al uso del agua residual.

#### ***Materia orgánica - Fósforo asimilable***

En cuatro de los cinco perfiles se presentó una fuerte correlación positiva ( $R= 0.99$ ) con un nivel de probabilidad menor al 0.01 entre la cantidad de materia orgánica y el fósforo asimilable, no presentándose en el tercer perfil. Las asociaciones obtenidas indican que, al aumentar el porcentaje de materia orgánica en el suelo, aumenta su porcentaje de fósforo (en el suelo). Esto es normal, ya que parte del P cuantificado como asimilable, se encuentra adsorbido en la materia orgánica humificada.

No se encontraron diferencias en la comparación de las medias estadísticas, para los valores de fósforo en los suelos estudiados.

#### ***Materia orgánica - Sodio intercambiable***

Se encontró una débil correlación negativa y muy poco significativa entre la materia orgánica y el Na intercambiable en el primer perfil. No se presentó correlación alguna entre estas dos variables en los perfiles segundo y tercero (en el primero de ellos se presentó una asociación baja negativa y significativa entre el limo y el Na intercambiable, no presentándose la asociación con la arcilla y, en el segundo, se dio una correlación fuerte negativa y altamente significativa entre la arcilla y el elemento ya mencionado). Lo anterior es normal debido, a que la materia orgánica no es un reservorio de Na. En los perfiles cuarto y quinto se presentó una correlación fuerte, negativa y altamente significativa. Lo anterior podría considerarse como favorable ya que, a mayor porcentaje de materia orgánica, menor contenido de Na intercambiable y cuando el ión Na es adsorbido en grandes cantidades, las partículas del suelo son dispersadas, resultando una estructura del suelo completamente indeseable.

#### ***Materia orgánica - Potasio intercambiable***

Se encontró una fuerte correlación positiva y altamente significativa ( $P<0.01$ ) entre la materia orgánica y el K intercambiable, en cuatro de los cinco perfiles, no encontrándose en el tercer perfil. El K es adsorbido por la parte del complejo coloidal de la materia orgánica llamada humus y es un constituyente de la materia orgánica. Por lo tanto, esta asociación es normal y favorable ya que, a mayor porcentaje de materia orgánica en el suelo, mayor contenido de K intercambiable.

#### ***Materia orgánica - Calcio intercambiable***

En el primer perfil se presentó una asociación negativa entre las variables de materia orgánica y Ca intercambiable con un débil coeficiente de variación de 0.52 poco significativo y con un nivel de probabilidad menor al 0.05. De acuerdo a lo anterior, el Ca analizado debe encontrarse ligeramente unido al complejo coloidal llamado humus y, probablemente este ión proceda de la arcilla, pues la asociación fuerte positiva y altamente significativa entre el contenido de arcilla y Ca intercambiable en este perfil lo indica. En el segundo perfil se halló una correlación fuerte, positiva y altamente significativa entre la materia orgánica y el Ca intercambiable. En el tercer perfil no se encontró la correlación materia orgánica - Ca intercambiable, presentándose ésta,

mediana, positiva y significativa, entre la arcilla y el Ca. Una situación similar se presentó en el cuarto perfil, sólo que aquí la correlación Ca intercambiable - arcilla fue fuerte, positiva y significativa. Lo encontrado es representativo de lo que sucede en el suelo; así, el Ca se encuentra adsorbido alrededor de la partícula de arcilla. Por otra parte, la correlación positiva es favorable, ya que a mayor porcentaje de arcilla se tiene mayor porcentaje de Ca intercambiable. En el quinto perfil no se encontró correlación entre materia orgánica y Ca, ni entre arcilla-Ca.

#### ***Materia orgánica - Magnesio intercambiable***

No se encontró correlación entre la materia orgánica y el Mg intercambiable en el primer perfil, pero ésta se presentó de forma mediana, positiva y significativa con la arcilla. En el segundo perfil se dio una correlación igual pero entre la materia orgánica y el Mg intercambiable. En el tercer perfil no se encontró la correlación entre la materia orgánica y el Mg, dándose ésta fuerte, positiva y altamente significativa entre la arcilla y el Mg intercambiable. Esta última correlación se presentó de igual forma en el cuarto perfil. En el quinto perfil no se encontró correlación entre la materia orgánica y el Mg y la obtenida entre la arcilla y el Mg fue negativa y altamente significativa; se presentó una correlación mediana, positiva y significativa con el limo lo cual es normal al tener este perfil una clasificación textural que va de arcillo-arenoso a migajón-arcilloso.

#### ***Materia orgánica - Capacidad de campo***

Se presentó una débil correlación positiva y significativa ( $P < 0.05$ ) entre la materia orgánica y la capacidad de campo en el primer perfil. En los perfiles segundo y tercero no se presentó la correlación ya mencionada. En los perfiles cuarto y quinto se encontró una correlación fuerte, negativa y altamente significativa entre las dos características del suelo ya mencionadas. Lo obtenido en estas correlaciones no refleja realmente lo que sucede en el suelo, ya que la materia orgánica en realidad incrementa la capacidad de retención de humedad en el suelo, al impedir una rápida filtración de ésta. Por ello a mayor contenido de materia orgánica, mayor porcentaje de retención de humedad, hecho que se presenta de forma débil sólo en el primer perfil. Si en los restantes perfiles, la materia orgánica no está contribuyendo en la retención de humedad, según los anteriores resultados, entonces el porcentaje de humedad analizado debe estar asociado de alguna manera con la arcilla, lo cual puede estar indicado por una fuerte correlación positiva y altamente significativa entre la arcilla y la capacidad de campo en el cuarto perfil, una fuerte correlación positiva y altamente significativa entre el limo y la capacidad de campo en el quinto perfil, y una correlación negativa y altamente significativa entre la arena y la capacidad de campo, siendo lo normal pues a mayor porcentaje de arena menor porcentaje de arcilla y por lo tanto mayor porcentaje de retención de humedad. Es importante mencionar que este perfil tiene una clasificación textural que va de arcillo-arenoso a migajón-arcilloso.

#### ***Retención de fosfatos - Aluminio amorfo***

En el primero y cuarto perfiles se encontró una correlación mediana ( $R = -0.79$ ) y altamente significativa y respectivamente, entre el Al amorfo y la retención de fosfatos, lo cual está indicando que los fosfatos están retenidos débilmente por el Al amorfo. El cuarto perfil posee valores de mediana acidez y, por ello, los óxidos de aluminio se encuentran menos solubles. Por lo tanto parecen intervenir menos en la fijación de fosfatos. Pero lo anterior no ocurre en el primer perfil, que posee altos valores de acidez. Para que una asociación positiva se presente entre las dos variables ya mencionadas en este perfil sería necesario analizar también la presencia de iones de Fe y Al solubles. Esto es porque en la retención de fosfatos, pueden estar interviniendo también estas formas del Al y Fe entre otras.

En el segundo y tercer perfiles no se encontro correlación entre la retención de fosfatos y el Al amorfo. El primero presenta valores de pH ligeramente ácidos y, por lo tanto, la ausencia de la asociación entre las variables ya mencionadas no es sobresaliente. Sin embargo, se presentó, en ambos perfiles, una correlación mediana, negativa y altamente significativa con el Fe y, por lo consiguiente, los óxidos hidratados de Fe están interviniendo, en este caso, en la retención de fosfatos. En lo que respecta al tercer perfil, si se esperaba una asociación entre el Al amorfo y la retención de fosfatos, debido a los altos valores de pH que posee.

En el quinto perfil se presentó una correlación fuerte, positiva y altamente significativa entre las dos características del suelo ya mencionadas, no encontrándose asociación con el Fe amorfo ni el Ca intercambiable.

La correlación obtenida en el quinto perfil es reflejo de lo que se esperaba obtener, principalmente, en los perfiles primero y tercero ya que, a mayor porcentaje de Al, mayor porcentaje de retención de fosfatos; es decir particularmente en el primer perfil debido a que posee los valores de acidez y de retención de fosfatos más altos.

#### **4. Clasificación taxonómica**

Tomando en cuenta los análisis físicos y químicos, así como algunas observaciones en campo, de los suelos agrícolas aledaños al ingenio "El Potrero" y comparándolos con la FAO (1994), World Reference Base of Soil Resources, se obtuvo la siguiente clasificación, la cual debe considerarse como una primera aproximación, en la cual sólo se llegó a nivel de grupo. Por lo tanto, para corroborarla e incluirla dentro de alguna unidad de suelo se tendría que hacer un análisis más detallado.

##### **Perfiles 1 y 3**

Acrisol, viene del latin **acris** que significa muy ácido.

Predominan en regiones tropicales y subtropicales en donde la meteorización es intensa. Se caracterizan por tener una acumulación de arcillas en el horizonte B argílico, en combinación con arcillas de baja intensidad, tales como caolinita y por lo tanto tienen una capacidad de intercambio catiónico menor a 24 meq/100g.

Los acrisoles tienen una estructura débilmente desarrollada. El horizonte argílico en muchos acrisoles se caracteriza por un claro incremento de arcilla que ocurre sobre distancias cortas. La penetración de raíces es usualmente pobre a causa de la acidez en el subsuelo y sus colores son pardos.

El primer perfil tiene un horizonte Ap de color oscuro, el cual no se atribuye a la melanización sino al efecto del uso del suelo, sin embargo el color de los horizontes más profundos tiende hacer pardo amarillento oscuro, lo cual indica que este suelo ha estado sujeto a una intensa intemperización por las condiciones climáticas a las que ha estado expuesto.

Presenta un horizonte argílico por la alta cantidad de arcilla iluviada, reflejando un gran desarrollo pedológico.

La desbasificación es otro proceso que se ha visto influenciado por la alta precipitación pluvial conduciendo a la acidez del suelo, lo que trae a la par un mayor porcentaje de Fe y Al, manifestandose en una alta retención de fosfatos, hecho que es contraproducente en la asimilación del fósforo por las plantas

El tercer perfil presenta un horizonte Ap por estar influenciado por actividades antropogénicas (labranza), tiene un color pardo rojizo oscuro, el color rojizo significa la presencia de Fe libre al ser intemperizados los minerales, lo que indica un intenso intemperismo, de igual forma que en el perfil anterior se presenta una desbasificación ocasionando los anteriores efectos ya reportados. Ambos suelos se originaron a partir de roca granítica del terciario, siendo también ambos suelos someros.

Los perfiles primero y tercero se encuentran en la zona de más alta precipitación y como consecuencia tiene valores de pH ácidos y altos porcentajes de retención de fosfatos, contenidos de Al y Fe mayores que los perfiles restantes y bajos contenidos de cationes, lo anterior como resultado de una intensa lixiviación situación que se refleja en la acumulación de arcilla en el horizonte B. Este incremento definido en arcilla se presenta a una corta profundidad. Los bajos valores de capacidad de intercambio de cationes obtenidos corresponden a arcillas de baja capacidad en suelos con caolínita.

## **Perfil 2**

Vertisoles, viene del latín *vertere*, invertir, connotativo de movimiento de la superficie del suelo.

Se encuentran en áreas tropicales y subtropicales con pronunciado régimen de lluvia uni- o bimodal. Los vertisoles son suelos arcillosos dominados por minerales arcillosos del tipo montmorillonita, con un alto coeficiente de expansión y contracción, que se expanden cuando están mojados y se contraen cuando están secos.

Se caracterizan por tener un horizonte "vértico", el cual presenta, después de los primeros 20 cm, un contenido del 30 por ciento o más de arcilla en todos los horizontes hacia una profundidad de 100 cm o más. Desarrollan hendiduras de la superficie del suelo hacia abajo, las cuales están en el mismo período en muchos años y tienen al menos un centímetro de amplitud y 50 centímetros de profundidad, las hendiduras resultan de cambios de volumen de la masa del suelo condicionada por ciclos de mojado y secado, lo cual trae a la par la presencia de "slickensides", los que a su vez se incrementan en cantidad y tamaño con la profundidad (FAO, 1994).

La geología de esta zona reporta que en el Cuaternario hubo depósitos aluviales lo cual explica adiciones de cationes, como el Mg, Ca, Fe. Además, la zona se encuentra circundada por partes más altas y de igual manera se ha visto influenciada por aportes de sedimentos, lo cual apoya la formación de arcilla montmorillonita. Los aportes con altas cantidades de cationes, ocasionan un medio poco ácido y así algunos minerales pudieron transformarse en montmorillonita por adición de sílice (Douchafour, 1984).

El segundo perfil presenta un suelo profundo, en el cual los procesos de expansión y contracción alternantes durante la estación seca y mojada se reflejan en el campo por la formación de grietas con más de un centímetro de ancho y de un metro de profundidad y de "Slickensides" o "caras pulidas" que, junto con las pruebas de laboratorio que indican la presencia de colores oscuros, los cuales son dados principalmente por el tipo de arcilla y no por los contenidos de materia orgánica, al estar el suelo en un constante reacomodo por los procesos de expansión y contracción y finalmente la falta de evidencia de lixiviado al no haber un horizonte Bt sugiere que este perfil es un vertisol.

Considerando los valores reportados para las bases, se infiere la presencia de arcillas con mayor capacidad de intercambio, hecho que se refleja en los valores de pH cercanos a la neutralidad, efecto posiblemente dado por aportes continuos de material proveniente de las partes altas y la presencia de Ca y Mg como cationes dominantes.

## **Perfiles 4 y 5**

**Cambisol**, del latín tardío *cambiare* de cambio, connotativo de cambios de color estructura y consistencia.

Son suelos de desarrollo moderado caracterizados por un ligero a moderado intemperismo del material parental, carecen de cantidades apreciables de arcilla iluvial. Los cambisoles representan suelos que muestran un grado mínimo de desarrollo del suelo, esto es evidenciado ya sea por un color oscuro, rico en bases, su característica principal es la presencia de un horizonte **B** cámbico, muchos cambisoles están en un estado transicional de desarrollo de suelo joven a suelo maduro.

En la práctica un horizonte cámbico es cualquier sección de un perfil de suelo situado entre un horizonte superficial enriquecido con humus y un sustrato relativamente inalterado se diferencian del sustrato en el color y contenido de arcilla. El hecho de que los cambisoles están en un primer estado de formación de suelo es frecuentemente evidenciado por la presencia de cantidades apreciables de minerales intemperizables y la ausencia de cualquier signo de avance pedogenético.

Los perfiles cuarto y quinto son suelos someros. tienen colores oscuros en el horizonte **Ap**, debido a la melanización de la materia orgánica haciéndose más claro conforme la profundidad aumenta, en donde ya se ha liberado el hierro y los valores de **Ca**, **Mg** y **K** se han incrementado con la profundidad.

Estos suelos presentan un desarrollo moderado indicado por la presencia de un horizonte **Bw**, el cual se caracteriza por la falta de un horizonte con arcilla iluviada, por lo cual ésta no presenta un marcado incremento con respecto a la profundidad como para poder ser identificado como un **Bt**.

Por otra parte, la lixiviación de bases no es tan evidente, lo que se refleja en los valores de **pH** cercanos a la neutralidad, lo que indica un potencial de minerales intemperizables.

Con toda esta información, en el siguiente capítulo se dan las conclusiones de este trabajo, así como algunas recomendaciones para la continuación de esta investigación.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con el estudio realizado, se pueden derivar las siguientes conclusiones:

1. Los valores de pH de los suelos agrícolas aledaños al ingenio "El Potrero" presentan diferencias significativas en cada uno de los horizontes de los cinco perfiles analizados, debidos a sus diferencias altitudinales y, posiblemente, al riego con aguas residuales.
2. El porcentaje de materia orgánica en los suelos estudiados es variable en los cinco perfiles, presentándose, a excepción del tercero, un mayor porcentaje de esta variable del suelo en su primer perfil lo cual se considera normal, debido a que es en este horizonte en donde se depositan los restos orgánicos de la cosecha anterior.
3. Los valores de sodio y potasio intercambiable son bajos, lo cual es común en suelos de clima tropical húmedo, a pesar de que ambos elementos son constitutivos de las aguas residuales.
4. Los valores de calcio y magnesio intercambiable fluctúan de medianos a altos, hecho común para el tipo de clima que posee la zona y posiblemente por el proveniente de las aguas residuales.
5. Las concentraciones de fósforo asimilable encontradas a nivel superficial en los cinco perfiles son muy favorables, es decir, que son suelos ricos en este elemento, pese a que en todos ellos también se detectó la presencia del Al y Fe amorfos.
6. La capacidad de retención de fosfatos encontrada es un factor negativo en el suelo ya que indica la presencia de los óxidos e hidróxidos de aluminio y hierro como fijadores del fósforo disponible o aprovechable por la planta.
7. No se tienen altos valores de sodio intercambiable y, por lo consiguiente, no se presentan sus efectos nocivos. Sin embargo el quinto perfil, podría manifestar problemas a futuro por causa de un exceso en este elemento. Es por ello, importante conocer la dosis adecuada en la que han de vertirse las vinazas del ingenio y su forma química.
8. El primer perfil tiene la precipitación más alta en el área estudiada (de 1500 a 1950) y el valor de pH más ácido, por lo cual se considera al segundo efecto del primero.
9. Un factor negativo encontrado en los suelos del presente trabajo es el drenaje, ya que como se ha mencionado, sus consecuencias son desfavorables para los cultivos. Sin embargo, la caña de azúcar es tolerante a drenajes medios (relativamente deficientes), lo cual se comprueba al observar los rendimientos de ésta en el área de estudio.
10. El porcentaje de arcilla presentado en el primer perfil, y la baja capacidad de cationes del mismo, queda explicada por el tipo caolinitico de arcilla que tiene, lo que sugiere, a su vez, un suelo muy intemperizado. Al considerarse a la capacidad de intercambio catiónico como un indicador de la cantidad de nutrientes, es importante señalar aquí la necesidad de una fertilización mineral a base de potasio.
11. El porcentaje de humedad obtenido asegura un crecimiento uniforme para la caña de azúcar.

12. En los perfiles primero y tercero, que tienen valores de alta acidez y, en general en toda el área, no es conveniente agregarles la vinaza de manera directa, ya que ésta también es ácida y, por lo tanto, traería como consecuencia la abundancia de iones tales como Al, Fe, Mn, Cu, Zn en concentraciones que podrían llegar a ser tóxicas para la caña de azúcar.

13. Los valores de pH obtenidos en los perfiles segundo, cuarto y quinto corresponden al intervalo de valores de pH más deseable en los suelos que se pretendan destinar al cultivo de la caña de azúcar.

14. La aplicación en dosis adecuadas de la vinaza es una posible solución a los bajos valores de calcio y magnesio intercambiable encontrados en los perfiles primero y segundo.

15. Los perfiles que han sido regados con aguas residuales tienen las concentraciones de Ca y Mg intercambiables más altas y valores de pH cercanos a la neutralidad, en tanto que los perfiles que teóricamente no han sido regados con aguas residuales tienen los valores de pH más ácidos y las concentraciones de Ca y Mg intercambiables más bajas. Esto parece indicar que esas aguas residuales vienen con estos cationes que mejoran los valores de pH de los suelos. Sin embargo, éste es solamente un estudio preliminar y será necesario, antes de concluir fehacientemente algo sobre el efecto de las aguas residuales, tomar zonas "virgenes" (que realmente nunca hayan sido regadas con aguas residuales y zonas que, con el mismo tipo de suelos, sí hayan sido regadas con aguas residuales, para verificar todos estos factores.

Las recomendaciones, por tanto, son las siguientes:

1. Es importante realizar, en estudios posteriores con suelos claramente identificados (regados con aguas residuales y sin riego), la extracción del Al intercambiable ya que de esta forma se podría analizar sin reservas su posible efecto tóxico en el cultivo, así como también la cuantificación del nitrógeno que, junto con el fósforo asimilable y el potasio intercambiable, llevarían a abordar una discusión sobre la fertilidad del área. Sería importante determinar la acidez potencial para comprobar así que en la capacidad de intercambio de cationes está interviniendo el aluminio, el cual ocuparía gran parte de los sitios de intercambio.

2. El encalado es una práctica frecuente en suelos de alta acidez ya que, aparte de disminuir la acidez de estos y, por lo tanto, la solubilidad de iones tóxicos tales como el Al, ocasiona un incremento en los nutrientes como calcio y magnesio. Un ligero encalado se podría realizar en los perfiles primero y tercero, previa investigación.

3. La unidad de suelo acrisol, identificada en el primer y tercer perfiles, se fundamenta en la presencia del horizonte B argílico, los valores de pH, los cationes intercambiables y el color, sin embargo habría que profundizar en estos estudios de caracterización.

4. La unidad de suelo vertisol, identificada en el segundo perfil, se basó en la falta de un horizonte Bt y la observación en campo de grietas junto con la presencia de "caras pulidas" ("slickensides"). Se sugiere que se hagan un muestreo más exhaustivo para corroborar este aserto.

5. La unidad de suelo cambisol, identificada en el cuarto y quinto perfiles se determinó por la presencia de un horizonte B cámbico y las cantidades de los cationes intercambiables.

6. De acuerdo a lo reportado por INEGI en el mapa edafológico escala, 1:250,000 de Orizaba, en la zona se tienen suelos clasificados como vertisoles pélicos y crómicos, en tanto que para el presente trabajo se identificaron las unidades anteriormente señaladas, situación que puede explicarse, ya sea por que la clasificación aquí sugerida sólo sea una aproximación y falten más pruebas tanto de campo como de laboratorio para descartarlo o afirmarlo o porque el área de

muestreo analizada por INEGI es más grande y, por ende, sus datos más globales y los de este trabajo más puntuales.

7. El primero y tercer perfil al tener cantidades mayores de Fe y Al y cantidades menores de bases, indican una etapa de desarrollo avanzado para estos suelos, la cual es favorecida por las condiciones climáticas. Con respecto a los perfiles segundo, cuarto y quinto, que son más ricos en bases y tienen menores porcentajes de Fe y Al, indican a su vez una etapa de desarrollo moderada, estos últimos perfiles tienen nutrimentos disponibles y un nivel de minerales intemperizables adecuado.

8. El segundo perfil muestra buenas cualidades para el cultivo de la caña de azúcar, tales como la precipitación pluvial, el grado de intemperismo de los minerales del suelo, la profundidad del suelo, los valores de pH, cercanos a la neutralidad. Esto implica menores porcentajes de Al y Fe y bajos porcentajes de retención de fosfatos. Lo anterior trae a la par menos problemas con la fijación del fósforo; sin embargo, el problema principal en este suelo es el manejo debido a que por el tipo de arcillas expandibles que posee, cuando está seco es muy duro y cuando está mojado es muy pegajoso.

9. En el caso de la caña de azúcar es muy importante que el suelo contenga altas concentraciones de potasio intercambiable y, en este caso, las obtenidas fueron bajas, de tal forma que las vinazas pueden constituir una fuente importante del mismo, siempre y cuando no lleven un exceso de sodio intercambiable, ni un pH de alta acidez.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aerofoto. (1982). *Fotografías aéreas del Ingenio*. "El Potrero" 1: 20 000. Ed. Aerofoto. México D, F., México.
- Bautista, F. (1992). Efecto de la aplicación de vinazas crudas y modificadas por microorganismos anaerobios y aerobios sobre las características físicas y químicas de suelos tipo del municipio de Córdoba en el estado de Veracruz, México. *Informe técnico de proyecto*. PIQA y QA, Facultad de Química, UNAM, México D, F., México.
- Blake, G. (1976). Particle density. Methods of soil analysis. *Agronomy, No. 9. Part I*. American Society of Agronomy. Madison, Wis. EEUUA.
- Blakemore, L. y Searle, P. (1981). Methods for chemical analysis of soils. *N.Z. Soil Bur. Sci. Rep. 10A*. Soil Bureau, Lower Hutt, Nueva Zelanda.
- Bohn, H. (1993). *Química del suelo*. Limusa. México D, F., México. Pp.234-253.
- Buckman, H. y Brady, N. (1991). *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Uteha. México D, F., México. Pp. 18-40.
- Campos, T. Y Ríos, M. A. (1995). Tratamiento aerobio de vinazas pretratadas anaerobiamente en un reactor de biodiscos de 3,000 litros. *Tesis profesional*. Facultad de Química, UNAM. México D.F. México. Pp74-106.
- Castro, J. M. y Villegas, R. (1990). Obtención de proteína microbiana empleando como sustrato vinazas de ingenios azucareros-alcoholeros. *Tesis profesional*. Licenciatura en Ingeniería de Alimentos. Facultad de Ciencias Químicas. U.A.S.L.P, San Luis Potosí, SLP, México.
- Chávez, M. (1994). *Comunicación personal*. Ingenio "El Potrero". Ing. Miguel Alemán, Ver., México.
- Chen, J. (1991). *Manual del azúcar de caña*. Limusa. México D, F., México pág 12.
- Chiang, F. (1970). La vegetación de Córdoba, Veracruz. *Tesis profesional* (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM. México D, F., México, Pp 9, 19-22.
- Correa, A. (1970). La productividad de los suelos en las zonas de aportación cañera para los ingenios "La Gloria" y "El Modelo". *Tesis profesional*. Escuela Nacional de Agricultura. UACH, Chapingo, México.
- Cortés, L. A. y Malagón, C. (1984). *Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples*. Universidad de Bogotá "Jorge Tadeo Lozano". Bogotá, Colombia. Pp. 276-290.
- Dijkerman, J. (1981). *Agricultural Evaluation of Soils*. Wageningen Agricultural University. Wageningen, Holanda. 50 págs
- Dijkerman, J. (1983). *Major Kinds of Soils of the World*. Wageningen Agricultural University. Wageningen, Holanda. P. 28.

- Devlin, R. (1982). *Fisiología Vegetal*. Omega. Barcelona, España. Pp 281-286.
- Duchaufour, P. (1987). *Edafología*. Masson. Barcelona, España. Pp. 188-199.
- Duchaufour, P. (1984). *Edafología. I. Edafogénesis y Clasificación*. Masson. Barcelona, España. Pp 282-294.
- Durán de Bazúa, C. (1992). Waste recycling in developing countries. The situation in Mexico. En *Proceedings II International Forum on Resource Recovery From Waste*. Grafiche Galeati, Imola, Italia. Cap. 3.10, pp. 351-365.
- Durán de Bazúa, C.; Medellín, P.; Noyola, A.; Poggi-Varaldo, H. y Zedillo, L. E. (1988). Caracterización de vinazas y su degradación en un sistema combinado de tres reactores anaerobios y un reactor aerobio de biodiscos. *Tecnol. Ciencia Ed (IMIQ)*, 3(2):33-43.
- Durán de Bazúa, C.; Noyola, A.; Poggi, H. y Zedillo, L.E. (1991). Biodegradation of Process Industry Wastewater. Case Problem: Sugarcane Industry. En *Biological Degradation of Wastes*. Ed. A. M. Martin. Elsevier Appl. Sci., Londres, Inglaterra. Cap. 17. Pp. 363-388.
- Durán de Bazúa, C.; Noyola Robles, A.; Poggi Varaldo, H.; Zedillo Ponce de León, L. E. (1994). Paquete tecnológico para tratar vinazas de ingenios azucareros-alcoholeros: Sistema anaerobio/aerobio. *Rev. IMIQ*, 35(8):38,42-47.
- Durán Domínguez de Bazúa, C. (1994). Aplicaciones de la Biotecnología en la agroindustria de la caña de azúcar. *Rev. IMIQ*, 35(9):18-25.
- Elizondo, G. (1993) Estudio del problema de la contaminación en México. Caso de una industria textil contaminante. *Tesis profesional*. Facultad de Química. UNAM. México D. F., México.
- FAO. (1984). *Fertilizantes y nutrición*. Roma, Italia. Pp 2-6.
- FAO-Unesco. (1989). *Mapa mundial de suelos*. Roma, Italia. Pp 2-3, 26, 46, 51, 66-67.
- FAO. (1994). *World Reference Base of Soil Resources*. Roma, Italia. Pp 52, 68-141.
- Fieldes, M y Perrot, K. (1966). The nature of allophane in soils. Part 3. Rapid field and laboratory test for allophane. *N. Z. J. Soil Sci.*, Pp 623-629.
- Fitz, P. (1984). *Suelos, su formación clasificación y distribución*. Continental. México D. F., México. Pp 335-339.
- Flores, L.; Hernández, G.; Mejía y B. y Alcalá, R. (1990). Algunos metales pesados en suelos regados con aguas residuales. En *Memorias del Primer Simposio Nacional sobre Degradación del Suelo*. México, D. F. México. Pp 40-41.
- García, E. (1984). *Manual de campo en caña de azúcar*. Instituto para el Mejoramiento de la Producción de Azúcar (IMPA), México, D. F., México.
- Głinski, J. y Lipiec, J. (1990) *Soil Physical Conditions and Plant Roots*. CRC Press. EEUUA.. 250 págs.
- Gillman, G. (1979). A proposed method for the measurement of exchange properties of highly weathered soils. *Austr. J. Soil Res*, (17) 129-134.

- Hernández, J. (1974). *El aguardiente de caña en México (1724-1810)*. Publicado por "Estudios hispanoamericanos de Sevilla". Sevilla, España. Pp 34-36.
- Hernández, G. (1983). Método paramétrico para evaluar la aptitud de las tierras; un caso: la caña de azúcar. *Tesis doctoral en Biología*. Facultad de Ciencias, UNAM. México. D. F., México.
- Hesse, P. (1971). *A textbook of soil chemical analysis*. John Murray Pub. Londres, Gran Bretaña. P.7.
- Hodgson, J. (1987). *Muestreo y descripción de suelos*. Reverte. México. P. 229.
- Houba, V. (1988). *Soil and Plant Analysis*. 4ªed. Syllabi Wao, Department of Soil Science and Plant Nutrition. Wageningen Agricultural University. Wageningen, Holanda. P. 56.
- Humbert, P. (1984). *El cultivo de la caña de azúcar*, CEC, México, D.F., México. Pp 176-183.
- INEGI. (1988). *Síntesis geográfica de Veracruz*. México, D. F., México. P. 40.
- INEGI. (1984a). *Carta hidrológica de aguas superficiales*. Orizaba, E 14-6, Escala 1:250,000. México, D. F., México.
- INEGI. (1984b). *Carta hidrológica de aguas subterráneas*. Orizaba, E 14-6, Escala 1:250,000. México, D. F., México.
- INEGI. (1984c). *Carta de efectos climáticos regionales Noviembre-Abril*. Orizaba, E 14-6, Escala 1: 250 000. México, D. F., México.
- INEGI. (1984d). *Carta edafológica*. Orizaba, E 14-6, Escala 1:250,000. México, D. F., México.
- INEGI. (1984e). *Carta geológica*. Orizaba, E 14-6, Escala 1:250,000. México, D. F., México.
- INEGI. (1985). *Carta topográfica*. Córdoba, Veracruz. E 14B57, Escala 1:50,000, México, D. F., México.
- Jackson, M. (1970). *Análisis químico de suelos*. Omega. Barcelona, España. 662 pág.
- Landázuri, G. y Vázquez, V. (1988). *Azúcar y estado (1750-1880)*. F.C.E México. D. F., México. Pp 87-93.
- López, E. (1983). *Geología de México*. 3a ed. Edición Escolar. México, D. F., México, P 453.
- López, J. y López, M. (1985). *El diagnóstico de suelos y plantas*. 4a ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp. 44, 49, 51
- Malzine, O. (1873). *La flore mexicaine aux environs de Cordova*. Imprimerie C. Annot-Braeckman, Marché aux Grains. Francia. P. 30.
- Mena, M. y Martínez, A. (1986). Residuos orgánicos de las fábricas de azúcar de caña y alcohol como mejoradores de suelos salinos. II. Variaciones en la fracción orgánica y la actividad biológica. *Ciencias de la Agricultura*, 29(86):123-127.

- Moreno, R. (1977). *Clasificaciones tentativas para materia orgánica y nitrógeno total*. Pub. interna. UACH Chapingo, México.
- Moreno, G. (1994). Estudio ambiental del Ingenio Fomento Azucarero. *Tesis profesional*. Facultad de Química. UNAM. México. Pp. 11-18.
- Munsell Soil Color Charts. (1990). *Manual*, Macbeth Division of Kollmargen Instruments Corporation, Baltimore. Maryland. EEUUA. 20 págs.
- Orlando, J. (1994). *Alternatives for an efficient use of mineral fertilizers and sugar factory residues with low soil degradation and environment contamination risk*. Center for Agricultural Science, Universidad Federal de Sao Carlos. Brasil. Pp. 395-403.
- Otero, M. y González, J. (1991). Análisis de la fracción metálica de las mieles del CAI-Guatemala. *ICIDCA*, (25):11-14.
- Roger, P. (1974). El cultivo de la caña de azúcar. Primera edición en español. Cía. Ed. Continental, S. A. México D.F., México.
- Rojas, L. (1990). Estudio agroclimático del cultivo de la caña de azúcar en el estado de Morelos. *Tesis profesional*. Licenciatura en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México D. F., México.
- Sánchez, P. (1981). *Suelos del tropico. Características y manejo*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. P. 60.
- Soto, M.y García, E. (1989). *Atlas climático del estado de Veracruz*. Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz, México. Pp. 3, 6, 62, 93.
- SPP. (1980). *Gulas para la interpretación de cartografía*. Geología. Ed. Secretaría de Programación y Presupuesto. Rekord. México, D. F., México. Pp 17-21.
- Valdés, E.; González, P.y Obaya, M. (1991a). Evaluación preliminar de lodos "anaeróbicos" como complemento en la dieta animal. *ICIDCA*;(25):1-4.
- Valdés, E.; Obaya, M. Y León, O. (1991b). Evaluación preliminar de lodos "anaeróbicos" como "biofertilizantes". *ICIDCA*;(25):15-18.
- Wambeke, A. (1992). *Soils of the tropics*. Mc Graw-Hill. New York Pp. 104-107.
- Wayne, D. (1982). *Bioestadística base para el análisis de las ciencias de la salud*. Limusa. México D.F., México. Pp 312-315.
- Wilding, L. (1984). *Pedogenesis and soil taxonomy II. The soil orders*. Elsevier Sci. Pub. Nueva York. EEUUA Pp. 91-93.
- Zinck, J. (1990). *Soil survey. Epistemology of a vital discipline*. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). Enschede, Holanda. Pp. 1-9.

## VIII. GLOSARIO

**Clima**, el clima de un lugar se define como las condiciones más frecuentes de la atmósfera. Está conformado por la conjugación de tres elementos: la temperatura, la humedad y la presión. Estos elementos son modificados por la latitud, altitud, relieve y corrientes marinas, entre los más sobresalientes.

**Capacidad de campo**, se define como la cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad, cuando se le deja drenar libremente. En un suelo bien drenado se llega por lo general a este punto, de uno a tres días después de que el suelo ha sido mojado totalmente por la lluvia.

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**, mide la capacidad de consumo de oxígeno de los microorganismos aerobios al metabolizar la materia orgánica biodegradable presente en un cierto efluente. Se considera que estequiométricamente la cantidad requerida para lograr su descomposición se expresa en partes por millón o miligramos por litro. Solamente es válida su medición cuando no hay condiciones que inhiban el metabolismo microbiano aerobio (pH extremo, exceso de temperatura, presencia de compuestos tóxicos, etc).

**Demanda química de oxígeno (DQO)**, se usa para medir la cantidad total de agentes oxidantes necesarios para la oxidación química de la materia orgánica presente en una muestra dada.

**Dolinas**, es una depresión cerrada, generalmente circular o elíptica que se forma por la disolución de carbonatos.

**Duripán**, es un horizonte endurecido por sales.

**Gilgai**, es el microrelieve típico de los suelos arcillosos, principalmente vertisoles, que tienen un alto coeficiente de expansión, con diferentes cambios estacionales en el contenido de humedad. Este microrrelieve consiste, en una sucesión de microcubetas y microcolinas, situadas en áreas casi llanas o en microvalles y microcrestas; en general, varía en el sentido de la pendiente. La altura de las microcrestas, en general varía desde unos pocos centímetros hasta 100cm.

**Lixiviación**, es el proceso por medio del cual se solubilizan y movilizan los iones y nutrimentos, haciendo que, posteriormente, sean arrastrados del suelo hacia zonas inferiores.

**Meteorización**, es una combinación de reacciones analíticas y sintéticas. Las rocas que son el punto de origen en los procesos de meteorización, se rompen primero en fragmentos más pequeños y, al fin, en los minerales individuales de los cuales están formadas. Simultáneamente, los fragmentos de las rocas y sus minerales son atacados por las fuerzas erosivas y se transforman en nuevos minerales, ya sea por modificaciones físicas o por cambios químicos completos. Estos cambios van acompañados de una disminución progresiva en el tamaño de las partículas, por abandono de sus constituyentes solubles, la mayor parte de los cuales están sujetos a su pérdida por las aguas de drenaje. Los minerales sintetizados son clasificados en dos grupos: 1.- Las arcillas silicias y 2.- Los productos finales, muy resistentes, incluyendo los óxidos de hierro y aluminio.

**Serpentina**, constituye un grupo de silicatos de magnesio hidratados, de composición química similar a ciertas cloritas y al talco

**Slickensides**, son superficies pulidas y estriadas producidas por el paso de una masa deslizándose sobre otra. Algunos se presentan en la base de una superficie de deslizamiento, por donde una masa de suelo se mueve hacia abajo sobre una pendiente relativamente inclinada. Los "slickensides" son muy frecuentes en las arcillas expandibles, en las que hay notables cambios estacionales en el contenido de humedad.

**Vinaza**, agua residual proveniente de la primera torre de destilación donde se concentran los vinos (mostos fermentados) por ebullición para aumentar su contenido de alcohol etílico.

**Zafra**, actividad de corte, molienda y obtención de azúcar refinada, estándar y mascabado. El año zafra típico empieza en noviembre y termina en mayo del año siguiente.

# **APÉNDICE**

## **ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

- 1.1 Comparación múltiple
- 1.2 Correlación simple
- 1.3 Prueba de t

**Cuadro 26. Resumen de propiedades químicas en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"**

P	H	Pro (cm)	pH H <sub>2</sub> O 1: 2.5	M.O (%)	Na	K	Ca	Mg	CIC BaCl <sub>2</sub>	P (mg/kg)	Retfos (%)	Fe (%)	Al (%)	Si (%)
					NH <sub>4</sub> OAc	meq/100g								
1	Ap	0-20	4.48	4.37	0.08	0.29	0.69	0.37	14	11.08	38.76	0.28	0.66	0.03
	Ap	20-28	4.88	1.49	0.08	0.12	0.81	0.22	10.2	1.98	43.41	0.36	0.66	0.02
	Bt	28-36	5.20	2.48	0.10	0.07	2.60	0.48	4.2	0.41	42.10	0.39	0.66	0.03
	Bt	36-50	5.36	1.38	0.16	0.07	4.05	0.47	4.2	0.48	48.30	0.15	0.42	0.03
2	Ap	0-30	6.16	3.78	0.17	0.95	16.67	2.57	30.2	21.42	21.98	0.36	0.31	0.04
	Bw	30-44	6.45	3.30	0.15	0.53	16.13	2.48	31	9.10	23.16	0.29	0.29	0.04
	Bw	44-60	6.83	1.94	0.17	0.30	10.54	2.61	27.2	0.92	25.19	0.21	0.30	0.03
	Bw	60-110	6.95	1.31	0.18	0.27	8.76	1.11	21.8	0.61	27.52	0.25	0.27	0.04
3	Ap	0-21	4.91	1.66	0.15	0.24	2.54	0.85	27.2	4.64	23.29	0.20	0.33	0.02
	Bt	22-36	4.9	3.31	0.14	0.14	2.60	0.91	13	2.75	27.16	0.18	0.32	0.02
	Bt	36-60	5.13	2.05	0.21	0.08	2.44	0.58	3.6	0.53	35.84	0.12	0.35	0.03
4	Ap	0-36	5.76	3.75	0.27	0.15	8.79	4.22	8.6	9.76	19.75	0.25	0.20	0.02
	Bw	36-60	6.4	1.87	0.65	0.12	9.15	7.00	6.4	0.53	24.63	0.10	0.19	0.04
5	Ap	0-21	6.62	3.73	0.18	0.59	10.12	5.43	20	22.65	12.34	0.16	0.13	0.02
	Bw	21-33	6.81	2.94	0.36	0.21	9.65	4.29	10.2	5.25	18.80	0.15	0.16	0.03
	Bw	33-64	6.99	2.10	0.71	0.16	10.25	5.82	3	0.53	27.84	0.16	0.25	0.05

**P = perfil, H = horizonte, Pro = profundidad, M.O = materia orgánica, Na= sodio, K= potasio, Ca = calcio, Mg = magnesio, CIC = capacidad de intercambio cationico, P = fósforo disponible, Retfos = retención de fosfatos, Al = aluminio, Si = silicio, Fe = hierro**

**Cuadro 27. Resumen de propiedades físicas en los suelos aledaños al ingenio "El Potrero"**

P	H	Pro (cm)	D.R (g/cm <sup>3</sup> )	D.A (g/cm <sup>3</sup> )	Ccam (% hum)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Clasificación textural	Color en seco	Color en húmedo
1	Ap	0-20	2.69	0.96	40.75	44.33	27.40	28.27	Arcilla	café oscuro 10YR 3/3	negro 10YR 2/1
	Ap	20-28	2.52	0.96	37.87	45.34	32.33	22.33	Arcilla	café amarillento oscuro 10YR 4/4	café muy oscuro 10YR 2/2
	Bt	28-36	2.65	0.96	34.77	50.40	19.40	30.2	Arcilla	café amarillento oscuro 10YR 4/4	café muy oscuro 10YR 2/2
	Bt	36-50	2.54	0.96	36.52	65.00	15.00	20.0	Arcilla	café amarillento 10YR 5/6	café rojizo oscuro 5YR 3/3
2	Ap	0-30	2.79	1.04	31.53	45.80	28.47	25.73	Arcilla	café grisáceo muy oscuro 10YR 3/2	negro 10YR 2/1
	Bw	30-44	2.49	1.16	35.56	31.60	44.43	23.97	Franco-Arcilloso	café oscuro 10YR 4/3	negro 10YR 2/1
	Bw	44-60	2.73	1.11	32.43	37.87	32.10	31.30	Franco-Arcilloso	café 10YR 4/3	café rojizo oscuro 5YR 3/2
	Bw	60-110	2.64	1.02	34.39	46.73	20.50	32.77	Arcilla	café 7.5YR 5/4	café rojizo oscuro 5YR 3/3
3	Ap	0-21	2.65	1.05	36.61	73.40	16.0	10.60	Arcilla	rojo amarillento 5YR 5/6	café rojizo oscuro 2.5YR 3/4
	Bt	22-36	2.64	1.05	37.76	77.50	18.0	4.50	Arcilla	rojo amarillento 5YR 5/6	café rojizo oscuro 2.5 YR 3/4
	Bt	36-60	2.49	0.97	42.62	49.30	16.07	34.63	Arcilla	amarillo rojizo 5YR 6/8	café rojizo 5YR 4/4
4	Ap	0-36	2.77	1.09	33.31	35.50	28.0	36.50	Migajón-Arcilloso	gris café claro 10YR 6/2	gris muy oscuro 10YR 3/2
	Bw	36-60	2.33	1.00	36.71	41.40	20.04	38.56	Arcilla	amarillo rojizo 7.5YR 6/6	café oscuro 7.5 YR 4/4
5	Ap	0-21	2.72	1.18	27.75	35.50	18.0	46.50	Arcillo-Arenoso	café grisáceo 10YR 5/2	negro 10YR 2/1
	Bw	21-33	2.45	1.17	28.23	37.40	18.10	44.50	Migajón-Arcilloso	café 10YR 5/3	gris muy oscuro 5YR 3/1
	Bw	33-64	2.42	1.02	35.07	35.40	26.03	38.57	Migajón-Arcilloso	amarillo 10YR 7/6	café 7.5YR 5/4

**P = perfil, H = horizonte, Pro = profundidad, D.R = densidad real, D.A = densidad aparente, Ccam = capacidad de campo, % hum = porcentaje de humedad**

**Hilda 1** = propiedades químicas y físicas del primer perfil  
**Hilda 2** = propiedades químicas y físicas del segundo perfil  
**Hilda 3** = propiedades químicas y físicas del tercer perfil  
**Hilda 4** = propiedades químicas y físicas del cuarto perfil  
**Hilda 5** = propiedades químicas y físicas del quinto perfil

Multiple range analysis for HILDA1.retfos by HILDA1.prof

```

-----
Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals
Level   Count   Average   Homogeneous Groups
-----
1         3    38.760000  *  c
3         3    42.100000  *  b
2         3    43.413333  *  b
4         3    48.296667  *  a
-----
  
```

Multiple range analysis for HILDA1.ccam by HILDA1.prof

```

-----
Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals
Level   Count   Average   Homogeneous Groups
-----
3         3    34.766667  *  c
4         3    36.520000  *  b
2         3    37.863333  *  b
1         3    40.753333  *  a
-----
  
```

One-Way Analysis of Variance

Data: HILDA1.maor

Level codes: HILDA1.prof

Labels:

Range test: Tukey                      Confidence level: 99

Analysis of variance

```

-----
Source of variation   Sum of Squares   d.f.   Mean square   F-ratio   Sig. level
-----
Between groups        17.252225         3       5.7507417    999.999   .0000
Within groups         .016667           8       .0020833
-----
Total (corrected)    17.268892         11
  
```

0 missing value(s) have been excluded.

Multiple range analysis for HILDA1.maor by HILDA1.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
4	3	1.3700000	* c
2	3	1.4800000	* c
3	3	2.4533333	* b
1	3	4.3600000	* a

---

Multiple range analysis for HILDA1.fosforo by HILDA1.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	3	.4133333	* c
4	3	.4833333	* c
2	3	1.9800000	* b
1	3	11.083333	* a

---

Multiple range analysis for HILDA1.dere by HILDA1.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
2	3	2.5233333	* b
4	3	2.5333333	* b
3	3	2.6500000	* a
1	3	2.6800000	* a

---

Multiple range analysis for HILDA1.pHH20 by HILDA1.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	4.4800000	* d
2	3	4.8800000	* c
3	3	5.2000000	* b
4	3	5.3600000	* a

---

Multiple range analysis for HILDA1.alu by HILDA1.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
4	3	.4220000	* <b>b</b>
1	3	.6560000	* <b>a</b>
2	3	.6560000	* <b>a</b>
3	3	.6620000	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA1.sodio by HILDA1.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	.0815000	* <b>b</b>
2	3	.0826000	* <b>b</b>
3	3	.0994333	* <b>b</b>
4	3	.1619000	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA1.calcio by HILDA1.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	.6856333	* <b>d</b>
2	3	.8060667	* <b>c</b>
3	3	2.6024333	* <b>b</b>
4	3	4.0490333	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA1.magnesio by HILDA1.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
2	3	.2231000	* <b>c</b>
1	3	.3684667	* <b>b</b>
4	3	.4734333	* <b>a</b>
3	3	.4751000	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA1.arci by HILDA1.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level Count Average Homogeneous Groups

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	44.333333	* d
2	3	45.333333	* c
3	3	50.400000	* b
4	3	64.833333	* a

Multiple range analysis for HILDA1.arena by HILDA1.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level Count Average Homogeneous Groups

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
4	3	20.166667	* d
2	3	22.333333	* c
1	3	28.266667	* b
3	3	30.200000	* a

Multiple range analysis for HILDA1.limo by HILDA1.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level Count Average Homogeneous Groups

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
4	3	15.000000	* d
3	3	19.400000	* c
1	3	27.400000	* b
2	3	32.333333	* a

Multiple range analysis for HILDA2.retfos by HILDA2.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level Count Average Homogeneous Groups

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	21.973333	* c
2	3	23.156667	** bc
3	3	25.190000	** ab
4	3	27.513333	* a

Multiple range analysis for HILDA2.maor by HILDA2.profun

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
4	3	1.3100000	* d
3	3	1.9233333	* c
2	3	3.3033333	* b
1	3	3.7866667	* a

Multiple range analysis for HILDA2.fosforo by HILDA2.profun

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
4	3	.610000	* c
3	3	.920000	* c
2	3	9.103333	* b
1	3	21.423333	* a

Multiple range analysis for HILDA2.deap by HILDA2.profun

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
4	3	1.0133333	* d
1	3	1.0400000	* c
3	3	1.1100000	* b
2	3	1.1633333	* a

Multiple range analysis for HILDA2.dere by HILDA2.profun

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
2	3	2.4866667	* d
4	3	2.6366667	* c
3	3	2.7266667	* b
1	3	2.7866667	* a

Multiple range analysis for HILDA2.maor by HILDA2.profun

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
4	3	1.3100000	* <b>d</b>
3	3	1.9233333	* <b>c</b>
2	3	3.3033333	* <b>b</b>
1	3	3.7866667	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA2.fosforo by HILDA2.profun

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
4	3	.610000	* <b>c</b>
3	3	.920000	* <b>c</b>
2	3	9.103333	* <b>b</b>
1	3	21.423333	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA2.deap by HILDA2.profun

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Hcmogeneous Groups
4	3	1.0133333	* <b>d</b>
1	3	1.0400000	* <b>c</b>
3	3	1.1100000	* <b>b</b>
2	3	1.1633333	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA2.dere by HILDA2.profun

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
2	3	2.4866667	* <b>d</b>
4	3	2.6366667	* <b>c</b>
3	3	2.7266667	* <b>b</b>
1	3	2.7866667	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA2.pHH2O by HILDA2.profun

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	6.1596667	* d
2	3	6.4496667	* c
3	3	6.8300000	* b
4	3	6.9496667	* a

---

Multiple range analysis for HILDA2.fie by HILDA2.profun

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	3	.2053333	* c
4	3	.2463333	** bc
2	3	.2883333	* b
1	3	.3566667	* a

---

Multiple range analysis for HILDA2.potasio by HILDA2.profun

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
4	3	.2692333	* d
3	3	.2999667	* c
2	3	.5313667	* b
1	3	.9473333	* a

---

Multiple range analysis for HILDA2.calcio by HILDA2.profun

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
4	3	8.760000	* c
3	3	10.538667	* b
2	3	16.130000	* a
1	3	16.671000	* a

---

Multiple range analysis for HILDA2.magnesio by HILDA2.profun

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
4	3	1.1100667	b
2	3	2.4778000	a
1	3	2.5669667	a
3	3	2.6050667	a

Multiple range analysis for HILDA2.arci by HILDA2.profun

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
2	3	31.600000	d
3	3	36.866667	c
1	3	45.800000	b
4	3	46.733333	a

Multiple range analysis for HILDA2.arena by HILDA2.profun

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
2	3	23.966667	d
1	3	25.733333	c
3	3	31.300000	b
4	3	32.766667	a

Multiple range analysis for HILDA2.limo by HILDA2.profun

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
4	3	20.500000	d
1	3	28.466667	c
3	3	32.100000	b
2	3	44.433333	a

Multiple range analysis for HILDA3.retfos by HILDA3.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	23.286667	* c
2	3	27.153333	* b
3	3	35.843333	* a

---

Multiple range analysis for HILDA3.ccam by HILDA3.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	36.606667	* b
2	3	37.760000	* b
3	3	42.623333	* a

---

Multiple range analysis for HILDA3.maor by HILDA3.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	1.6500000	* c
3	3	2.0533333	* b
2	3	3.3400000	* a

---

Multiple range analysis for HILDA3.fosforo by HILDA3.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	3	.5300000	* c
2	3	2.7466667	* b
1	3	4.6366667	* a

---

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Multiple range analysis for HILDA3.deap by HILDA3.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level Count Average Homogeneous Groups

3	3	.9700000	* <b>b</b>
1	3	1.0500000	* <b>a</b>
2	3	1.0533333	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA3.dere by HILDA3.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level Count Average Homogeneous Groups

3	3	2.4933333	* <b>b</b>
2	3	2.6400000	* <b>a</b>
1	3	2.6500000	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA3.pHH2O by HILDA3.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level Count Average Homogeneous Groups

2	3	4.9000000	* <b>c</b>
1	3	4.9100000	* <b>b</b>
3	3	5.1300000	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA3.fie by HILDA3.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level Count Average Homogeneous Groups

3	3	.0910000	* <b>b</b>
2	3	.1763333	* <b>a</b>
1	3	.2020000	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA3.sodio by HILDA3.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
2	3	.1375333	* <b>b</b>
1	3	.1512667	* <b>b</b>
3	3	.2097000	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA3.potasio by HILDA3.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	3	.0769333	* <b>c</b>
2	3	.1352667	* <b>b</b>
1	3	.2367000	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA3.magnesio by HILDA3.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	3	.5830667	* <b>b</b>
1	3	.8508333	* <b>a</b>
2	3	.9071333	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA3.arci by HILDA3.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	3	49.300000	* <b>c</b>
1	3	73.400000	* <b>b</b>
2	3	77.500000	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA3.arena by HILDA3.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
2	3	4.500000	* <b>c</b>
1	3	10.600000	* <b>b</b>
3	3	34.633333	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA4.retfos by HILDA4.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	19.746667	* <b>b</b>
2	3	24.633333	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA4.ccam by HILDA4.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	33.310000	* <b>b</b>
2	3	36.713333	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA4.maor by HILDA4.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
2	3	1.8633333	* <b>b</b>
1	3	3.7800000	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA4.deap by HILDA4.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
2	3	.9966667	* <b>b</b>
1	3	1.0900000	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA4.dere by HILDA4.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
2	3	2.3166667	* <b>b</b>
1	3	2.7733333	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA4.pHH2O by HILDA4.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	5.7600000	* <b>b</b>
2	3	6.4000000	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA4.fie by HILDA4.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
2	3	.1043333	* <b>b</b>
1	3	.2456667	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA4.sili by HILDA4.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	.0183333	* <b>b</b>
2	3	.0350000	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA4.sodio by HILDA4.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	.2664000	* <b>b</b>
2	3	.6541667	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA4.magnesio by HILDA4.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	4.2245000	* <b>b</b>
2	3	6.9997333	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA4.arci by HILDA4.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	35.500000	* <b>b</b>
2	3	41.400000	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA4.arena by HILDA4.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	36.500000	* <b>b</b>
2	3	38.566667	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA5.retfos by HILDA5.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	12.340000	* <b>c</b>
2	3	18.800000	* <b>b</b>
3	3	27.840000	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA4.potasio by HILDA4.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level Count Average Homogeneous Groups

2	3	.1153000	* <b>b</b>
1	3	.1480667	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA4.limo by HILDA4.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level Count Average Homogeneous Groups

2	3	20.040000	* <b>b</b>
1	3	28.016667	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA5.ccam by HILDA5.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	27.753333	* <b>b</b>
2	3	28.223333	* <b>b</b>
3	3	35.070000	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA5.maor by HILDA5.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	3	2.0866667	* <b>c</b>
2	3	2.9466667	* <b>b</b>
1	3	3.7133333	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA5.fosforo by HILDA5.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	3	.530000	* <b>c</b>
2	3	5.253333	* <b>b</b>
1	3	22.653333	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA5.deap by HILDA5.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	3	1.0200000	* <b>b</b>
2	3	1.1700000	* <b>a</b>
1	3	1.1766667	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA5.dere by HILDA5.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	3	2.4266667	* <b>b</b>
2	3	2.4466667	* <b>b</b>
1	3	2.7166667	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA5.pHH20 by HILDA5.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	6.6196667	* <b>c</b>
2	3	6.8096667	* <b>b</b>
3	3	6.9900000	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA5.alu by HILDA5.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	.1290000	* <b>b</b>
2	3	.1640000	* <b>b</b>
3	3	.2513333	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA5.sili by HILDA5.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	.0226667	* <b>c</b>
2	3	.0306667	* <b>b</b>
3	3	.0510000	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA5. by HILDA5.

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level Count Average Homogeneous Groups

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3		
2	3		
3	3		

Multiple range analysis for HILDA5.sodio by HILDA5.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level Count Average Homogeneous Groups

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	.1771333	* <b>c</b>
2	3	.3640333	* <b>b</b>
3	3	.7063333	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA5.potasio by HILDA5.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level Count Average Homogeneous Groups

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	3	.1647333	* <b>c</b>
2	3	.2128000	* <b>b</b>
1	3	.5886667	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA5.magnesio by HILDA5.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level Count Average Homogeneous Groups

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
2	3	4.2882333	* <b>c</b>
1	3	5.4314667	* <b>b</b>
3	3	5.8182333	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA5.arci by HILDA5.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level Count Average Homogeneous Groups

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	3	35.400000	* <b>b</b>
1	3	35.500000	* <b>b</b> **
2	3	37.400000	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA5.arena by HILDA5.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	3	38.566667	* <b>c</b>
2	3	44.500000	* <b>b</b>
1	3	46.500000	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA5.limo by HILDA5.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	18.000000	* <b>b</b>
2	3	18.100000	* <b>b</b>
3	3	26.033333	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA1.potasio by HILDA1.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	3	.0672633	* <b>c</b>
4	3	.0672700	* <b>c</b>
2	3	.1153167	* <b>b</b>
1	3	.2878000	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA3.limo by HILDA3.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	3	16.020000	* <b>b</b>
3	3	16.103333	* <b>b</b>
2	3	18.016667	* <b>a</b>

---

Multiple range analysis for HILDA1.CICBaC12 by HILDA1.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	3	4.200000	* c
4	3	4.200000	* c
2	3	10.200000	* b
1	3	14.000000	* a

---

Multiple range analysis for HILDA2.CICBaC12 by HILDA2.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
4	3	21.800000	* c
3	3	27.200000	* b
1	3	30.200000	* a
2	3	31.000000	* a

---

Multiple range analysis for HILDA3.CICBaC12 by HILDA3.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	3	3.600000	* c
2	3	13.000000	* b
1	3	27.200000	* a

---

Multiple range analysis for HILDA4.CICBaC12 by HILDA4.prof

---

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
2	3	6.400000	* b
1	3	8.600000	* a

---

Multiple range analysis for HILDA1.fie by HILDA1.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
4	3	.1510000	* <b>c</b>
1	3	.2846667	* <b>b</b>
2	3	.3590000	** <b>ab</b>
3	3	.3923333	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA4.fosforo by HILDA4.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
2	3	.5296667	* <b>b</b>
1	3	9.7630000	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA5.CICBaCl2 by HILDA5.prof

Method: 99 Percent Tukey HSD Intervals

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	3	3.000000	* <b>c</b>
2	3	10.200000	* <b>b</b>
1	3	20.000000	* <b>a</b>

Multiple range analysis for HILDA.Ca by HILDA.perfil

---

Method: 99 Percent Tukey HSD

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	2	2.045000	X
3	2	2.535000	X
4	2	8.975000	X
5	2	10.005000	X
2	2	14.455000	X

---

Multiple range analysis for HILDA.Mg by HILDA.perfil

---

Method: 99 Percent Tukey HSD

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	2	0.3950000	X
3	2	0.7850000	X
2	2	2.5550000	X
5	2	5.1850000	X
4	2	5.6150000	X

---

Multiple range analysis for HILDA.P by HILDA.perfil

---

Method: 99 Percent Tukey HSD

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	2	2.649000	X
1	2	3.495000	X
4	2	5.150000	X
5	2	9.480000	X
2	2	10.485000	X

---

Multiple range analysis for HILDA.pH by HILDA.perfil

Method: 99 Percent Tukey HSD

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	2	4.9750000	X
3	2	4.9850000	X
4	2	6.0750000	X
2	2	6.4750000	X
5	2	6.8050000	X

Multiple range analysis for HILDA.mo by HILDA.perfil

Method: 99 Percent Tukey HSD

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
3	2	2.3450000	X
1	2	2.4250000	X
4	2	2.8150000	X
5	2	2.9250000	X
2	2	3.0050000	X

Multiple range analysis for HILDA.Na by HILDA.perfil

Method: 99 Percent Tukey HSD

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	2	0.1150000	X
2	2	0.1650000	X
3	2	0.1750000	X
5	2	0.4250000	X
4	2	0.4650000	X

Multiple range analysis for HILDA.K by HILDA.perfil

Method: 99 Percent Tukey HSD

Level	Count	Average	Homogeneous Groups
1	2	0.1450000	X
4	2	0.1450000	X
3	2	0.1550000	X
5	2	0.3250000	X
2	2	0.5950000	X

# 1.2 Correlación simple

Sample Correlations

PERFIL No.1

	retfos	ccam	maor	fosforo	deap	dere	pHH2O	fie	alu	sili	sodio	potasio	calcio	magnesio	arc1
retfos	1.0000 ( 12) (.0000)	-.3367 ( 12) (.2845)	-.8201 ( 12) (.0011)	-.7223 ( 12) (.0060)	-.5547 ( 12) (.0612)	-.7469 ( 12) (.0052)	-.8005 ( 12) (.0018)	-.2984 ( 12) (.3462)	-.7964 ( 12) (.0019)	-.2330 ( 12) (.4661)	-.8275 ( 12) (.0009)	-.7293 ( 12) (.0071)	-.7710 ( 12) (.0033)	-.2580 ( 12) (.4181)	-.8459 ( 12) (.0005)
ccam		1.0000 ( 12) (.0000)	.5327 ( 12) (.0746)	-.7264 ( 12) (.0075)	-.1792 ( 12) (.5773)	-.2773 ( 12) (.3828)	-.7363 ( 12) (.0063)	-.5754 ( 12) (.0503)	-.1388 ( 12) (.6669)	-.0189 ( 12) (.9535)	-.4233 ( 12) (.1703)	-.7654 ( 12) (.0037)	-.5564 ( 12) (.0630)	-.3932 ( 12) (.2060)	-.3917 ( 12) (.2080)
maor			1.0000 ( 12) (.0011)	.9033 ( 12) (.0012)	-.4953 ( 12) (.1015)	-.8773 ( 12) (.0002)	-.8518 ( 12) (.0004)	-.2488 ( 12) (.4354)	.5221 ( 12) (.1124)	-.5252 ( 12) (.0817)	.8804 ( 12) (.0795)	.8804 ( 12) (.0002)	.8804 ( 12) (.0737)	.0617 ( 12) (.8490)	-.5639 ( 12) (.0562)
fosforo				1.0000 ( 12) (.0060)	.3287 ( 12) (.0275)	.6044 ( 12) (.0001)	-.9644 ( 12) (.0000)	-.2304 ( 12) (.4713)	-.3724 ( 12) (.2322)	-.2643 ( 12) (.4065)	-.5018 ( 12) (.0985)	.9932 ( 12) (.0000)	-.6577 ( 12) (.0201)	-.2318 ( 12) (.4685)	-.5641 ( 12) (.0562)
deap					1.0000 ( 12) (.0612)	.5431 ( 12) (.0680)	-.3761 ( 12) (.0592)	-.4394 ( 12) (.4734)	.6602 ( 12) (.1280)	.4167 ( 12) (.0424)	-.5069 ( 12) (.1492)	.3251 ( 12) (.0455)	-.3841 ( 12) (.3360)	-.0239 ( 12) (.2945)	-.4917 ( 12) (.1433)
dere						1.0000 ( 12) (.0052)	-.5583 ( 12) (.0052)	-.2293 ( 12) (.4734)	.4547 ( 12) (.1280)	.5925 ( 12) (.0424)	-.4430 ( 12) (.1492)	.5854 ( 12) (.0455)	-.3045 ( 12) (.3360)	.3302 ( 12) (.2945)	-.4489 ( 12) (.1433)
pHH2O							1.0000 ( 12) (.0018)	-.5477 ( 12) (.0070)	-.1451 ( 12) (.6527)	-.1451 ( 12) (.6527)	.6880 ( 12) (.0134)	-.9794 ( 12) (.0121)	.8322 ( 12) (.0008)	-.4436 ( 12) (.1486)	-.7477 ( 12) (.0052)
fie								1.0000 ( 12) (.3462)	-.3607 ( 12) (.2494)	-.1167 ( 12) (.7181)	-.5089 ( 12) (.0911)	-.2427 ( 12) (.4472)	.3265 ( 12) (.3003)	.1585 ( 12) (.6226)	-.3309 ( 12) (.2938)
alu									1.0000 ( 12) (.0019)	-.1906 ( 12) (.5528)	-.9126 ( 12) (.0000)	-.3899 ( 12) (.9034)	-.7928 ( 12) (.7076)	-.4604 ( 12) (.1320)	-.9174 ( 12) (.0000)
sili										1.0000 ( 12) (.4661)	-.0401 ( 12) (.8275)	-.0401 ( 12) (.8275)	-.1897 ( 12) (.0071)	-.1211 ( 12) (.0033)	-.0174 ( 12) (.0005)
sodio											1.0000 ( 12) (.0009)	-.0000 ( 12) (.0009)	-.0000 ( 12) (.0009)	-.0000 ( 12) (.0009)	-.0000 ( 12) (.0009)
potasio												1.0000 ( 12) (.0071)	-.7079 ( 12) (.0100)	-.3056 ( 12) (.3340)	-.4081 ( 12) (.0154)
calcio													1.0000 ( 12) (.0033)	.7868 ( 12) (.0024)	.9560 ( 12) (.0000)
magnesio														1.0000 ( 12) (.0000)	.6507 ( 12) (.0220)
arc1															1.0000 ( 12) (.0000)
arena		limo	retfos	ccam	maor	fosforo	dere	pHH2O	fie	alu	sodio	potasio	calcio	magnesio	arc1
arena	1.0000 ( 12) (.0000)	.0802 ( 12) (.8044)	-.7636 ( 12) (.0038)	-.0015 ( 12) (.9953)	-.7126 ( 12) (.0093)	-.3748 ( 12) (.2300)	-.8962 ( 12) (.0001)	-.3972 ( 12) (.2011)	-.2233 ( 12) (.4854)	-.6941 ( 12) (.0123)	-.5812 ( 12) (.0475)	-.3515 ( 12) (.2625)	-.3457 ( 12) (.2711)	.2463 ( 12) (.4402)	-.5696 ( 12) (.0532)
limo		1.0000 ( 12) (.8044)	-.5596 ( 12) (.0038)	.4759 ( 12) (.1178)	-.2487 ( 12) (.4358)	.4552 ( 12) (.1370)	-.0029 ( 12) (.9929)	-.6643 ( 12) (.0185)	-.2648 ( 12) (.4055)	.6888 ( 12) (.0132)	-.8255 ( 12) (.0009)	.5199 ( 12) (.0831)	-.9483 ( 12) (.0000)	-.9395 ( 12) (.0000)	-.8649 ( 12) (.0003)
retfos			1.0000 ( 12) (.0038)	-.3367 ( 12) (.0585)	-.8201 ( 12) (.0011)	-.7223 ( 12) (.0060)	-.5547 ( 12) (.0612)	-.7469 ( 12) (.0052)	-.8005 ( 12) (.0018)	-.2984 ( 12) (.3462)	-.7964 ( 12) (.0019)	-.8275 ( 12) (.0009)	-.7293 ( 12) (.0071)	-.7710 ( 12) (.0033)	-.2580 ( 12) (.4181)
ccam				1.0000 ( 12) (.0000)	.5327 ( 12) (.0746)	-.7264 ( 12) (.0075)	-.1792 ( 12) (.5773)	-.2773 ( 12) (.3828)	-.7363 ( 12) (.0063)	-.5754 ( 12) (.0503)	-.1388 ( 12) (.6669)	-.0189 ( 12) (.9535)	-.4233 ( 12) (.1703)	-.7654 ( 12) (.0037)	-.5564 ( 12) (.0630)

	arena	limo	sili	deap
arena	1.0000 ( 12) (.0000)	.0802 ( 12) (.8044)	.6063 ( 12) (.0366)	.5939 ( 12) (.0417)
limo		1.0000 ( 12) (.8044)	-.3491 ( 12) (.0000)	.2337 ( 12) (.2660)
sili			1.0000 ( 12) (.0000)	.4167 ( 12) (.1779)
deap				1.0000 ( 12) (.0000)

Coefficient (sample size) significance level

retfos =	retención de fosfatos	(%)
ccam =	capacidad de campo	(%)
maor =	materia orgánica	(%)
fosforo =	fosforo asimilable	(mg/kg)
deap =	densidad aparente	(g/cc)
dere =	densidad real	(g/cc)
pH H <sub>2</sub> O =		1.25
fie =	hierro amorfó	(%)
alu =	aluminio amorfó	(%)
sib =	silicio amorfó	(%)
sodio =	sodio intercambiable	(mg/kg)
potasio =	potasio intercambiable	(mg/kg)
calcio =	calcio intercambiable	(mg/kg)
magnesio =	magnesio intercambiable	(mg/kg)
arc1 =	arcilla	(%)
arena =	arena	(%)
limo =	limo	(%)

Coefficient (sample size) significance level

Sample Correlations

PERFIL No.2

Sample Correlations

	retfos	ccam	maor	fosforo	deap	dere	pHH2O	fie	alu	sili	sodio	potasio	calcio	magnesio	arci
retfos	1.0000	-.1204	-.9335	-.8358	-.3306	-.1122	.9126	-.7145	-.4519	-.6313	.4336	-.8327	-.9272	-.7816	.2643
ccam	(.12)	1.0000	-.1488	-.3228	.1623	-.7389	.2347	-.1822	-.3136	-.3052	-.4199	-.3543	-.0602	-.2868	-.3585
maor	(.12)	(.12)	1.0000	.9143	-.2579	.0284	-.9838	.8283	.4678	.6665	-.3040	.9074	.9913	.7010	-.2200
fosforo	(.12)	(.12)	(.12)	1.0000	-.1331	.3162	-.9719	.9385	.4357	.7931	-.1246	.9988	.8716	.4915	-.1921
deap	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	1.0000	-.4304	-.0931	-.2727	-.2358	-.2496	-.4213	-.1348	.3111	.7051	-.9674
dere	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	1.0000	-.1592	.1586	-.2829	.3234	.3377	.3526	-.0912	.1783	.6389
pHH2O	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	1.0000	-.8944	-.4676	-.7385	.2360	-.9576	-.9600	-.6267	.0438
fie	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	1.0000	-.3564	.7678	-.1217	.9281	.8079	.2675	.1206
alu	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	1.0000	-.0493	-.8568	-.1502	.1446	-.0687	.7032
sili	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	1.0000	.1345	.7896	.6412	.3000	.2821
sodio	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	1.0000	-.1037	-.3640	.1940	.4477
potasio	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	1.0000	-.8596	.0000	.1444
calcio	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	1.0000	.6781	.2979
magnesio	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	1.0000	.5566
arci	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	(.12)	1.0000

	arena	limo	sili	deap
arena	1.0000	-.7505	-.5126	-.4216
limo	(.12)	1.0000	.0073	-.4938
sili	(.12)	(.12)	1.0000	-.2496
deap	(.12)	(.12)	(.12)	1.0000

Coefficient (sample size) significance level

retfos =	retención de fosfatos	(%)
ccam =	capacidad de campo	(%)
maor =	materia orgánica	(%)
fosforo =	fosforo asimilable	(mg/kg)
deap =	densidad aparente	(g/cc)
dere =	densidad real	(g/cc)
pHH <sub>2</sub> O		(2.5)
fie =	hierro amorfó	(%)
alu =	aluminio amorfó	(%)
sili =	silicio amorfó	(%)
sodio =	sodio intercambiable	(mg/kg)
potasio =	potasio intercambiable	(mg/kg)
calcio =	calcio intercambiable	(mg/kg)
magnesio =	magnesio intercambiable	(mg/kg)
arci =	arcilla	(%)
arena =	arena	(%)
limo =	limo	(%)

Coefficient (sample size) significance level

Sample Correlations

PERFIL No.3

Sample Correlations

	retfos	ccam	maor	fosforo	deap	dere	pHH2O	fie	alu	sili	sodio	potasio	calcio	magnesio	arcl
retfos	1.0000	.9682	.0110	-.9784	-.9237	-.9116	.9359	-.9192	.5497	.6263	.8216	-.9200	-.5492	-.8640	-.8997
ccam	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)
maor	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)
fosforo	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)
deap	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)
dere	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)
pHH2O	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)
fie	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)
alu	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)
sili	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)
sodio	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)
potasio	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)
calcio	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)
magnesio	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)
arcl	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)
arena	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)
limo	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)
retfos	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)
ccam	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)

	arena	limo	sili	deap
arena	1.0000	-.6215	.5010	-.9682
limo	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)
sili	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)
deap	(.9)	(.9)	(.9)	(.9)

Coefficient (sample size) significance level

retfos =	retención de fosfatos	(%)
ccam =	capacidad de campo	(%)
maor =	materia orgánica	(%)
fosforo =	fósforo asimilable	(mg/kg)
deap =	densidad aparente	(g/cc)
dere =	densidad real	(g/cc)
pHH <sub>2</sub> O		1.25
fie =	hierro amorfo	(%)
alu =	aluminio amorfo	(%)
sili =	silicio amorfo	(%)
sodio =	sodio intercambiable	(mg/kg)
potasio =	potasio intercambiable	(mg/kg)
calcio =	calcio intercambiable	(mg/kg)
magnesio =	magnesio intercambiable	(mg/kg)
arcl =	arcilla	(%)
arena =	arena	(%)
limo =	limo	(%)

Coefficient (sample size) significance level

Sample Correlations

PERFIL No.4

retfos	ccam	maor	fosforo	deap	dere	pHH2O	fie	alu	sili	sodio	potasio	calcio	magnesio	arcl
1.0000	.9272	-.9865	-.9903	-.9849	-.9825	-.9940	-.9814	-.7343	.9908	-.9879	-.9787	-.8908	-.9924	-.9644
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)
.0000	-.0078	-.0003	-.0001	-.0003	-.0005	-.0001	-.0005	-.0955	-.0001	-.0002	-.0007	-.0172	-.0001	-.0001
ccam	1.0000	-.9611	-.9582	-.8911	-.9686	-.9532	-.9565	-.8620	.8907	-.9183	-.9719	-.9830	-.9497	-.9551
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)
.0078	.0000	-.0022	-.0026	-.0172	-.0015	-.0032	-.0028	-.0273	-.0173	-.0097	-.0012	-.0004	-.0037	-.0030
maor	-.9865	1.0000	-.9995	-.9574	-.9976	-.9973	-.9929	-.8294	-.9784	-.9887	-.9968	-.9124	-.9936	-.9957
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)
.0003	-.0003	-.0000	-.0000	-.0027	-.0000	-.0000	-.0001	-.0412	-.0007	-.0002	-.0000	-.0109	-.0001	-.0000
fosforo	-.9903	-.9582	1.0000	-.9656	-.9969	-.9991	-.9943	-.8171	-.9811	-.9912	-.9950	-.9126	-.9964	-.9980
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)
.0001	-.0026	-.0000	-.0000	-.0017	-.0000	-.0000	-.0000	-.0471	-.0005	-.0001	-.0000	-.0111	-.0000	-.0000

deap	retfos	ccam	maor	fosforo	deap	dere	pHH2O	fie	alu	sili	sodio	potasio	calcio	magnesio	arcl
-.9849	-.8911	.9574	.9656	1.0000	-.9500	-.9754	-.9658	-.9710	-.6885	-.9779	-.9420	-.8608	-.9822	-.9786	
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	
.0003	.0172	-.0027	-.0017	-.0000	-.0037	-.0009	-.0017	-.1304	-.0012	-.0007	-.0049	-.0277	-.0005	-.0007	
dere	-.9825	-.9586	-.9976	-.9969	1.0000	-.9947	-.9940	-.8198	-.9677	-.9796	-.9941	-.9294	-.9900	-.9931	
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	
.0905	-.0015	-.0000	-.0000	-.0037	-.0000	-.0000	-.0001	-.0458	-.0016	-.0006	-.0001	-.0073	-.0001	-.0001	
pHH2O	-.9940	-.9532	-.9973	-.9991	-.9947	1.0000	-.9950	-.7980	-.9829	-.9927	-.9909	-.9115	-.9987	-.9996	
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	
.0001	-.0032	-.0000	-.0000	-.0009	-.0000	-.0000	-.0000	-.0571	-.0004	-.0001	-.0001	-.0114	-.0000	-.0000	
fie	-.9814	-.9565	-.9929	-.9943	-.9658	-.9940	1.0000	-.8137	-.9652	-.9868	-.9827	-.9163	-.9953	-.9952	
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	
.0005	-.0028	-.0001	-.0000	-.0017	-.0001	-.0000	-.0000	-.0488	-.0018	-.0003	-.0004	-.0102	-.0000	-.0000	

alu	retfos	ccam	maor	fosforo	deap	dere	pHH2O	fie	alu	sili	sodio	potasio	calcio	magnesio	arcl
-.7343	-.8620	-.8294	-.8171	-.6895	-.8198	-.7980	-.8137	1.0000	-.7385	-.7969	-.8442	-.7751	-.7955	-.7968	
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	
.0965	-.0273	-.0412	-.0471	-.1304	-.0458	-.0571	-.0488	-.0000	-.0937	-.0577	-.0345	-.0702	-.0585	-.0577	
sili	-.9908	-.8907	-.9784	-.9911	-.9710	-.9677	-.9829	-.9652	1.0000	-.9896	-.9693	-.8125	-.9784	-.9786	
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	
.0001	-.0173	-.0007	-.0000	-.0012	-.0016	-.0004	-.0018	-.0937	-.0000	-.0002	-.0014	-.0397	-.0006	-.0006	
sodio	-.9879	-.9183	-.9719	-.9911	-.9706	-.9927	-.9868	-.7969	-.9896	1.0000	-.9771	-.8527	-.9916	-.9910	
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	
.0002	-.0097	-.0092	-.0001	-.0007	-.0006	-.0001	-.0003	-.0577	-.0002	-.0000	-.0008	-.0242	-.0001	-.0001	
potasio	-.9787	-.9719	-.9964	-.9950	-.9420	-.9941	-.9909	-.9827	-.9631	-.9771	1.0000	-.9702	-.9853	-.9892	
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	
.0007	-.0012	-.0000	-.0000	-.0049	-.0011	-.0001	-.0004	-.0345	-.0014	-.0008	-.0000	-.0080	-.0003	-.0002	

calcio	retfos	ccam	maor	fosforo	deap	dere	pHH2O	fie	alu	sili	sodio	potasio	calcio	magnesio	arcl
-.8908	-.9410	-.9114	-.9126	-.8608	-.9294	-.9115	-.9163	-.7751	-.8527	-.8597	-.9262	1.0000	-.9092	-.9161	
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	
.0172	-.0004	-.0109	-.0111	-.0277	-.0073	-.0114	-.0102	-.0397	-.0282	-.0282	-.0080	-.0000	-.0120	-.0103	
magnesio	-.9924	-.9497	-.9936	-.9964	-.9822	-.9900	-.9987	-.9953	-.7955	-.9794	-.9936	-.9853	-.9092	1.0000	
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	
.0001	-.0037	-.0001	-.0000	-.0005	-.0001	-.0000	-.0000	-.0000	-.0585	-.0006	-.0001	-.0003	-.0120	-.0000	
arcl	-.9934	-.9551	-.9957	-.9980	-.9786	-.9931	-.9996	-.9952	-.7968	-.9798	-.9919	-.9892	-.9161	-.9995	
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	
.0001	-.0030	-.0000	-.0000	-.0007	-.0001	-.0000	-.0000	-.0000	-.0577	-.0006	-.0001	-.0002	-.0103	-.0000	

arena	limo	retfos	ccam	maor	fosforo	dere	pHH2O	fie	alu	sodio	potasio	calcio	magnesio	arcl
1.0000	-.9978	-.9907	-.9466	-.9987	-.9991	-.9950	-.9979	-.9922	-.8108	-.9935	-.9926	-.8957	-.9944	-.9959
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)
.0000	-.0000	-.0001	-.0042	-.0000	-.0000	-.0000	-.0000	-.0001	-.0503	-.0001	-.0001	-.0158	-.0000	-.0000
limo	1.0000	-.9935	-.9537	-.9973	-.9991	-.9944	-1.0000	-.9952	-.8011	-.9931	-.9908	-.9115	-.9990	-.9997
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)
.0000	-.0000	-.0001	-.0032	-.0000	-.0000	-.0000	-.0000	-.0000	-.0554	-.0001	-.0001	-.0114	-.0000	-.0000
retfos	-.9907	1.0000	-.9272	-.9865	-.9903	-.9825	-.9940	-.9814	-.7343	-.9879	-.9787	-.8908	-.9924	-.9934
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)
.0001	-.0001	-.0000	-.0078	-.0003	-.0001	-.0005	-.0001	-.0005	-.0955	-.0002	-.0007	-.0172	-.0001	-.0001
ccam	-.9466	-.9537	1.0000	-.9611	-.9582	-.9686	-.9532	-.9565	-.8620	-.9183	-.9719	-.9830	-.9497	-.9551
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)	(.6)
.0042	-.0032	-.0078	-.0000	-.0022	-.0026	-.0015	-.0032	-.0028	-.0273	-.0097	-.0012	-.0004	-.0037	-.0030

Coefficient (sample size) significance level

Sample Correlations

arena	limo	sili	deap
1.0000	-.9978	-.9865	-.9644
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)
.0000	-.0000	-.0003	-.0018
limo	1.0000	-.9823	-.9757
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)
.0000	-.0000	-.0005	-.0000
sili	-.9865	1.0000	-.9710
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)
.0003	-.0005	-.0000	-.0018
deap	-.9644	-.9757	1.0000
(.6)	(.6)	(.6)	(.6)
.0019	-.0009	-.0012	-.0000

Coefficient (sample size) significance level

- retfos = cantidad de fosfatos (%)
- ccam = capacidad de campo (%)
- maor = materia orgánica (%)
- fosforo = fósforo asimilable (mg/kg)
- deap = densidad aparente (g/cc)
- dere = densidad real (%)
- pH H<sub>2</sub>O (%)
- fie = fierro amorfo (%)
- alu = aluminio amorfo (%)
- sili = silicio amorfo (%)
- sodio = sodio intercambiable (mg/kg)
- potasio = potasio intercambiable (mg/kg)
- calcio = calcio intercambiable (mg/kg)
- magnesio = magnesio intercambiable (mg/kg)
- arcl = arcilla (%)
- arena = arena (%)
- limo = limo (%)

Sample Correlations

PERFIL No. 5

retfos	retfos 1.0000 ( 9) .0000	ccam .9123 ( 9) .0006	maor -.9947 ( 9) .0000	fosforo -.9131 ( 9) .0006	deap -.9138 ( 9) .0006	dere -.8432 ( 9) .0043	pH2O .9919 ( 9) .0000	fie .0054 ( 9) .9890	alu .9572 ( 9) .0001	sili .9664 ( 9) .0000	sodio .9860 ( 9) .0000	potasio -.8666 ( 9) .0025	calcio .5018 ( 9) .1687	magnesio .3328 ( 9) .3815	arcl -.1387 ( 9) .7219
ccam	.9123 ( 9) .0006	1.0000 ( 9) .0000	-.8931 ( 9) .0000	-.6897 ( 9) .0012	-.9811 ( 9) .0038	-.5977 ( 9) .0081	.8746 ( 9) .0020	-.1050 ( 9) .0003	-.9253 ( 9) .0003	-.9310 ( 9) .0003	-.9348 ( 9) .0002	-.6264 ( 9) .0711	.4430 ( 9) .2324	.6425 ( 9) .0620	-.4795 ( 9) .1915
maor	-.9947 ( 9) .0000	-.8931 ( 9) .0000	1.0000 ( 9) .0000	.9334 ( 9) .0002	.9021 ( 9) .0009	.8770 ( 9) .0019	-.9978 ( 9) .0000	.0176 ( 9) .9643	-.9508 ( 9) .0001	-.9587 ( 9) .0000	-.9816 ( 9) .0000	.8982 ( 9) .0010	-.4524 ( 9) .2215	-.2753 ( 9) .4733	-.0758 ( 9) .8464
fosforo	-.9131 ( 9) .0006	-.6897 ( 9) .0038	.9334 ( 9) .0002	1.0000 ( 9) .0000	.6993 ( 9) .0360	.9819 ( 9) .0000	-.9516 ( 9) .0001	.1450 ( 9) .7098	-.8228 ( 9) .0065	-.8281 ( 9) .0058	-.8725 ( 9) .0021	.9909 ( 9) .0000	-.3097 ( 9) .4173	-.0751 ( 9) .8477	-.2667 ( 9) .4879
deap	-.9138 ( 9) .0006	-.9811 ( 9) .0000	-.9021 ( 9) .0009	.6993 ( 9) .0360	1.0000 ( 9) .0000	.6264 ( 9) .0711	-.8815 ( 9) .0017	-.1605 ( 9) .6800	-.9392 ( 9) .0002	-.9260 ( 9) .0003	-.9480 ( 9) .0001	-.6477 ( 9) .0593	-.5177 ( 9) .1534	-.6095 ( 9) .0814	-.4325 ( 9) .2449
dere	-.8432 ( 9) .0043	-.5977 ( 9) .0081	.8770 ( 9) .0019	.9819 ( 9) .0000	.6264 ( 9) .0711	1.0000 ( 9) .0000	-.9001 ( 9) .0009	-.2068 ( 9) .5934	-.7406 ( 9) .0225	-.7359 ( 9) .0238	-.8034 ( 9) .0090	.9969 ( 9) .0000	-.2355 ( 9) .5418	.2133 ( 9) .5815	-.4049 ( 9) .2797
pH2O	.9919 ( 9) .0000	.8746 ( 9) .0020	-.9978 ( 9) .0000	-.9516 ( 9) .0001	-.8815 ( 9) .0017	-.9001 ( 9) .0009	1.0000 ( 9) .0000	-.0312 ( 9) .9364	.9414 ( 9) .0002	.9460 ( 9) .0001	.9760 ( 9) .0000	-.9186 ( 9) .0005	.4296 ( 9) .2485	.2280 ( 9) .5551	-.0293 ( 9) .9404
fie	.0054 ( 9) .9890	.1050 ( 9) .7880	.0176 ( 9) .9643	.1450 ( 9) .7098	-.1505 ( 9) .6800	.2068 ( 9) .5934	-.0312 ( 9) .9364	1.0000 ( 9) .0000	.2727 ( 9) .4778	.1493 ( 9) .7014	-.1074 ( 9) .7832	.2004 ( 9) .6052	-.1003 ( 9) .7973	.3917 ( 9) .2971	-.4493 ( 9) .2250
alu	.9572 ( 9) .0001	.9253 ( 9) .0003	-.9508 ( 9) .0001	-.8228 ( 9) .0065	-.9392 ( 9) .0002	-.7406 ( 9) .0225	.9414 ( 9) .0002	.2727 ( 9) .4778	1.0000 ( 9) .0000	.9805 ( 9) .0000	.9749 ( 9) .0000	-.7674 ( 9) .0158	.4569 ( 9) .2153	-.4527 ( 9) .2211	-.2825 ( 9) .4614
sili	.9664 ( 9) .0000	.9310 ( 9) .0003	-.9587 ( 9) .0001	-.8281 ( 9) .0065	-.9260 ( 9) .0002	-.7359 ( 9) .0238	.9460 ( 9) .0001	.1493 ( 9) .7014	.9805 ( 9) .0000	1.0000 ( 9) .0000	.9574 ( 9) .0001	-.7725 ( 9) .0147	.4589 ( 9) .2140	.4551 ( 9) .2184	-.2815 ( 9) .456
sodio	.9860 ( 9) .0000	.9348 ( 9) .0002	-.9816 ( 9) .0000	-.8725 ( 9) .0021	-.9480 ( 9) .0001	-.8034 ( 9) .0090	.9760 ( 9) .0000	.1074 ( 9) .7832	.9749 ( 9) .0000	.9574 ( 9) .0001	1.0000 ( 9) .0000	-.8214 ( 9) .0064	.4976 ( 9) .2184	.4020 ( 9) .2815	-.2881 ( 9) .4911
potasio	-.8666 ( 9) .0025	-.6264 ( 9) .0711	.8982 ( 9) .0010	-.3097 ( 9) .4173	-.0751 ( 9) .8477	-.2355 ( 9) .5418	-.5815 ( 9) .2797	-.4049 ( 9) .2797	-.7359 ( 9) .0238	-.8034 ( 9) .0090	-.9969 ( 9) .0000	-.2355 ( 9) .5418	-.2355 ( 9) .5418	.2133 ( 9) .5815	-.4049 ( 9) .2797
calcio	.5018 ( 9) .1687	.4430 ( 9) .2324	-.4524 ( 9) .2215	-.3097 ( 9) .4173	-.5177 ( 9) .1534	-.2355 ( 9) .5418	.4296 ( 9) .2485	-.2280 ( 9) .5551	-.9186 ( 9) .0005	.4296 ( 9) .2485	.4970 ( 9) .1735	-.2485 ( 9) .1735	1.0000 ( 9) .0000	.4319 ( 9) .2457	-.3061 ( 9) .4231
magnesio	.3328 ( 9) .3815	.6425 ( 9) .1915	-.2753 ( 9) .4733	-.0751 ( 9) .8464	-.6095 ( 9) .2449	-.2133 ( 9) .5815	.2280 ( 9) .5551	-.4527 ( 9) .2825	-.4569 ( 9) .4614	.4589 ( 9) .2184	.4970 ( 9) .1735	-.2485 ( 9) .1735	1.0000 ( 9) .0000	.4319 ( 9) .2457	-.3061 ( 9) .4231
arcl	-.1387 ( 9) .7219	-.4795 ( 9) .1915	-.0758 ( 9) .8464	-.2667 ( 9) .4879	-.4325 ( 9) .2449	-.4049 ( 9) .2797	-.0293 ( 9) .9404	-.4493 ( 9) .2250	-.2825 ( 9) .4614	-.2854 ( 9) .4567	-.2081 ( 9) .5911	-.3659 ( 9) .3329	-.3061 ( 9) .4231	-.9734 ( 9) .0000	1.0000 ( 9) .0000
arena	1.0000 ( 9) .0000	-.9725 ( 9) .0000	-.9814 ( 9) .0000	-.9691 ( 9) .0000	-.9686 ( 9) .0000	-.8227 ( 9) .0065	-.7373 ( 9) .0234	-.9567 ( 9) .0001	-.0859 ( 9) .8261	-.9711 ( 9) .0000	-.9873 ( 9) .0000	.7648 ( 9) .0164	.5243 ( 9) .1474	-.4999 ( 9) .1705	-.3141 ( 9) .4105
limo	-.9725 ( 9) .0000	1.0000 ( 9) .0000	.9128 ( 9) .0006	.9854 ( 9) .0000	-.8859 ( 9) .0015	-.6712 ( 9) .0478	-.5608 ( 9) .1163	.8638 ( 9) .0027	-.1872 ( 9) .6296	-.9289 ( 9) .0002	.9351 ( 9) .0002	-.5950 ( 9) .0910	.5445 ( 9) .1295	.6865 ( 9) .0411	-.5266 ( 9) .1452
retfos	-.9814 ( 9) .0000	-.9128 ( 9) .0006	1.0000 ( 9) .0000	.9123 ( 9) .0006	-.9947 ( 9) .0000	-.9131 ( 9) .0006	-.8432 ( 9) .0043	.9919 ( 9) .0000	.0054 ( 9) .9890	.9572 ( 9) .0001	.9664 ( 9) .0000	-.8666 ( 9) .0025	.5018 ( 9) .1687	.3328 ( 9) .3815	-.1387 ( 9) .7219
ccam	-.9691 ( 9) .0000	.9854 ( 9) .0000	.9123 ( 9) .0006	1.0000 ( 9) .0000	-.8931 ( 9) .0002	-.6897 ( 9) .0038	-.5977 ( 9) .0081	.8746 ( 9) .0020	.1050 ( 9) .0003	-.9253 ( 9) .0003	-.9310 ( 9) .0003	-.6264 ( 9) .0711	.4430 ( 9) .2324	.6425 ( 9) .0620	-.4795 ( 9) .1915

Coefficient (sample size) significance level

Sample Correlations

arena	arena 1.0000 ( 9) .0000	limo -.9725 ( 9) .0000	sili -.9725 ( 9) .0000	deap -.9757 ( 9) .0000
limo	-.9725 ( 9) .0000	1.0000 ( 9) .0000	.9437 ( 9) .0001	-.9729 ( 9) .0000
sili	-.9757 ( 9) .0000	.9437 ( 9) .0001	1.0000 ( 9) .0000	-.9260 ( 9) .0000
deap	-.9680 ( 9) .0000	-.9729 ( 9) .0000	-.9260 ( 9) .0000	1.0000 ( 9) .0000

Coefficient (sample size) significance level

retfos =	retención de fosfatos	(%)
ccam =	capacidad de campo	(%)
maor =	materia orgánica	(%)
fosforo =	fosforo asimilable	(mg/kg)
deap =	densidad aparente	(g/cc)
dere =	densidad real	(g/cc)
pH H <sub>2</sub> O		1.25
fie =	hierro amorfo	(%)
alu =	aluminio amorfo	(%)
sili =	silicio amorfo	(%)
sodio =	sodio intercambiable	(mg/kg)
potasio =	potasio intercambiable	(mg/kg)
calcio =	calcio intercambiable	(mg/kg)
magnesio =	magnesio intercambiable	(mg/kg)
arcl =	arcilla	(%)
arena =	arena	(%)
limo =	limo	(%)

### 1.3 Prueba de t

Resultados obtenidos de la comparación de las medias estadísticas, de los primeros horizontes de los perfiles que teóricamente no han sido regados con aguas residuales, con los que han sido regados con aguas residuales.

#### pH

$$t = 3.7024$$

$$g.l. = 3.75$$

#### materia orgánica

$$t = 0.54$$

#### sodio

$$t = 2.02$$

$$g.l. = 4.57$$

#### potasio

$$t = 1.27$$

#### calcio

$$t = 4.18$$

$$g.l. = 3.09$$

#### magnesio

$$t = 4.009$$

$$g.l. = 4.68$$

#### fósforo

$$t = 1.93$$

$$g.l. = 4.99$$