

00361
4
2y



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**ALGUNOS NUTRIMENTOS ASIMILABLES
EN DIFERENTES SUELOS DE MÉXICO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

(BIOLOGIA)

P R E S E N T A

MA. DE LOURDES FLORES DELGADILLO

MEXICO, D. F.

1987

**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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

I N D I C E

	Página
Indice de Tablas	i
Resumen	ii
1. INTRODUCCION	1
1.1 Objetivos	4
2. REVISION BIBLIOGRAFICA	5
2.1 COBRE	5
2.1.1 Geoquímica	5
2.1.2 Formas en el suelo	6
2.1.3 Interacciones	9
2.1.4 Función	10
2.2 HIERRO	13
2.2.1 Geoquímica	13
2.2.2 Formas en el suelo	16
2.2.3 Interacciones	22
2.2.4 Función	24
2.3 MANGANESO	28
2.3.1 Geoquímica	28
2.3.2 Formas en el suelo	31
2.3.3 Interacciones	34
2.4 ZINC	37
2.3.1 Geoquímica	37
2.4.2 Formas en el suelo	39
2.4.3 Interacciones	41
2.4.4 Función	42

	Página
2.5 CALCIO	44
2.5.1 Geoquímica	44
2.5.2 Formas en el suelo	45
2.5.3 Interacciones	47
2.5.4 Función	48
2.6 MAGNESIO	49
2.6.1 Geoquímica	49
2.6.2 Formas en el suelo	49
2.6.3 Interacciones	51
2.6.4 Función	52
2.7 POTASIO	53
2.7.1 Geoquímica	53
2.7.2 Formas en el suelo	54
2.7.3 Interacciones	57
2.7.4 Función	58
2.8 SODIO	59
2.8.1 Geoquímica	59
2.8.2 Formas en el suelo	59
2.9 ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA	62
2.10 MUESTREO Y VARIABILIDAD	65
2.11 ANALISIS MULTIVARIADO	69
2.11.1 Análisis Discriminante	69
2.11.2 Análisis de Correlación Canónica	73
3. DESCRIPCION GENERAL DE LAS AREAS DE ESTUDIO	78
3.1 ESTADO DE GUANAJUATO	78

	Página
3.1.1 Municipio de Salamanca	78
3.1.2 Municipio de Purísima de Bustos	80
3.2 ESTADO DE VERACRUZ	82
3.2.1 Municipio de Playa Vicente	82
3.2.2 Municipio de San Juan Evangelista	84
3.3 ESTADO DE SONORA	87
3.3.1 Municipio de Hermosillo	87
4. METODOLOGIA	91
4.1 Trabajo de gabinete	91
4.2 Trabajo de campo	92
4.3 Análisis de laboratorio	92
4.4 Análisis estadístico de la información	94
5. RESULTADOS	97
6. DISCUSION	109
6.1 Análisis discriminante del horizonte superficial	109
6.2 Análisis discriminante del horizonte subyacente	123
6.3 Análisis de correlación canónica	132
7. CONCLUSIONES	145
BIBLIOGRAFIA	147
APENDICE	155

I N D I C E D E T A B L A S

- 1.- Resultados de los análisis realizados en los suelos de las 3 regiones.
- 2.- Medias y desviaciones estandar utilizadas en el análisis discriminante con trece variables, tres regiones y en el horizonte superficial.
- 3.- Valores de F y Lambda de Wilks incluidos en cada etapa del análisis discriminante del horizonte superficial.
- 4.- Medias y desviaciones estandar utilizadas en el análisis discriminante con trece variables, tres regiones y en el horizonte subyacente.
- 5.- Valores de F y Lambda de Wilks incluidos en cada etapa del análisis discriminante del horizonte subyacente.
- 6.- Medias y desviaciones estandar utilizadas en el análisis discriminante con trece variables, tres regiones y en la tercera profundidad.
- 7.- Valores de F y Lambda de Wilks incluidos en cada etapa del análisis discriminante en la tercera profundidad.

RESUMEN

El trabajo consiste en el análisis del contenido de algunos nutrimentos en su forma disponible en el suelo. Los nutrimentos que se cuantificaron fueron: hierro, cobre, zinc, manganeso, sodio, potasio, calcio y magnesio. La determinación de estos elementos en forma asimilable se realizó en suelos de tres estados de la República Mexicana, que fueron: Guanajuato, Veracruz y Sonora; haciendo una selección de los lugares de muestreo a través de información edafogenética que se había generado previamente.

Se hizo una diferenciación entre las diversas zonas agrícolas muestreadas haciendo uso de la técnica estadística llamada Análisis Discriminante.

También se hizo un estudio de interrelación entre el contenido de los nutrimentos y algunas propiedades físicas y químicas de los suelos, para lo cual se utilizó la técnica estadística de Correlación Canónica.

Los resultados obtenidos fueron, la detección de algunas deficiencias de ciertos nutrimentos como por ejemplo: la región estudiada de Guanajuato se encuentra medianamente deficiente en hierro, cobre y zinc. La región de Veracruz sólo presenta una ligera deficiencia en zinc, y la región de Sonora al igual que la de Guanajuato, presenta deficiencias en hierro, cobre y zinc, siendo las de Sonora más severas que las de Guanajuato.

Con el análisis de correlación canónica encontramos ciertas dependencias de algunos nutrimentos, así en Guanajuato, el Ca, Mg y Mn se mostraron dependientes del pH, capacidad de intercambio catiónico y arcillas. En Veracruz, el Na, Ca, Cu, Zn y Mn se mostraron dependientes del pH, arenas y arcillas. En Sonora, el Na, K, Ca, Mg y Mn se mostraron dependientes de la capacidad de intercambio catiónico, material orgánico y arcilla.

A través del análisis discriminante encontramos que el potasio fue la variable que tuvo el más alto poder discriminante. Con las variables utilizadas se logró una buena diferenciación entre las 3 regiones.

1. INTRODUCCION

La importancia de algunos elementos, llamados nutrimentos, se debe a que son esenciales en el metabolismo de las plantas, en virtud de que participan en diferentes aspectos de la vida vegetal. Para un buen desarrollo de las plantas es necesario que estos elementos esenciales se encuentren presentes en formas aprovechables o disponibles y en concentraciones óptimas en el suelo.

La presencia o ausencia de nutrimentos en el suelo en forma asimilable se debe a muchos factores, entre ellos están las propias características del suelo como son minerales originales, contenido de materia orgánica y grado de humificación, el pH, las condiciones de óxido-reducción, la variación estacional, presencia de quelatantes y la interacción con otros elementos. La disponibilidad de los nutrimentos también está relacionada con la cantidad de éstos en las diferentes formas sólidas, que se encuentran en equilibrio con aquéllas en solución.

Las comunidades de microorganismos presentes en el suelo pueden alterar la naturaleza química, movilidad, estado de oxidación o solubilidad de muchos nutrimentos.

Por lo tanto, la asimilabilidad estará dada por las diferentes condiciones edáficas y climáticas de cada región.

Algunos de los factores que han influido en el aumento general de la producción de los cultivos en los últimos años

han sido por ejemplo, los métodos modernos de cultivo, las va
riedades mejoradas, el control eficaz de las enfermedades,
plagas y malezas de los cultivos; el uso creciente de fertiliz
antes minerales y orgánicos, la expansión de nuevas superfici
es de regadío, etc. Sin embargo, existen en nuestro país
graves problemas por abordar como son el de la salinización,
erosión y contaminación, entre otros; problemas que provocan
situaciones muy irregulares respecto al contenido de micronutr
imentos en el suelo. Estos micronutrientes supuestamente
se incorporan a través de los fertilizantes comunes. Sin emba
rgo, no es usual el que se realicen cuantificaciones periódic
as de estos micronutrientes para que, en caso necesario,
se hiciera una reposición sistemática de ellos. Por lo tanto,
es muy importante conocer los parámetros geomorfológicos que
influyen en el desarrollo de los suelos, así como las interacci
ones que determinarán el grado de fertilidad de los mismos,
para lograr un mejor uso y aplicación de fertilizantes al culti
v
o o cultivos que se vayan a establecer en una determinada
región.

La importancia de este trabajo radica en que existen
pocos estudios en México en donde se hagan comparaciones numéri
cas de características edáficas en relación a niveles nutrici
onales, entre distintas regiones del país, y con la ayuda
de métodos estadísticos, para que estas comparaciones resulta
ren más objetivas que subjetivas.

Los agricultores ponen poca atención en algunos nutrientes que son importantes para el buen desarrollo vegetal; la mayoría de ellos enfocan su interés, principalmente, en el empleo de fertilizantes nitrogenados y fosfatados para obtener altos rendimientos. El planteamiento de este estudio es contribuir a subsanar este error. Para ello se hizo la evaluación de nutrientes como hierro, cobre, zinc, manganeso, sodio, potasio, calcio y magnesio, en regiones importantes desde el punto de vista agrícola. Después de haber detallado la deficiencia de algún elemento en particular y el grado de la misma, posteriormente se darán las recomendaciones pertinentes acudiendo a los sitios de estudio, aspecto que se considera importante porque, en el Departamento de Edafología del Instituto de Geología de la UNAM, se pretende continuar con algunas otras investigaciones relacionadas con el tema, en el Estado de Guanajuato y otras Entidades Federativas.

Finalmente, este trabajo reúne gran cantidad de información edáfica que podría servir de consulta y apoyo para investigaciones futuras que se realicen en los lugares aquí citados.

1.1 OBJETIVOS

Después de ver la falta de información que había acerca de algunos macro y micronutrientes en zonas donde se habían realizado estudios sobre aptitud de las tierras, se decidió llevar a cabo la evaluación de los diferentes niveles de algunos elementos esenciales en estos suelos, y para ello se plantearon los siguientes objetivos:

- a) Determinar los contenidos de algunos nutrientes como son: el calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, cobre, zinc y manganeso en forma asimilable en algunos suelos desarrollados en medios ecológicos diferentes.
- b) Observar si el contenido de estos nutrientes se encuentra relacionado o asociado con las condiciones edáficas y, al mismo tiempo climáticas, de cada lugar seleccionado.
- c) Marcar las posibles deficiencias existentes en las diferentes zonas de estudio, así como sus posibles causas.
- d) Determinar cuáles de las variables estudiadas tienen el mayor poder para discriminar entre suelos de diferentes grados de fertilidad.
- e) Discriminar entre 3 clases de zonas agrícolas: áreas con niveles medios en micronutrientes (región 1), áreas con buenos niveles en micronutrientes (región 2) y áreas deficientes en micronutrientes (región 3), de acuerdo a las mediciones nutricionales y pedogenéticas realizadas en las muestras de suelos.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 COBRE

2.1.1 Geoquímica.

El cobre muestra 2 valencias en los compuestos en que se presenta en forma natural. El cobre en solución se presenta en su forma simple de catión divalente o en alguna de las numerosas formas complejas y estables.

En depósitos minerales el cobre se presenta principalmente como sulfuros, simples o en forma compleja con otros metales, quizás el más abundante de los minerales de cobre es la calcopirita (CuFeS_2).

En rocas ígneas existe una diferencia marcada en cuanto a la abundancia del cobre entre el basalto y el granito. La presencia del cobre en estas rocas se hace evidente casi exclusivamente como gránulos submicroscópicos de sulfuro entre los cristales de silicato; como mineral traza sustituyendo a elementos más abundantes: tal vez Cu^{2+} por Ca^{2+} y por Mg^{2+} y Fe^{2+} , en silicatos de hierro y magnesio; y finalmente, como iones o sales adsorbidos en película o en la superficie de cristales del silicato. El cobre podría ser más abundante en el basalto que en el granito, ya que los sulfuros y los silicatos de hierro y magnesio son más abundantes en el basalto.

En rocas sedimentarias se conocen muchos minerales de cobre como la calcopirita y otros minerales sulfurados y oxidados como los carbonatos básicos de malaquita y azurita, y los silicatos de crisocola.

Cuando una solución permanece en estado de oxidación y ligeramente ácida, el cobre no puede precipitar ya que los compuestos de Cu^{2+} con algunos aniones de la solución del suelo son solubles. En lugares donde las condiciones son más reductoras se forma en la solución el complejo de cloruro cuproso, CuCl_2^- . Al cambiar la solución a pH alcalino puede precipitar el Cu_2O y, bajo condiciones fuertemente reductoras puede precipitar el metal activo, lo cual se demuestra por la presencia de cobre metálico en suelos pantanosos, en donde habrá el suficiente H_2S como para causar la precipitación del cobre como CuS o Cu_2S , ambos muy insolubles. Por lo tanto, en soluciones ácidas de naturaleza oxidante, el cobre es considerado uno de los metales más móviles (Krauskopf, 1979).

2.1.2 Formas en el suelo.

El cobre se presenta en los suelos principalmente como ion Cu^{++} adsorbido en los minerales arcillosos y/o ligado por la materia orgánica. A este respecto, los experimentos realizados por Sanders y Bloomfield (1980) y McLaren *et al.*, (1981) demuestran que la materia orgánica es el factor principalmente responsable de la adsorción del cobre por los suelos, sugiriendo que el pH no afecta marcadamente la adsorción del cobre sobre la materia orgánica ya sea soluble e insoluble. Estos mismos autores encuentran, además, que hay una adsorción específica sobre óxidos de hierro y manganeso.

Se sabe que el cobre puede combinarse fácilmente

con cualquier sustancia libre capaz de formar iones complejos que puedan estar disponibles o no para las plantas. Se ha demostrado que cuando se añaden pequeñas cantidades de cobre al suelo, el elemento se encuentra disponible más fácilmente en suelos ricos en materia orgánica que en suelos minerales.

Cuando se analizaron en más de 200 suelos los efectos de los distintos factores parciales del suelo que influyen sobre las cantidades solubles de cobre, por medio de regresiones múltiples, se encontraron correlaciones positivas y significativas entre el cobre total y el cobre soluble, y correlaciones también significativas, pero de carácter negativo, entre el cobre soluble y el pH del suelo en la mayoría de los grupos de suelos; no obstante se detectó una correlación significativa de carácter negativo entre la materia orgánica y el cobre soluble sólo en uno de los cinco subgrupos de suelos, y este era un subgrupo de suelos orgánicos (Sillanpää, 1976), lo cual indica que existe también una retención, relativamente fuerte del cobre por la materia orgánica; sin embargo, en la mayoría de los casos, además de esta retención existe un bajo contenido de cobre total en los suelos orgánicos.

La capacidad de los ácidos húmico y fúlvico de formar complejos estables con iones metálicos se debe, indudablemente, a su elevado contenido de grupos funcionales que presentan oxígeno, como son los grupos carboxilos, hidroxilos, alcohólicos y carbonilos. Los grupos amino e imino también están involucrados (Stevenson and Ardakani; in Mortvedt et al., 1983).

En los trabajos realizados por Berrow y Reaves (1984) se maneja la influencia de diversos factores sobre la extractabilidad del cobre en suelos de Escocia, Inglaterra. Ellos observaron que la influencia dominante sobre los niveles de cobre extractable es el contenido de cobre total; además de este factor, el contenido de materia orgánica es decisivo en la extractabilidad del elemento. Esto se hace más evidente con la relación que guardan el cobre extractable y el contenido de cenizas respecto a la profundidad de las muestras. Hacen también evidencia de que, con el uso de abonos orgánicos se sobrepasan los niveles críticos de cobre extractable en los suelos de la capa arable.

Otro de los factores sobre la disponibilidad del cobre es el pH del suelo. La solubilidad del cobre en el suelo disminuye ligeramente al variar el pH de ácido a neutro y a la gama de alcalinidad. Normalmente, el cobre soluble no se incrementa en forma apreciable hasta que el pH cae por debajo de 5.0. En suelos orgánicos muy ácidos que se han alcalinizado en diversas magnitudes, se han obtenido óptimos resultados con pH de 5.5.

En los estudios realizados por Dhillon et al., (1981) se intentaba observar la adsorción del cobre en suelos alcalinos de la India, pero los resultados llevaron a la conclusión de que el elemento había sufrido precipitación como hidróxido de cobre o carbonato de cobre. La capacidad de adsorción de los suelos estaba relacionada con la capacidad de intercambio

cati6nico, con el contenido de arcilla y con el CaCO_3 equivalente.

En Suecia, donde es com6n la deficiencia de este elemento, cuando analizaron los resultados de 600 muestras no pudieron establecer una relaci6n entre la deficiencia del cobre y el pH del suelo (Sillanpää, 1976).

Otros investigadores tampoco han observado diferencias en la absorci6n de cobre por las plantas al producirse variaciones de pH en el suelo.

La concentraci6n de cobre extraído mediante extractantes qu6micos varían seg6n el pH del suelo mäs que de las cantidades extraídas por las plantas, en virtud de que la selectividad de ciertos sitios para el intercambio de cationes con pequeñas cantidades de cobre pueden ocultar el efecto del pH; mientras que, cuando estä presente en grandes cantidades, algo de cobre existirä en sitios no selectivos de intercambio y la liberaci6n hacia la soluci6n del suelo aumentarä en relaci6n a valores reducidos de pH. Con valores de pH elevado se han encontrado niveles excesivos de cobre que pueden pasar a formar minerales de baja solubilidad (Mortvedt et al., 1983).

2.1.3 Interacciones.

Varios investigadores han seälado las interacciones existentes en los suelos entre el cobre y otros elementos. Se ha observado que el exceso de cobre ocasiona la deficiencia de hierro en cítricos. La actividad de la catalasa y del

hierro activo disminuyeron a medida que el fósforo disponible se incrementó, y las aplicaciones mayores de cobre intensificaron esta tendencia. Una interacción de carácter antagónico entre el cobre y el hierro se encontró cuando con el aumento del nivel de fósforo, mediante fertilización fosfatada en suelos con contenidos normales de cobre, puede ocasionar una deficiencia aguda de cobre debido, probablemente, a la formación de fosfatos de Cu insolubles. Estas interacciones del fósforo con el cobre pueden resultar del uso excesivo o prolongado de fertilizantes fosfatados (Spencer, 1966). Este mismo autor observó que las aplicaciones de fósforo reducían la concentración de cobre en hojas y raíces de plántulas de mandarina. En los casos en que la aplicación de cobre ha resultado tóxica para el crecimiento de cítricos, las aplicaciones de fósforo pueden reducir esta toxicidad.

Se han registrado contenidos totales medios de cobre de 33, 16 y 14 ppm para suelos minerales arcillosos, suelos minerales arenosos y suelos orgánicos, respectivamente. En este mismo orden de suelos se han encontrado contenidos de cobre disponible de 0.61, 0.29 y 0.19 ppm.

Muchos autores afirman que la deficiencia de cobre es muy común en suelos turbosos y podzolizados en zonas de precipitación elevada.

2.1.4 Función.

El cobre desempeña un papel esencial en el creci-

miento de las plantas, ya sea como activador enzimático o como parte de muchas enzimas oxidantes tales como la mono y polifenol oxidasa y la oxidasa del ácido ascórbico, que intervienen en la respiración. También el cobre es importante en el metabolismo de las proteínas y puede estar relacionado con la formación de la clorofila. Este papel metabólico esencial del cobre queda bien establecido, además, por el hecho de que la citocromo oxidasa contiene cobre, además de hierro.

El color y número de esporas así como el peso del micelio de Aspergillus niger son sensibles al nivel de cobre en el medio.

Los niveles de cobre en el suelo se ven afectados por el metabolismo de la microflora, de manera que puede verse disminuida la concentración de este elemento en forma soluble durante la descomposición de algunos residuos vegetales; o aumentar dicha concentración mediante la oxidación de los iones sulfuro o ferroso de minerales como la calcopirita (CuFeS_2) dejando libres iones de cobre en el medio. Esta oxidación es llevada a cabo por bacterias del género Thiobacillus (Alexander, 1980).

Generalmente, cuando se produce una deficiencia de cobre, ésta se corrige aplicando al suelo o al follaje alguna sal de cobre en forma soluble o ligeramente soluble. La sal que se utiliza más comúnmente es el sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).

Aunque se han registrado casos de toxicidad de cobre, este fenómeno no está muy extendido, pareciendo ser únicamente de importancia local, sobre todo en áreas afectadas por contaminación de cobre procedente de minas o como resultado de la acumulación de residuos industriales.

Las concentraciones normales de cobre en la mayoría de las plantas suele estar entre 5 y 25 ppm, pero estas concentraciones varían de acuerdo con las partes de la planta y con las especies, estado de madurez y otros factores (Chapman, 1973).

2.2 HIERRO

2.2.1 Geoquímica.

Desde el punto de vista geoquímico el hierro es único por su capacidad de formar numerosos compuestos estables con el azufre, oxígeno y sílice. El hecho de que el hierro se encuentre como elemento nativo y en sus dos estados de oxidación hacen que este metal y sus compuestos sean indicadores sensibles de las condiciones de oxidación en ambientes naturales.

La relación de Fe^{+++}/Fe^{++} es más elevada en granitos que en basaltos. La proporción de Fe^{+++} es también mayor en rocas volcánicas.

El intemperismo de los silicatos de hierro y óxidos de hierro se ve influenciado por el libre acceso de oxígeno atmosférico, lo cual proporciona principalmente Fe^{2+} en solución. Siempre y cuando la solución permanezca en estado no oxidado y por lo menos ligeramente ácida, el Fe^{2+} es estable, ya sea como ion simple o formando quelatos, pudiendo emigrar al interior del perfil hasta los mantos freáticos. Otro efecto del oxígeno atmosférico es, generalmente, la precipitación de óxido férrico hidratado (Krauskopf, In: Mortvedt et al., 1983).

Un incremento en el pH sin oxidación puede originar la precipitación de uno o más compuestos insolubles de Fe^{2+} , siendo

do los más comunes carbonato, sulfuro o silicato hidratado. La adsorción del hierro es posible en minerales arcillosos, óxidos minerales y materia orgánica.

La geoquímica inorgánica del hierro en la formación del suelo se limita principalmente a las transformaciones entre el Fe^{2+} en solución, el Fe^{2+} adsorbido en las superficies, los óxidos férricos y los compuestos ferrosos insolubles.

La estabilidad termodinámica del Fe_2O_3 con respecto a los compuestos ferrosos en presencia de O_2 , hace de este compuesto la forma más abundante de hierro en el suelo. En los afloramientos de rocas, el óxido férrico aparece comúnmente como la variedad impura de la goethita llamada limonita estando en contacto directo con silicatos ferrosos. La insolubilidad del óxido férrico trae como consecuencia que su formación permita un incremento en la acidez, y también que el óxido o hidróxido sea estable en presencia de soluciones cuyos valores de pH sean tan bajos como de 2 ó 3.

Algunas investigaciones como las de Walker en 1967, muestran una gran estabilidad de la hematita con respecto a la goethita en casi cualquier ambiente geológico. La inestabilidad final de la goethita concuerda con la observación de que el óxido férrico de rocas sedimentarias viejas fundamentalmente es hematita, mientras que el óxido férrico de los materiales de desgaste y de sedimentos es principalmente limonita (Fischer, 1963).

El hierro en rocas sedimentarias se presenta generalmente en la forma de hidrosilicatos, cuyos ejemplos más comunes son la glauconita y la chamosita. También se presenta como un constituyente menor de algunos minerales arcillosos como la montmorillonita y vermiculita. En estos minerales el hierro está presente en forma ferrosa y férrica, aunque predominando la forma ferrosa, excepto en la glauconita.

La glauconita es un mineral que se forma en ambientes marinos en la interfase entre sedimento-agua, donde las condiciones de oxidación en el agua de mar aireada alternan con las condiciones reductoras mantenidas por la materia orgánica en el sedimento.

En medios donde el pH es superior a 7 y hay altos contenidos de sulfuros, el hierro ferroso precipita fácilmente como sulfuro ferroso (FeS). Esta substancia es amorfa y metaestable que cambia rápidamente a un material micro-cristalino llamado mackinawita (FeS) y greigita (Fe₃S₄).

En soluciones que contengan Fe²⁺ y HCO₃⁻, se precipita la siderita (FeCO₃) cuando dicha solución es alcalina, siempre y cuando no estén presentes otros aniones con los que el Fe²⁺ formaría otros compuestos más insolubles.

La siderita también puede precipitar en algunos ambientes de agua dulce, especialmente en pantanos, o puede formarse como un mineral secundario cuando se percolan soluciones que contienen hierro a través de rocas o sedimentos que con-

tienen calcita o dolomita.

Por otra parte, el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ es una sustancia coloidal que generalmente se encuentra recubriendo partículas también de tamaño coloidal o mayores.

Respecto al óxido férrico (Fe_2O_3) lo encontramos con su carga eléctrica de cero cuando la escala en el pH varía de 4.8 a 6.0; cuando tenemos valores de pH por debajo de esta escala las partículas coloidales llevan una carga positiva y adsorberían fundamentalmente iones negativos, y cuando tenemos valores de pH por arriba de 6.0 se vería favorecida la adsorción de cationes (Krauskopf, In: Mortvedt et al., 1983).

2.2.2 Formas en el suelo.

El hierro puede considerarse como uno de los elementos principales ya que está situado en tercer lugar en cuanto a abundancia entre los elementos minerales de la corteza terrestre, después del silicio y el aluminio.

El hierro es el elemento cuyo estado en el suelo informa mejor sobre la edafogénesis, por ejemplo, el grado de hidratación de los óxidos de hierro, del cual depende el color, suministra información sobre el microclima del suelo; así, el estado reducido de las sales de hierro, que dan al suelo un color gris verdoso, indica insuficiencia de aireación. La comparación del contenido en hierro de los diferentes horizontes informa sobre el grado de lavado del hierro.

El hierro también interviene en la estructura de los suelos, favoreciendo con frecuencia estructuras muy estables, aún en medio ácido, a condición de que la aireación sea suficiente y que el hierro se halle en estado férrico.

El hierro puede encontrarse en el suelo en formas más o menos solubles, o fácilmente movilizables o, por el contrario, en formas insolubles, no movilizables. Las formas movilizables son la forma de intercambio y la forma complejada por la materia orgánica soluble, con mucha frecuencia ferrosas. La forma inmóvil es siempre férrica, ligada al complejo humicoarcilloso o precipitada después de una movilización más o menos transitoria.

Entre las formas solubles o de cambio se encuentra el ion ferroso, que sólo existe en medio reductor y suficientemente rico en materia orgánica; la acidez favorece esta reducción y solubilización del hierro.

La materia orgánica soluble procedente de la hojarasca forma con el hierro complejos seudosolubles que impiden su precipitación en medio aireado y a pH con frecuencia del orden de 4. La complejación del hierro tiene lugar, preferentemente en forma reducida (Fe^{2+}) formándose entonces un anión complejo muy estable, resistente a modificaciones de pH. El hierro se puede complejar igualmente en forma férrica, siendo ésta menos estable que la ferrosa porque puede ser fácilmente precipitada, mediante una elevación del pH o un aumento de la

concentración del ion calcio, o del CO_2 .

Los agentes complejantes pueden ser de dos clases: los ácidos orgánicos alifáticos originarios de las hojarasca, y los polímeros fenólicos más o menos solubles durante su origen de los horizontes A_0 de los mor, ambos intervienen en la formación de los ácidos fúlvicos, que desempeñan también una función complejante, aunque menos eficaz (Schnitzer, 1982). La evolución de estos dos tipos de agentes complejantes es completamente diferente en suelos con humus biológicamente activo (mull) que en suelos con humus poco activo (mor).

En los mull, los ácidos alifáticos, abundantes en la hojarasca, son biodegradados en su totalidad; en cuanto a los polímeros fenólicos se polimerizan más todavía y se transforman en ácidos húmicos insolubles que participan en la formación del complejo húmicoarcilloso, en estas condiciones no puede tener lugar ninguna migración del hierro en forma complejada.

En los mor, los ácidos alifáticos sólo son biodegradados parcialmente y los polímeros fenólicos se insolubilizan progresivamente; por lo tanto, todos los agentes complejantes pueden emigrar en el perfil y provocar así el transporte del hierro.

El hierro férrico insoluble se presenta en dos formas de origen diferente: 1) la forma englobada en el complejo húmicoarcilloso presente en los horizontes A_1 de los suelos con

mull, y 2) la forma precipitada en los horizontes de acumulación, después de la emigración en suelos con mor. La forma férrica ligada al complejo húmicoarcilloso es característica de los suelos pardos templados con mull, y se trata de una forma polimerizada, más o menos hidratada, desprovista de carga $\text{Fe}(\text{OH})_3$, o con más frecuencia todavía cargada positivamente $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ ó $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$. Los óxidos férricos forman alrededor de las arcillas una película que sirve de enlace iónico entre la arcilla y el humus en el complejo húmicoarcilloso. Sin embargo, el hierro existe también en una forma completamente ocluida, ya sea en las moléculas húmicas, es decir, en forma complejada insoluble, o en los estratos cristalinos de las arcillas. El hierro dispuesto en la capa pelicular alrededor de las arcillas da al complejo su color propio: pardo, en forma hidratada en climas húmedos, o rojo en forma poco hidratada o deshidratada en climas cálidos y secos. En cambio, las formas ocluidas en las moléculas del humus y de las arcillas no intervienen en la coloración del suelo.

Cuando el hierro, previamente movlizado y lavado, precipita, primero forma un gel amorfo de hidrato férrico que es tá asociado a la sílice coloidal y a los ácidos fúlvicos, cuya insolubilización y polimerización favorece la formación de ácidos húmicos; esta forma caracteriza no sólo los horizontes espódicos, sino también las manchas rojizas de ciertos suelos hidromorfos o pseudogley. La forma amorfa se conserva mientras que la materia orgánica sea abundante, pues así protege los geles férricos contra la cristalización. Si la propor-

ción de óxidos férricos, con frecuencia asociados al manganeso, MnO_2 , aumenta en estos agregados como consecuencia del aporte de una nueva cantidad de hierro, la evolución hacia las formas cristalinas se hace posible mediante las fases de desecación del suelo, los agregados se endurecen y forman concreciones de goethita. Cuando el hierro procedente de la alteración de la roca madre es abundante, puede tomar la forma precipitada o concrecionada, sin pasar por una movilizacion previa en estado soluble o pseudosoluble. Se ha demostrado que la arcilla sólo puede adsorber una cantidad limitada de hierro pelicular y el excedente cristaliza formando concreciones finas, constituidas por goethita en suelos ferrolíticos con microclima constantemente húmedo o, por el contrario, por hematita en suelos con fase de desecación muy acentuada (Duchafour, 1978).

La cantidad de hierro disponible en los suelos para las plantas depende grandemente del pH del suelo y del potencial de óxido-reducción. En suelos ácidos el hierro está normalmente en formas ferrosas que son asimilables por las plantas, pero en suelos neutros o alcalinos se oxida pasando a hierro férrico que puede llegar a ser muy insoluble.

El potencial de oxidación crece al aumentar el pH y la aireación, de modo que la reacción $Fe^{2+} \leftrightarrow Fe^{3+}$ debido a estos dos factores es probable que avance hacia Fe^{3+} y hacia la disminución de la disponibilidad del hierro.

Asghar y Kanehiro (1981), encontraron que cuando el

ion ferroso se aplica a suelos con pH similares, es inmediatamente fijado u oxidado a férrico en suelos de Wahiawa, los cuales tenían un alto nivel de manganeso nativo. Esto demuestra que el ion ferroso es oxidado por una reducción de valencias del manganeso, lo cual acarrea serias complicaciones en la nutrición vegetal respecto al hierro en suelos con altos niveles de manganeso.

Mashhady y Rowell (1978), llevaron a cabo un experimento para observar el comportamiento de plantas de tomate por efecto del carbonato de sodio sobre la asimilabilidad del hierro y del manganeso. Ellos encontraron que el rendimiento se ve seriamente disminuido cuando aumentan los valores de pH hasta 8.5; el rendimiento aumentó cuando se hicieron aplicaciones de hierro solo y de hierro con manganeso, lo cual también eliminó todas las señales de clorosis observadas en las plantas, las que habían empezado a aparecer desde pH de 7.5; pero cuando el manganeso fue aplicado solo, se intensificaron los síntomas de clorosis. Los autores concluyeron que las deficiencias de hierro y manganeso fueron inducidas por el Na_2CO_3 . Se podría suponer que en suelos salinos y sódicos donde el carbonato de calcio es muy frecuente y que el pH y las concentraciones de bicarbonatos son aún más altos por el Na_2CO_3 , la clorosis en estos suelos podría ser más severa; sin embargo, hay pocos informes sobre clorosis en frutales con riego en regiones áridas (Newman y Waisel, 1966).

2.2.3 Interacciones

En las plantas existe un antagonismo bien definido entre el hierro y el manganeso; la aplicación de quelatos de hierro disminuye a menudo el contenido foliar de manganeso llegando, a veces, a provocar una deficiencia en este elemento. Por la misma causa se ha observado, en algunas ocasiones, la eliminación de la toxicidad debida a un exceso de manganeso por la aplicación de quelatos férricos (Bear, 1965).

Se han encontrado pruebas de que la relación Fe/Mn afecta el crecimiento de las plantas. Dicho crecimiento y estado vegetal son normales cuando esta relación se encuentra aproximadamente dentro del margen de 1.5 a 2.6; pero cuando la relación del hierro al manganeso en las hojas de las plantas se encuentra fuera de este margen tienden a desarrollarse síntomas patológicos. Con valores superiores a 2.6 es probable que se desarrollen síntomas de deficiencia de Mn y/o exceso de Fe. Si la relación es inferior a 1.5, se hacen evidentes los síntomas de deficiencia de Fe y/o exceso de Mn. El desarrollo de estos síntomas depende mucho de la relación en el substrato pero es casi independientemente de las cantidades reales de hierro y manganeso (Sillanpää, 1976).

Aunque la deficiencia de hierro puede tener lugar tanto en suelos ácidos como alcalinos, es quizás mucho más común en los suelos calcáreos, como una clorosis de hierro inducida por cal. Además de que un pH elevado disminuye la disponibi-

lidad del hierro, también, fuertes concentraciones de calcio en la solución del suelo pueden no sólo disminuir la adsorción del hierro, sino que se ha observado una falta de actividad del hierro dentro de la planta.

Existe otra interacción con el hierro en la que el fósforo está fuertemente involucrado, ocasionando clorosis férrica cuando el fósforo se encuentra presente en concentraciones relativamente elevadas en el suelo o en soluciones nutritivas, lo cual se debe a que la capacidad de la planta para absorber y mantener el hierro en forma soluble y móvil, disminuye a medida que se incrementa la concentración de fósforo en la planta.

También se encuentran deficiencias de hierro en suelos manganíferos, suelos pobremente drenados, suelos con humedad constante, o suelos con concentraciones altas en elementos tales como cobre, zinc y molibdeno (Chapman, 1973). Para corregir la deficiencia de hierro lo más común es aplicar sales de hierro al suelo o a las plantas. El sulfato ferroso ha sido la sal más comúnmente utilizada. Quizás el método más eficaz es la utilización de quelatos de hierro, ya sea en aplicaciones al suelo o foliares. Estos compuestos orgánicos pueden combinarse con iones metálicos de tal forma que el metal queda atrapado en la molécula orgánica. Estos compuestos son muy estables y aunque sean muy solubles, el hierro, por ejemplo, no se ioniza ni precipita en el suelo sino que se mantiene en

forma de complejo soluble disponible para su absorción por la raíz. En los quelatos el hierro está protegido contra la fijación, y la molécula quelatante junto con el hierro puede entrar en la planta y ser transportada a las hojas. Estos quelatos muy solubles pueden estar sujetos a pérdida por lixiviación o pueden también descomponerse por actividad microbiana.

Las cantidades de quelatos a utilizar dependen del cultivo, del suelo y de la agudeza de la deficiencia. En algunos casos la deficiencia de hierro en cítricos se corrigió en seis semanas después de la aplicación de 6 gr de hierro por árbol, en forma de Fe-EDTA. La recomendación usual, dependiendo del tamaño de los árboles, es de 10 a 20 gr de hierro por árbol.

Para cultivos en el campo las aplicaciones características varían desde 1/2 kg a 1 kg de hierro por hectárea. Para aplicaciones foliares se han utilizado soluciones que contienen de 0.1 a 0.2% de quelatos de hierro, necesitándose, generalmente, de dos a cuatro tratamientos con intervalos de 8 a 20 días (Sillanpää, 1976).

2.2.4 Función.

El hierro juega un papel importante en la química del suelo participando en numerosas reacciones que afectan a las propiedades químicas y físicas de los suelos. Debido a su interacción con otros elementos, puede afectar considera-

blemente a la disponibilidad tanto de micronutrientes como de macronutrientes.

En la nutrición de las plantas, el hierro desempeña un papel múltiple. Es un componente estrechamente unido a un grupo de proteínas que incluye el sistema de citocromos, la catalasa y la peroxidasa. Su distribución en los tejidos de la planta y en las partes de la célula es muy variada. La deficiencia de hierro inhibe la división celular y la producción de hojas primordiales. El hierro puede participar en alguna reacción de la fotosíntesis, pero su papel en la síntesis de la clorofila no es muy claro todavía, aunque se ha encontrado que existe una correlación entre el contenido de clorofila de las hojas y su contenido en hierro.

Algunos investigadores han observado que los ácidos nucleicos contienen generalmente grandes cantidades de elementos traza, incluyendo al hierro. También han identificado una proteína ribosomal conteniendo 20% de hierro. Más aún, el contenido de hierro de esta proteína varía con el estado fisiológico del organismo.

Se ha establecido un efecto específico de la deficiencia de hierro en el metabolismo del ARN de los cloroplastos. El alga Euglena gracilis puede crecer bajo condiciones de deficiencia de hierro. Cuando se aislaron los cloroplastos deficientes en hierro, mediante un método que preserva la integridad de los organelos, se encontró menos de la mitad del

ARN proveniente de cloroplastos y ribosomas de cloroplastos deficientes en hierro que en los testigos (Price et al., In: Mortvedt, 1983).

El hierro puede considerarse que es, por lo menos, moderadamente móvil en las plantas. El hierro juega un papel fundamental en los procesos vitales de los animales pues constituye alrededor del 4% de la molécula de hemoglobina. Cuando falta una cantidad adecuada de hierro, se inhibe la formación de eritrocitos de la sangre dando como resultado la anemia.

El contenido de hierro en los tejidos normales de las plantas varía desde unos 25 a más de 500 ppm, dependiendo de la parte de la planta y de la especie. Algunas especies de hortalizas como la espinaca, la lechuga, el colirrábano, el brócoli y la col verde son ricas en hierro, conteniendo de 100 a 800 ppm en materia seca. Las plantas leguminosas normalmente contienen más hierro que las gramíneas.

El contenido de hierro puede variar desde 20 a 740 ppm en las hojas de los árboles frutales, y de 50 a 420 ppm en las hojas de los árboles caducifolios y de las coníferas. Debido a la movilidad parcial del hierro en las plantas, existen considerables diferencias en su contenido en las distintas partes de la planta. En el maíz, por ejemplo, el hierro puede estar precipitado en los nudos de los tallos o en su proximidad, siendo imposible su traslado a las hojas, donde es necesario, con lo cual la planta sufre la deficiencia (Sillanpää, 1976).

El hierro es un elemento que se transforma fácilmente mediante la actividad de la microflora. Por ejemplo, algunas bacterias son capaces de oxidar al hierro ferroso al estado férrico, el cual precipita como hidróxido férrico. Muchas especies heterótrofas atacan sales orgánicas de hierro soluble, el cual pasa a forma inorgánica y precipita. También los microorganismos alteran el potencial de óxido-reducción del medio; la disminución de dicho potencial que resulta del crecimiento microbiano, conduce a la formación del ion ferroso, a partir del ion férrico. Innumerables bacterias y hongos producen ácidos como el carbónico, nítrico, sulfúrico y ácidos orgánicos; el incremento en la acidez del suelo conduce al hierro a pasar a solución. En condiciones de anaerobiosis los microorganismos pueden extraer el hierro de la solución en forma de sulfuro ferroso. El hecho de que los microorganismos liberen algunos ácidos orgánicos y otros productos carbonados durante su metabolismo, da por resultado la formación de complejos orgánicos de hierro solubles (Alexander, 1980).

2.3 MANGANESO.

2.3.1 Geoquímica.

El manganeso es un microelemento notablemente similar al hierro desde el punto de vista de su comportamiento químico. Sin embargo, estos dos elementos se encuentran muy separados en la naturaleza, lo cual ocasiona que tengan también grandes diferencias. Por ejemplo, el manganeso es más electropositivo, forma compuestos de mayor solubilidad, particularmente los sulfuros que tienen menor estabilidad y mayor solubilidad.

El manganeso está presente en rocas ígneas, principalmente en los minerales de silicato. Este elemento se encuentra en los minerales en forma de óxidos, carbonatos y silicatos; siendo más abundante en basaltos que en granitos. En rocas ígneas comunes siempre es mayor la cantidad de hierro respecto a la de manganeso.

Una de las similitudes del Mn^{2+} y del Fe^{2+} es el tamaño muy parecido del radio iónico de ambos, es por eso que el manganeso se encuentra sustituyendo al hierro principalmente en los silicatos ferromagnesianos.

En los compuestos más comunes en los que el manganeso se encuentra presente en forma natural, el elemento muestra 3 estados de oxidación (2^+ , 3^+ y 4^+). El ion trivalente es muy inestable en solución y el tetravalente se presenta

únicamente a valores de pH extremadamente ácidos.

En medios donde existen condiciones reductoras los compuestos estables de manganeso son aquéllos que se forman a partir de Mn^{2+} ; en ambientes donde existen condiciones fuertemente oxidantes el compuesto más estable es el dióxido de manganeso (MnO_2).

En rocas sedimentarias el manganeso es más abundante en calizas y dolomitas que en esquistos. Este comportamiento concuerda con la insolubilidad del $MnCO_3$, y con la mayor resistencia a la oxidación del Mn^{2+} respecto al Fe^{2+} , pero esto también indica que el Mn^{2+} se adsorbe con menos fuerza que la mayoría de los iones metálicos en las partículas del suelo y sedimentos de granulación fina. El intemperismo de silicatos o carbonatos que contienen manganeso, en ambientes donde el oxígeno atmosférico es limitado, origina la presencia de Mn^{2+} en solución. Los compuestos de Mn^{2+} con los aniones comunes en aguas superficiales son ligeramente solubles a valores de pH 7 o mayores y todos estos compuestos son más solubles que los correspondientes de Fe.

El manganeso podría formar hidrosilicatos como los correspondientes silicatos de Fe, pero dichos compuestos, así como el $Mn(OH)_2$ y el MnO , son conocidos como minerales únicamente en depósitos formados a temperaturas elevadas. Si el Mn aparece en los silicatos del suelo lo hace solamente como un sustituto menor del Fe o del Mg en las arcillas.

Los productos más comunes de una oxidación a bajas temperaturas son: la braunita $(\text{Mn, Si})_2\text{O}_3$; la manganita MnOOH ; un óxido hidratado impuro de Mn y Co; y la pirolusita MnO_2 . El producto estable de una oxidación completa es la pirolusita, llevándose a cabo la oxidación a bajos potenciales de óxido-reducción en soluciones alcalinas más que en soluciones ácidas.

Hem (1963) demostró que el manganeso forma un complejo de bicarbonato bastante estable, MnHCO_3^+ ; además de un complejo neutro como es el sulfato de manganeso, MnSO_4 ; así como complejos con compuestos orgánicos. Todos estos complejos son menos estables que los que se forman con el hierro, pero suficientemente estables para disminuir su velocidad de oxidación. Si en algunas soluciones se encuentra presente el hierro, éste precipitará a valores de pH menores que para el manganeso y la cantidad de Mn^{2+} en solución se reducirá por coprecipitación con el $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Una característica de los óxidos hidratados de manganeso, que comparten con los óxidos hidratados de hierro férrico, es su estabilidad.

El transporte del manganeso en solución se ve limitado bajo condiciones de oxidación, ya que todos los compuestos comunes de Mn^{2+} , incluyendo los sulfuros, son suficientemente solubles en soluciones neutras o ligeramente ácidas. En soluciones alcalinas, el aumento en la adsorción y la insolubilidad del carbonato de manganeso, podrían dificultar el movi-

miento de este elemento (Krauskopf, 1979).

2.3.2 Formas en el suelo.

En general, el manganeso es suficientemente móvil en el suelo. En suelos fuertemente reductores se podría esperar encontrar el elemento como Mn^{2+} adsorbido, pero en suelos alcalinos parte del manganeso podría formar carbonato de manganeso. En la solución del suelo la mayoría del manganeso se encuentra presente en forma de complejos más que como un ion simple. En suelos oxidados el Mn^{2+} adsorbido puede precipitar, pero también debe estar presente como uno o más de los óxidos minerales.

El manganeso, así como el hierro, existe en el suelo en muchas formas, la mayoría de ellas más o menos oxidadas, siendo más solubles y más asimilables las formas divalentes. Al igual que con el hierro, la acidez del suelo favorece la evolución del manganeso hacia sus formas móviles, mientras que los pH elevados favorecen su insolubilización.

La forma iónica cambiante (Mn^{++}) se halla en equilibrio con las formas solubles y muy móviles. Esta forma iónica del manganeso al igual que el Fe^{++} , sólo existen en los suelos con débil potencial de óxido-reducción y muy ácidos (Hem, 1965).

La forma de manganeso intercambiable, que es relativamente soluble, es el óxido manganeso (MnO) retenida por el

complejo húmicoarcilloso.

Las formas insolubles y no cambiables son los óxidos superiores (Mn_2O_3 y MnO_2). La forma tetravalente o pirolusita es una forma estable y difícil de reducir; pero la trivalente es inestable y puede reducirse parcialmente y pasar a la forma de cambio. Las complejidades del manganeso se deben al hecho de que éste existe en varios estados de oxidación y forma óxidos no estequiométricos con estados de valencia mezclados. Sus óxidos también existen en diferentes estados cristalinos y amorfos.

Las especies de $MnSO_4$, $MnHCO_3^+$ contribuyen ligeramente al manganeso soluble total en suelos.

Los cambios normales en los niveles de O_2 , CO_2 y SiO_2 que ocurren en suelos bien aireados, causan pequeños cambios en la solubilidad de los compuestos de manganeso (Lindsay, In: Mortvedt et al., 1983). La solubilización del manganeso tiene lugar en medio ácido y reductor. Igual que como ocurre con el hierro, las sustancias húmicas solubles que complejan al ion Mn^{++} tienen un papel importante en la conservación de su forma soluble; en suelos con buen drenaje el ion Mn^{++} puede ser lavado, mientras que en suelos mal drenados (hidromorfos) se puede acumular pudiendo llegar a tener una acción tóxica.

La precipitación del manganeso puede ocurrir generalmente de dos formas. En algunos suelos ácidos que pasan por

fases de hidromorfía temporal (seudogley) y desecación, la precipitación ocurre en este período seco mediante una oxidación, precipita al mismo tiempo que el hierro, formando concreciones negras ferromangánicas. Otro factor de precipitación es el aumento de pH que cataliza la oxidación del Mn^{++} , esta precipitación se presenta a menudo como consecuencia de un encalado excesivo (Jarvis, 1984).

La mayoría de los investigadores afirman que las plantas pueden utilizar con toda seguridad el manganeso divalente y es casi seguro que no pueden utilizar el manganeso tetravalente. Se desconoce aún la capacidad de las plantas para absorber cualquier proporción apreciable de manganeso en la forma trivalente. La forma tetravalente es muy probable que se encuentre en suelos alcalinos, la forma trivalente probablemente está favorecida por valores de pH del suelo próximos a la neutralidad y la forma divalente se encuentra en suelos ácidos.

Varios experimentos de campo han demostrado que existe una relación entre la disponibilidad del manganeso y el pH del suelo, pareciendo que los valores de pH situados entre 6 y 6.5 son críticos. Los valores inferiores a estas cifras favorecen la reducción y los valores superiores, la oxidación.

En Noruega no se observó respuesta a la fertilización con manganeso en suelos con valores de pH inferiores a 6.3, habiéndose hallado que existen correlaciones de carácter nega

tivo entre el pH del suelo y el manganeso intercambiable (Sillanpää, 1982).

Otro de los factores que afecta la disponibilidad del manganeso para las plantas es la materia orgánica de los suelos. En muchos países se ha encontrado que la deficiencia de manganeso está asociada con las turbas, especialmente las que se encuentran sobre materiales calcáreos. Hay ciertos tipos de materia orgánica que forman compuestos insolubles con el manganeso divalente, o son resultado de la acción bioquímica. También se ha encontrado que la adición de materia orgánica a suelos con escaso contenido en ella, aumenta la disponibilidad de manganeso.

2.2.3. Interacciones

El manganeso interactúa con otros elementos en las plantas y los suelos, y su interrelación con el hierro es de especial importancia, ya que ambos elementos son afectados fuertemente por las condiciones de oxidación-reducción del suelo y por la actividad microbiana.

Muchos autores indican que el hierro y el manganeso están interrelacionados en sus funciones metabólicas, pues la efectividad de uno, está determinada por la presencia proporcional del otro.

Se han conducido experimentos en los que se han reducido los niveles tóxicos de manganeso en hojas de manzano de 100 a 35 ppm mediante la inyección de citrato de hierro

dentro del árbol o por aplicación de Fe-EDTA al suelo. En contraste, otros autores han producido síntomas de deficiencia de manganeso en árboles de aguacate mediante aplicación de Fe-EDDHA en niveles de 50 a 100 gr por árbol de dos años de edad.

Epstein (1972) indica que el manganeso interfiere en el transporte del hierro de las raíces hacia los brotes. La absorción de hierro por las raíces se incrementa al aumentar la concentración de manganeso en suspensiones de arcilla.

Se han realizado experimentos en los que se observa que el manganeso es desplazado rápidamente del Mn-EDTA por el hierro, y el manganeso liberado es inactivado como complejo orgánico en el suelo. En suelos orgánicos la aplicación de $MnSO_4$ corrige la deficiencia de manganeso en las plantas (Olsen, In: Mortvedt et al., 1983).

La deficiencia de manganeso corresponde normalmente a suelos alcalinos o neutros y su toxicidad a suelos ácidos. El encalado de los suelos disminuye la disponibilidad de manganeo y en varios casos se ha indicado que ocasiona deficiencia.

Se han mencionado valores de 25 a 50 ppm de Mn fácilmente reducibles, como representación del límite crítico, por debajo del cual es probable que se desarrollen síntomas de deficiencia, mientras que los suelos que contienen 100 ppm o más de Mn fácilmente reducible, pueden soportar un cultivo normal.

El nivel crítico varía con la relación Fe/Mn y puede estar por debajo de 10 ppm si la relación permanece por encima de 1 (Sillanpää, 1982).

2.3.4 Función.

El manganeso desempeña diversas funciones en las plantas. Es esencial para la fotosíntesis y actúa como un agente catalítico en la reducción del nitrato, donde puede ser reemplazado por el hierro. También actúa como catalizador de reacciones de descarboxilación e hidrólisis. Cuando las plantas sufren una deficiencia de manganeso, su actividad fotosintética disminuye. Por otra parte, la presencia de un exceso de manganeso origina en las plantas un desequilibrio nutritivo, que se manifiesta con los mismos síntomas de la deficiencia de hierro (Sillanpää, 1976).

El manganeso es un constituyente de algunas enzimas respiratorias y de otras enzimas responsables de la síntesis de las proteínas. Ciertas pruebas indican que el elemento interviene en la activación de varias enzimas como peptidasa, fosfatasas, arginasa, carboxilasa, colinesterasa (Tamhane y col., 1978).

2.4 ZINC

2.4.1 Geoquímica

El zinc es un elemento que se encuentra presente en la naturaleza como un único mineral de sulfuro que es la esfalerita. El ion de zinc (Zn^{2+}) sustituye en cierto grado al Mg^{2+} en minerales silicatados, formando 3 tipos de minerales: la zincita, hemimorfita y willemita.

El zinc es mucho más electropositivo que el cobre, de aquí que sea difícil de reducir y, por lo tanto, su presencia en la naturaleza como metal nativo es escasa.

El sulfuro de zinc es más soluble que el sulfuro de cobre. Los compuestos de zinc con los aniones comunes son solubles en medios neutros y ácidos, por lo que el elemento se mueve fácilmente en la mayoría de las aguas naturales. El zinc tiene la capacidad de desplazarse a grandes distancias de su fuente original en el suelo, rocas y corrientes, y debido a este comportamiento se le conoce como uno de los metales pesados de mayor movilidad.

El zinc se encuentra en rocas ígneas máficas debido a su capacidad de sustituir en los silicatos a cationes de tamaño similar como son el Mg^{2+} y el Fe^{2+} . La presencia de este elemento en este tipo de rocas también puede ser como numerosos gránulos casi microscópicos de esfalerita.

Bajo condiciones magmáticas el cloruro de zinc es

uno de los compuestos de metales pesados más volátiles, mucho más que los cloruros de cobre, hecho que ha servido para explicar la gran variación en las concentraciones de zinc en las vas silíceas.

Entre las rocas sedimentarias, las mayores concentraciones de zinc son encontradas en los esquistos como sucede en la mayoría de los metales pesados.

El zinc se mueve, en parte como Zn^{2+} adsorbido en material de granulaci3n fina, y en parte en la estructura de minerales de arcilla, probablemente sustituyendo al Mg^{2+} .

El zinc forma parte de un mineral arcilloso llamado sauconita; en rocas sedimentarias se encuentra formando escasos gránulos de esfalerita que a menudo se encuentran acompañados con galena, especialmente en rocas con carbonato.

El intemperismo de los minerales de zinc proporciona Zn^{2+} a la soluci3n. La concentraci3n de este ion simple, se ve disminuida a valores de pH cercanos a 9. Los iones complejos que pueden formarse con aniones inorgánicos tambi3n son solubles y muy inestables (Chester, 1965). En soluciones básiicas, si la concentraci3n de Zn^{2+} es elevada, se forma el precipitado de $Zn(OH)_2$. Este precipitado es inestable, y se descompone en condiciones naturales en zincita (ZnO). Sin embargo, este compuesto es raro como mineral en virtud de que casi siempre se encuentran suficientes carbonatos o silicatos para precipitar y formar smithsonita ($ZnCO_3$), hemimorfita

($Zn_4(OH)_2 Si_2O_7 \cdot H_2O$), o la willemita (Zn_2SiO_4).

Barnes (1962) demostró que los complejos de zinc pueden ser menos estables que los complejos correspondientes de cobre.

El zinc en los suelos está probablemente presente en mayor grado como iones simples adsorbidos en los minerales arcillosos. Es un elemento con la suficiente movilidad como para transportarse a grandes distancias en aguas subterráneas y superficiales (Krauscopf, 1979).

2.4.2 Formas en el suelo.

La solubilidad del Zn^{2+} es altamente dependiente del pH. A valores bajos de pH, parte del Zn^{2+} puede estar presente en el complejo de intercambio de los suelos, pero a valores de pH superiores, el nivel de Zn^{2+} en solución es tan bajo que muy poco zinc puede ser mantenido en el complejo de intercambio. Con valores de pH por debajo de 7.7, la especie predominante es el Zn^{2+} , y a valores superiores a este pH lo que predomina es la especie neutra $Zn(OH)_2$. El $ZnCO_3$ y el $Zn(OH)_2$ son mucho más solubles que los complejos de zinc en el suelo, los cuales son los responsables de la estabilización del zinc en la mayoría de los suelos.

Los diversos agentes quelantes difieren mucho en su capacidad para quelar el Zn^{2+} en suelos.

Sin embargo, en la escala de pH de los suelos cal-

cáreos el DTPA (Acido Dietilentriaminopentacético) es el agente quelante de mayor efectividad. A valores de pH ligeramente ácidos, el agente quelante más efectivo es el HEDTA (Acido Hidroxietilendiaminotetracético).

La mayoría de las alteraciones en las plantas debidas al zinc se presentan en suelos calcáreos. Se cree que esto es causado por la baja solubilidad de los productos de complejos formados a partir de compuestos del suelo con el zinc, además de los carbonatos que estén presentes. Las deficiencias de zinc han sido acentuadas en suelos orgánicos alcalinizados, aunque el pH del suelo fuese menor de 6.0; probablemente debido a que el zinc fue fijado en la superficie de las partículas de CaCO_3 que no habían reaccionado.

Las condiciones del suelo asociadas con deficiencias de zinc son muy variadas. Como ya se ha mencionado, los suelos calcáreos, orgánicos, y muy a menudo suelos nivelados por máquinas o irrigados por inundación, propician con mucha frecuencia la deficiencia de zinc. Algunas de las condiciones que aparentemente han eliminado la deficiencia de zinc, incluyen grandes cantidades de CaCO_3 libre, bajos niveles de materia orgánica en suelos minerales, y la nivelación de la tierra para irrigación.

Otro factor del suelo que aparentemente puede afectar la disponibilidad del zinc es la temperatura del mismo. Algunos autores han estudiado los efectos de la temperatura

sobre las respuestas de la planta en el campo; también se ha encontrado que las temperaturas de incubación del suelo están directamente relacionadas con la disponibilidad del zinc nativo (Mortvedt et al., 1983).

2.4.3 Interacciones

Una interacción muy conocida es la del fósforo con el zinc, la cual ha sido designada como deficiencia de zinc inducida por el fósforo. Esta alteración en el desarrollo de la planta es comúnmente asociada con altos niveles de fósforo disponible o con aplicación de fósforo en suelo. Los síntomas pueden ser prevenidos o corregidos por fertilización con zinc.

También se ha reportado que la aplicación de nitrógeno puede ser una causa posible de deficiencia de zinc en plantas de cítricos. Se hicieron experimentos en trébol en donde observaron incrementos en la severidad de la deficiencia de zinc cuando incrementaba la aplicación de nitrógeno.

Cuando se ha utilizado algún material alcalinizante conteniendo $MgCO_3$, se han observado también, deficiencias de zinc aunque menos severas. Estos datos indican que la interacción entre el magnesio y el zinc se encuentra en mayor grado en la planta que en el suelo.

Otra interacción importante la encontramos entre el zinc y el hierro. Se ha encontrado que la adición de zinc al

suelo provoca una disminución de hierro en planta (Mortvedt et al., 1983).

Fortun y col. (1983) realizaron un experimento para observar la influencia del ácido húmico sobre la nutrición mineral en plantas de maíz. Estos autores encontraron que la adición de ácido húmico a soluciones nutritivas normales, favoreció la traslocación del nitrógeno y del fósforo, también se encontró un incremento en la asimilación del hierro y del zinc, lo que dio lugar a un aumento en el rendimiento.

El contenido total registrado en los suelos varía normalmente de 10 a 300 ppm. La deficiencia de zinc se da en una amplia variedad de texturas de suelos, pero con más frecuencia en los arenosos. Puede llegar a producirse toxicidad de zinc si se acidifican los suelos para aumentar la disponibilidad de otros elementos, o si se hacen fertilizaciones muy prolongadas con zinc.

El contenido de zinc en las plantas varía normalmente entre 20 y 100 ppm de materia seca, pero fluctúa con la especie de planta y con las partes de ésta, también influye la época de madurez de la planta, la naturaleza del suelo en que ha crecido, las condiciones climáticas y, obviamente, la fertilización con zinc (Sillanpää, 1976).

2.4.4 Función

La importancia del zinc para las plantas se debe al

hecho de ser un constituyente de numerosas enzimas como deshidrogenasas, proteinasas y peptidasas. También interviene en la síntesis del triptofano que es el precursor de las auxinas tales como el ácido indolacético (Tamhane y col., 1978).

Existen varios informes acerca de la disminución en los niveles de ARN y contenido de ribosomas en las células causada por la deficiencia de zinc (Price, In: Mortvedt et al., 1983).

2.5 CALCIO

2.5.1 Geoquímica

El calcio es uno de los principales componentes de la litosfera y ocupa el quinto lugar entre otros elementos. Este elemento se combina fácilmente con todos los ácidos conocidos y forma un gran número de compuestos.

Los minerales silíceos cálcicos comprenden diversos tipos de feldspatos como la anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), los anfíboles de calcio y magnesio ($(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe})_8\text{Si}_9\text{O}_{26}$) como por ejemplo la hornblenda, tremolita y actinolita; los piroxenos ($(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_3$) como la augita e hiperstena. Todos estos minerales están incluidos en diversos tipos de rocas ígneas y metamórficas, por lo tanto, son la fuente original del calcio que existe en el suelo. Cuando estos silicatos se intemperizan bajo la influencia del agua y del ácido carbónico mediante hidrólisis, hidratación y carbonatación, se forman diversas arcillas y quedan en libertad carbonatos o bicarbonatos de calcio, magnesio, sodio y potasio (Teuscher, 1976).

Se han identificado muchas variedades de calcita o carbonato de calcio puro, como por ejemplo la aragonita. La forma más común de calcita es la caliza en cualquiera de sus variedades, las cuales muestran diversos grados de dureza, color y modo de formación. Son muy comunes las combinaciones de calcio y magnesio, como la dolomita, denominada así cuando el contenido de MgCO_3 es del 21%; o la caliza dolomítica si

el contenido de $MgCO_3$ está por debajo del 21%.

La greda es otro carbonato de calcio suave y friable que se origina de las sedimentaciones marinas de conchas calizas microscópicas como las de los foraminíferos que tanto abundaron en el período Terciario.

La marga representa una mezcla de greda, yeso, arena, arcilla y carbonato de calcio que sedimentó directamente del agua, llegando a constituir grandes estratos o capas.

Cuando el carbonato de calcio se calienta al rojo ($850-900^\circ C$) en corriente de aire, se elimina el ácido carbónico y se forma óxido de calcio o cal viva, la cual en contacto con el agua, desprende calor, aumenta de volumen y se transforma en hidróxido de calcio, cal hidratada o apagada.

Otra de las formas comunes de calcio en la naturaleza es el yeso o sulfato de calcio dihidratado, que cuando pierde agua de cristalización se denomina anhidrita.

El fluoruro de calcio, también llamado fluorita, se encuentra en estado cristalino o en masas sólidas y a veces en grandes yacimientos. En el suelo el fluoruro de calcio se forma al descomponerse la fluor-apatita ($Ca_4(CaF)(PO_4)_3$), mediante la acción del ácido carbónico (Teuscher, 1976).

2.5.2 Formas en el suelo

El calcio es un elemento que tiene un papel esencial en la edafogénesis, pues condiciona la evolución de la

materia orgánica, la formación de las arcillas, la naturaleza del complejo húmicoarcilloso y, por lo tanto, la estructura y la estabilidad de ésta.

El calcio en el suelo lo podemos encontrar en forma de minerales primarios complejos, como por ejemplo algunos feldespatos, plagioclasas, anfíboles y piroxenos. También lo encontramos en forma de caliza inactiva como por ejemplo carbonato de calcio que forma granos gruesos o cristalinos; poco soluble en agua que contiene CO_2 , sólo muestra una débil actividad química, por lo que no tiene ninguna acción sobre el complejo de cambio, y constituye una reserva de calcio que va evolucionando hacia una forma más activa.

Al calcio también lo podemos encontrar en forma activa, es decir, la forma más fina de carbonato de calcio que resulta más soluble en agua que contiene CO_2 , formando bicarbonato de calcio con el cual se enriquece la solución del suelo y que, a la vez, interviene en forma progresiva en el complejo de cambio del suelo. La cantidad de calcio intercambiable y soluble dependen del contenido de carbonato de calcio activo y, por otro lado, de la tensión de CO_2 en la atmósfera del suelo, lo cual a la vez, es función de la actividad biológica (Duchaufour, 1978).

Como se mencionó anteriormente, el calcio condiciona la evolución de la materia orgánica en el suelo. Aunque también, los procesos de síntesis que conforman la humificación se hacen más rápidos y más intensos cuanto mejor aireado

y más rico en arcillas, humatos y Fe^{++} haya en el medio; por ejemplo, la fijación de grupos aminados y la polimerización de los polifenoles se ven favorecidos por la abundancia de iones Fe^{++} (Coulson y otros, In: Duchaufour, 1978), además de nitrógeno mineralizado en el medio.

Para que los ácidos húmicos formados puedan conservarse y, por tanto, llegar a su madurez climática, son necesarios ciertos minerales estabilizadores dentro de los cuales los más eficaces son las arcillas y el ion Fe^{++} , que actúan bloqueando el humus y favoreciendo su acumulación, sobre todo en forma de humina; el alófano también desempeña una función parecida en algunos suelos como los Andisoles.

2.5.3 Interacciones

El calcio puede interferir con la nutrición del fósforo y el boro. El calcio puede acentuar las deficiencias de boro, así como disminuir su toxicidad al aumentar las concentraciones de calcio en la solución; para un buen crecimiento vegetal debe existir un cierto balance en la cantidad de calcio y boro que tomen las plantas de la solución del suelo.

El calcio interfiere en la asimilabilidad del fósforo; principalmente cuando el pH del suelo es de 6.0 empiezan reacciones de precipitación entre los iones fosfato y compuestos de calcio solubles, llegando a formarse sales muy insolubles de calcio, frecuentemente cuando el pH del suelo ya está por encima de 7.0 (Buckman, 1970).

En estudios realizados por Carter y Webster en 1979, se enfatizó la importancia de la relación Mg/Ca sobre el rendimiento y crecimiento de raíces de diferentes cultivos, en suelos Solonetz. Los autores encontraron que cuando dicha relación era mayor de 1.0, había una disminución en el rendimiento y en el tamaño de las raíces de plantas de cebada. Otros autores han encontrado estos mismos resultados pero en trigo, maíz y remolachaazucarera.

2.5.4 Función

El calcio **actúa** sobre la estabilidad de las paredes celulares que conduce a disminuir la cohesión entre los constituyentes del tipo de la pectina, hemicelulosa y celulosa.

Este elemento también se considera que interviene en los procesos de absorción y desabsorción de iones por las raíces (Pozuelo, 1980).

El calcio fomenta el desarrollo rápido de la raíz; proporciona un material básico para la neutralización de los ácidos orgánicos, de manera que actúa como un agente desintoxicador.

El aumento en la proporción de Ca/K en la solución del suelo reduce la ingestión de potasio; esto puede ser un efecto perjudicial del encalado excesivo (Tamhane, 1978).

2.6 MAGNESIO

2.6.1 Geoquímica.

La principal fuente de magnesio para los suelos son los minerales como la dolomita, silicatos, talco, olivino, biotita, clorita, augita, serpentina y hornblenda.

El intemperismo de los minerales magnésicos es más lento que el de los cálcicos, consecuentemente las pérdidas por lixiviación no son de consideración.

La dolomita es un mineral en el que encontramos magnesio en forma abundante pues se trata de un carbonato doble de calcio y magnesio. La dolomita es menos soluble en agua saturada de CO_2 , es por eso que con frecuencia se forma un carbonato de magnesio inactivo que eleva muy poco el pH del suelo, sobre todo si se encuentra en forma arenosa.

Desde el punto de vista de la edafogénesis, los minerales pesados ferromagnesianos sufren simultáneamente una hidrólisis y una oxidación, eliminando el hierro ferroso pasándolo a estado férrico, dando arcillas magnésicas casi siempre trioctaédricas, como clorita, serpentina y vermiculita (Duchaufour, 1978).

2.6.2 Formas en el suelo.

El magnesio en el suelo lo vamos a encontrar en forma compleja insoluble en minerales pesados ferromagnesianos donde se encuentra relativamente abundante.

El magnesio en forma intercambiable casi siempre es minoritario con relación al calcio intercambiable. Son poco comunes las cantidades excesivas o deficientes de Mg^{2+} en los suelos. No obstante, en algunos suelos arenosos ácidos se han reportado deficiencias de Mg^{2+} . El encalado, al mismo tiempo que corrige la acidez evita las deficiencias de Mg^{2+} , ya que el material encalante utilizado comúnmente contiene un alto nivel de impurezas de magnesio.

Un contenido alto de magnesio intercambiable en los suelos, algunas veces se asocia con condiciones semejantes a las generadas en los suelos salino-sódicos. Esto puede ser el resultado de la formación del suelo bajo condiciones marinas en las cuales los iones sodio y magnesio son los que predominan.

Para los suelos bien drenados de las regiones áridas, el orden de adsorción de los iones cambiables es normalmente Ca^{++} y Mg^{++} primero, Na^+ , K^+ y NH_4^+ después.

El contenido de magnesio en los suelos es otro de los valores a determinar cuando se quiere conocer el grado de fertilidad de un terreno.

Se supone que las plantas necesitan para su mejor desarrollo una relación definida calcio/magnesio en el suelo y se indican como más favorables las relaciones: 1:1 para la avena y el arroz; 2:1 para las coles; 3:1 para el trigo y de 2 a 3:1 para la mayoría de las plantas.

El óxido, el carbonato y el cloruro de magnesio, aumentan el contenido de nitrógeno en los granos de trigo, pero el cloruro es tóxico en concentraciones elevadas; el sulfato de magnesio no tiene ese efecto y aplicado en pequeñas cantidades mejora el rendimiento (Buckman, 1970).

2.6.3 Interacciones.

Hay muy pocos estudios realizados sobre la relación Mg-Zn en cereales; sin embargo, los que se han efectuado indican la posibilidad de una relación antagónica entre ellos. La fertilización con magnesio y zinc puede afectar también la concentración y asimilabilidad de otros nutrimentos. Algunos investigadores, como Sakal y Singh (1976), observaron una disminución en la concentración de calcio y zinc y un aumento en hierro y magnesio en plantas de trigo con aplicaciones altas de magnesio.

Otros investigadores como Bhatia y col., (1981), han hecho estudios también en plantas de trigo, encontrando que niveles altos de magnesio disminuyeron la respuesta al zinc, lo cual fue parcialmente corregido mediante aplicaciones altas de zinc. La respuesta al magnesio se observó únicamente cuando este elemento fue aplicado solo. Por otra parte, la aplicación de magnesio aumentó las concentraciones de cobre y hierro disponibles, mientras que las de zinc y potasio disminuyeron, y las de nitrógeno y calcio no fueron afectadas.

2.6.4 Función.

El magnesio es un elemento esencial para las plantas puesto que forma parte de la molécula de clorofila. La deficiencia de magnesio provoca, en las plantas, una disminución de xantofilas y carotenos, además de la clorosis debida a la falta de clorofila.

El magnesio interviene además, en el transporte de sustancias características del metabolismo vegetal y en la actividad de varias enzimas catalizadoras del metabolismo de los azúcares (Tamhane, 1978).

2.7 POTASIO

2.7.1 Geoquímica.

El potasio es un elemento muy abundante en la naturaleza, el cual se va a encontrar siempre en estado de combinación con otros elementos, en granitos, gneisses y en la mayoría de las rocas ígneas.

En el suelo mineral este elemento se va a encontrar principalmente incluido en feldespatos, micas y otros minerales silíceos.

Existen grandes yacimientos con algunos feldespatos potásicos como la leucita y la glauconita, siendo este último un silicato hidratado de potasio y hierro con mezclas ocasionales de aluminio, fósforo y otros elementos ($K Fe Si_2 O_6 \cdot nH_2O$). Otros yacimientos de importancia son los que contienen esquisos potásicos y alunita que es un sulfato básico hidratado de potasio, aluminio y algunas veces sílice.

El potasio se encuentra en la naturaleza formando sales dobles o triples como en la carnalita ($MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$), la cainita ($KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$), la polihalita ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$), etc., en los cuales el potasio está en forma de cloruro o sulfato.

Otras fuentes de potasio comercialmente explotables, aunque de menor importancia en comparación con los yacimientos naturales, son por ejemplo, los altos hornos de la industria siderúrgica, cuyo material residual contiene de 3 a 13% de po-

tasio, principalmente en forma de cloruro, sulfato y carbonato (Teuscher, 1976).

2.7.2 Formas en el suelo.

La mayor parte de los suelos minerales, excepto los de naturaleza arenosa, tienen altos contenidos de potasio; la cantidad total de este elemento en el suelo es mayor que la de cualquier otro elemento nutritivo. Las cantidades más frecuentes son del orden de 45,000 a 70,000 Kg/ha de K_2O en la capa arable. La mayor parte de este elemento se encuentra como elemento constitutivo de minerales primarios como feldespatos y micas. Otra parte de potasio se encuentra retenido en formas que son moderadamente asimilables por las plantas. También la competencia de los microorganismos por este elemento, contribuye por lo menos temporalmente a la falta de aprovechamiento por las plantas superiores (Buckman, 1970).

Dentro de las formas complejas o no aprovechables, el potasio constituye una red fija entre las capas de los minerales tales como la biotita y moscovita. De las arcillas, por ejemplo la illita llega a retener hasta un 5% de K_2O en esta forma. El potasio que se encuentra fijado, es muy importante, principalmente en suelos ricos en arcillas del tipo de la illita. En esta forma fijada, el potasio no puede ser reemplazado por los métodos ordinarios de cambio y, en consecuencia, se considera como potasio no cambiante. Esta forma, no obstante, está en equilibrio con las asimilables y, por lo

tanto, actúa como un importante depósito de potasio lentamente aprovechable. La mayor parte de los fertilizantes potásicos son agregados en el momento de la siembra y, por lo general, aplicados en zonas localizadas. Inmediatamente después de disuelto el fertilizante, una gran porción del potasio soluble pasa a ser fijado en los coloides del suelo, y algunas iones cambiabiles se convierten en iones no cambiabiles. El potasio así fijado se va liberando constante aunque lentamente.

El potasio en forma intercambiable tiende a tomar el lugar del potasio en las redes cristalinas de las arcillas, cuando el potasio se pierde por alteración. En esta forma el elemento emigra de las caras externas hacia las caras internas de los estratos de la arcilla, y aunque conserva cierta movilidad, ya no se encuentra en forma cambiabile.

En estado de ion monovalente es la forma en la que el potasio se encuentra adsorbido sobre la superficie externa de las arcillas o en la solución del suelo, siendo también asimilable para las plantas.

La elevación del pH y una gran abundancia de iones Ca^{++} , en la solución del suelo, favorecen la liberación parcial del potasio fijado. El ion calcio, relativamente más voluminoso que el ion potasio, introduciéndose en los espacios interlaminares, provoca una separación de las láminas de las arcillas, lo cual acarrea la liberación de los iones K^+ fijados. La hidratación de las vermiculitas ejerce la misma acción;

mientras que en la desecación se vuelven a cerrar las láminas aprisionando el potasio interlaminar quedando retenido este elemento.

La sustracción del potasio de cambio, por absorción radicular, tiene como consecuencia el paso progresivo de los iones potasio fijados hacia la periferia de las arcillas, y así, hacia la forma de cambio (Duchaufour, 1978).

La montmorillonita y minerales similares fijan el elemento sólo en terreno seco, suponiendo un aprisionamiento de los iones de potasio entre las unidades estructurales que se contraen a medida que el suelo se va secando. Algunos de estos iones aprisionados son liberados cuando nuevamente se humedece el suelo, aunque a una velocidad baja.

La facilidad con la que ciertas arcillas del suelo pueden fijar el potasio varía ampliamente. Por ejemplo, la caolinita y los suelos en donde este mineral arcilloso predomina fijan poco potasio. Por otro lado, arcillas del tipo 2:1, tales como la montmorillonita e illita, fijan el potasio con más fuerza y en mayor cantidad.

En ciertos suelos potásicos suele encontrarse una aparente deficiencia de este elemento debido a la presencia de excesos de carbonato de calcio, por lo tanto, hay una "fijación" inducida por el calcio. Bajo condiciones normales de encalado, éste puede resultar más benéfico que perjudicial puesto que así hay una conservación del potasio que, de otro modo, queda-

ría propenso a filtrarse drásticamente, como ocurre en terrenos ácidos (Buckman, 1970).

2.7.3 Interacciones

En un estudio realizado por Gómez y Hoyos (1983) se observaron ciertas correlaciones entre elementos nutritivos en una gramínea y una leguminosa. Estos autores encontraron diferentes comportamientos y concentraciones de elementos en las dos plantas estudiadas. Además, encuentran correlaciones positivas entre fósforo-potasio y entre nitrógeno-potasio; y una correlación negativa entre potasio-zinc, potasio-manganeso y potasio-hierro. Todas estas correlaciones aparecen más frecuentemente en hojas. La correlación entre fósforo y potasio sólo aparece en Trifolium subterraeum, y el resto de correlaciones aparecen en Avena sativa. Todo esto lo explican por las diferencias funcionales y constitucionales entre las distintas partes de la planta. En cuanto a las deficiencias entre las dos especies, éstas se presentan con más frecuencia en relación al manganeso y al zinc que con los demás elementos.

El potasio parece tener un efecto regulador benéfico sobre la cantidad de nitrógeno que puede absorber la planta. Si hay una carencia de potasio en forma asimilable, puede ocurrir que las plantas tomen mayor cantidad de nitrógeno del necesario.

También se ha observado que si el nivel de potasio

se encuentra por debajo de lo normal, habrá una absorción y utilización deficiente del cobre por las plantas. Si por el contrario hay un exceso de potasio, se reducirá la absorción de magnesio y se observará la deficiencia fisiológica del mismo. También la utilización y absorción del calcio, hierro y manganeso suelen ser interferidas (Teuscher, 1976).

El contenido de potasio intercambiable suele oscilar entre 50 y 1000 ppm, y el contenido de potasio soluble en agua suele ser de 1 a 50 ppm. Debe tenerse en cuenta que en los suelos existe un equilibrio entre las distintas formas de potasio, pasando lentamente el potasio no intercambiable a formas asimilables.

2.7.4 Función.

El potasio es esencial para la formación del almidón y la hidrólisis de los azúcares. Es necesario para el desarrollo de la clorofila, aunque no entre en la formación de su molécula. Ayuda a mantener la permeabilidad de las células.

El potasio es importante en la formación del grano, en los cereales, produciendo semillas densas y voluminosas. Es un activador de varias enzimas implicadas en el metabolismo de los aminoácidos.

La cantidad de potasio total en los suelos es generalmente suficiente para un desarrollo normal de los cultivos (Buckman, 1970).

2.8 SODIO

2.8.1 Geoquímica

La fuente original y en cierto modo la más directa, de la cual provienen las sales en general, son los minerales primarios que se encuentran en los suelos y en las rocas expuestas de la corteza terrestre. Cuando las sales solubles de las regiones áridas y semiáridas se acumulan en exceso, generalmente es el catión sodio el que predomina en la solución del suelo puesto que también se presenta una precipitación de los compuestos de calcio y magnesio.

Aunque la intemperización de los minerales primarios es la fuente directa de casi todas las sales solubles, hay pocos ejemplos en los que se haya acumulado suficiente cantidad de sal de este origen para formar un suelo salino. Los suelos salinos generalmente se encuentran en áreas que reciben sales de otras localidades, siendo el agua el principal factor de acarreo. El océano puede ser la fuente de sales en aquellos suelos en los que el material original está constituido por depósitos marinos que se asentaron durante períodos geológicos antiguos y que a partir de entonces han emergido. El océano es también la fuente de sales en los suelos bajos que se encuentran a lo largo de las costas (Richards, 1974).

2.8.2 Formas en el suelo.

Aunque la falta de sodio no se considere un problema, sí puede serlo su exceso. Los suelos alcalinos y sódicos

poseen características físicas inadecuadas, por su facilidad a formar suspensiones coloidales, es decir, el sodio intercambiable en estos suelos tiene una marcada influencia en sus propiedades físicas y químicas al grado de que el suelo tiende a ser más disperso y el pH aumenta a veces hasta el valor de 11.

La solución del suelo en suelos sódicos no salinos, aunque relativamente baja en sales solubles, tiene una composición que difiere considerablemente de la de los suelos normales y de los salinos. Mientras los aniones presentes consisten en su mayor parte de cloruros, sulfatos y bicarbonatos. A pH muy elevados y en presencia de iones carbonato, el calcio y magnesio se precipitan, de manera que las soluciones de suelos sódicos no salinos, usualmente contienen sólo pequeñas cantidades de estos cationes, predominando el sodio. En estos casos es muy importante conocer el contenido en sodio del suelo para realizar los tratamientos correctores adecuados.

Normalmente se consideran aceptables para muchos cultivos, los contenidos en sodio asimilable comprendidos entre 1 y 50 ppm. En algunas ocasiones, el efecto del sodio puede evaluarse mejor por medio del "porcentaje de sodio intercambiable" (PSI). Este PSI se define como:

$$\text{PSI} = \frac{\text{meq Na intercambiable}/100 \text{ g de suelo}}{\text{meq capacidad de intercambio catiónico}/100 \text{ g de suelo}} (100)$$

Generalmente se alcanzan niveles tóxicos de alcalinidad cuando el PSI es superior al 15%. Dada la preferencia de absorción de calcio y magnesio sobre el sodio, es necesario

que el contenido en sodio soluble sea muy alto para alcanzar dicho valor de PSI.

Otro índice adecuado para la evaluación de los posibles efectos del contenido en sodio de los suelos es la "relación de absorción de sodio" (RAS), el cual se define así:

$$\text{RAS} = \sqrt{\frac{\text{Na}}{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

Normalmente se recomienda que se añada algún "mejorador" a los suelos cuando el RAS es superior a 8 (Richards, 1974).

El hidróxido de sodio y el carbonato de sodio en pequeñas cantidades, aumentan el contenido de nitrógeno en el grano de trigo y mejoran el rendimiento; el sulfato de sodio y el cloruro de sodio mejoran exclusivamente el rendimiento, pero sólo en concentraciones bajas. El exceso de sodio es perjudicial a la mayoría de las plantas; pero existen otras como la salicornia que se desarrollan mejor si el suelo contiene cantidades apreciables de sodio.

Sin embargo, la salinidad es la amenaza constante de mayor importancia para la continuidad de la agricultura bajo riego. Las tierras afectadas por sales generalmente pueden hacerse productivas por rehabilitación y buen manejo de ellas, aunque algunas veces los costos de la recuperación incrementan grandemente los costos de producción (Jiménez, 1978).

2.9 ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA.

De los ocho nutrimentos considerados en este trabajo, seis de ellos fueron cuantificados mediante esta técnica de espectrofotometría de absorción atómica, que fueron hierro, cobre, zinc, manganeso, calcio y magnesio.

Con esta técnica se mide la absorción de la radiación producida cuando la luz de una longitud de onda característica, atraviesa una flama que contiene a la muestra cuyos elementos se encuentran en estado atómico o basal (no excitados y no ionizados).

Los átomos tienen diferente capacidad para absorber luz en varias longitudes de onda específicas (líneas alternas), lo cual es utilizado como un amplio recurso metodológico.

La instrumentación usada para la absorción atómica es similar a la usada para emisión de flama, pero el mecanismo de la absorción es esencialmente inverso al de la emisión.

El funcionamiento del mecanismo de absorción es el siguiente: la luz emitida por una lámpara atraviesa la flama en la que se atomiza la muestra, pasa por un monocromador para separar las radiaciones de longitud de onda característica del resto de la radiación emitida; por último, la luz llega a una celda fotoeléctrica y la señal es amplificada por un sistema electrónico y enviada a un galvanómetro y, si se desea, a un registrador automático. La lámpara generalmente utilizada es la de cátodo hueco, la cual consiste en un tubo de descarga

eléctrica lleno de un gas noble (neón o argón) a baja presión, cuyo cátodo contiene el elemento que emite precisamente la longitud de onda característica que interesa. El ánodo suele ser de wolfranio o níquel; el frente de la cara de las lámparas está hecho de cuarzo o de varios tipos de vidrios, dependiendo del rango de longitud de onda que debe transmitir. Si la lámpara sirve para la determinación de varios elementos, el cátodo está formado por una aleación.

Para algunos elementos, tales como cesio o rubidio, hay otro tipo de lámparas llamadas de vapor de descarga que producen emisión pasando una corriente eléctrica a través de un vapor compuesto de una mínima parte del elemento de interés. Para el uso de este tipo de lámparas se requiere de montaduras especiales y fuentes de poder, además de que requieren de un período de calentamiento más largo.

Para atomizar las muestras que se van a analizar, se utiliza generalmente flama de temperatura definida, y de ésta depende el estado de los elementos en la flama, es decir, hay algunos elementos que requieren una llama de óxido nitroso y acetileno que alcanza una mayor temperatura que la de oxígeno y acetileno. La flama debe tener una gran estabilidad y emitir poca intensidad de luz a la longitud de onda a que deben realizarse las mediciones.

Las muestras se introducen al nebulizador por capilaridad mediante un efecto de succión que tiene lugar al coincidir en la salida del capilar una corriente de gases. Generalmente, la

salida del capilar no vierte la muestra a la llama directamente, sino a una cámara de pulverización, en la que se obtiene un aerosol con la muestra y alguno de los gases que alimentan la flama.

La intensidad de la radiación es medida con y sin la muestra para obtener una lectura del porcentaje de absorción, y la concentración del elemento de interés, es determinado por comparación con la lectura obtenida de un estándar o serie de estándares.

Esta técnica de absorción atómica es altamente sensible, pueden ser determinados muchos elementos a niveles de partes por millón o menos. A este respecto, es, por lo menos, competitivo con cualquier otro procedimiento analítico usado para análisis elemental, obteniendo una alta precisión y una buena exactitud. Sin embargo, con la técnica de absorción atómica existen ciertos tipos de interferencias, una de ellas es la espectral y que se refiere a la absorción de radiación por otros elementos presentes en la muestra que no son el elemento de interés, aunque por lo estrecho de las bandas de absorción, este tipo de interferencia suele ser raro.

Las interferencias químicas se originan por la dificultad que existe a veces en producir átomos metálicos neutros a partir de los compuestos o iones presentes en la muestra original. La rapidez de este paso se ve afectado por los aniones que se encuentran combinados con el elemento en estudio, con diferentes grados de estabilidad y que por lo tanto, presentan dificultades para "romperse" (Christian. 1970).

2.10 MUESTREO Y VARIABILIDAD

Para obtener una buena estimación de los valores medios de las propiedades del suelo en una área de suelo de cualquier tamaño, es necesario la configuración de un esquema de muestreo completo, es decir, óptimo y económico. Este esquema de muestreo debe reunir ciertas características, entre ellas está la de ser eficiente, o sea, en el que se involucren no más de las repeticiones que sean necesarias para obtener la precisión deseada.

El diseño de un esquema de muestreo eficiente, requiere de un conocimiento previo de la variación que existe en los suelos de la región en estudio, lo cual sólo puede ser obtenido mediante un muestreo preliminar.

Uno de los grandes problemas dentro de la investigación edafológica es el analizar la variabilidad de las propiedades del suelo. Aún estimando el tamaño de muestra necesario para una determinada característica del suelo con un nivel de precisión y confianza adecuado, cabría la duda de qué tan grande tendría que ser una zona de muestreo si sabemos por estudios realizados sobre este tema, que las diferentes características del suelo tienen diferente variabilidad y si nuestro propósito es hacer estudios de orden físico, químico, morfológico o hidrológico, qué tan grande tendría que ser la zona de muestreo para que los valores de las medias de todas las características del suelo caigan, dentro de un cierto margen,

alrededor de las medias reales o verdaderas.

Warrick y Nielsen (1980) citados por Afzal y Nortcliff (1982), realizaron un estudio para determinar el tamaño de muestra necesario para siete propiedades del suelo texturales e hidrológicas. Los autores llegaron a sugerir una escala del número de muestras en una hectárea de terreno y fue la siguiente: sólo necesitaban 2 muestras para hacer las determinaciones de densidades reales y aparentes, sin embargo, para las determinaciones de conductividad hidráulica se necesitaban hasta 1300 muestras, haciendo sus estimaciones dentro de un intervalo de confianza del 90%.

En el estudio realizado por Afzal y Nortcliff (1982), como primera etapa examinan la variabilidad de cuatro micronutrientes en forma extractable (hierro, cobre, zinc y manganeso) en 3 zonas de una hectárea de terreno. Como segunda etapa, determinan el número de muestras requerido para llegar a estimar la media muestral dentro de un intervalo de confianza del 95% o con una probabilidad de error del 0.05. Los autores encontraron grandes contrastes entre las diferentes zonas de estudio y entre los micronutrientes. Por ejemplo, el hierro y el manganeso demostraron tener una variabilidad espacial más grande por lo que, para estos 2 elementos, se requerirían zonas de muestreo más grandes. En cambio, el cobre y el zinc tuvieron una variabilidad espacial menor, por lo tanto, los tamaños de muestra pueden ser más pequeños que para el caso de los otros dos elementos.

Para llevar a cabo la segunda parte de este trabajo, los autores Khan y Nortcliff, diseñan su muestreo en cada una de las hectáreas haciendo enrejados y localizando puntos de muestreo en forma estratificada y sistemática, habiendo hecho previamente sus estimaciones sobre el tamaño de muestra requerido para obtener medias dentro de intervalos de confianza del 90% del valor correcto o a un nivel de significancia del 0.10. Después de haber realizado todo el estudio, los autores llegan a conclusiones de que sólo necesitan 3 muestras en una hectárea para estimar el valor medio del contenido de cobre, pero en cambio, se necesitan 645 muestras para llegar a estimar el valor medio del contenido en hierro.

Estos resultados dan lugar a tomar decisiones un poco más prácticas, sobre todo cuando se tienen que hacer estudios de regiones más extensas y en donde resulta casi imposible realizar un muestreo previo al esquema de muestreo diseñado, ya que el tiempo, el esfuerzo y los recursos económicos toman un carácter de suma importancia para tal efecto.

Se han realizado numerosos estudios sobre diferentes técnicas de muestreo en suelos, por ejemplo, los realizados por McBratney y Webster (1983) y Webster y Burgess (1984) citados por Webster y Nortcliff (1984), todos estos estudios estuvieron basados en las técnicas de muestreo clásico para ver la eficiencia de cada una de ellas, pero el problema mayor que existe en suelos es la substancial dependencia espacial entre las diferentes propiedades que caracterizan el suelo.

Por lo tanto, tenemos que estar concientes de que si nos interesa tener un buen grado de precisión en nuestros estudios, debemos poner siempre en equilibrio el nivel de precisión deseado frente a los recursos económicos disponibles, y todo esto con base en los objetivos que se persigan en la investigación.

2.11 ANALISIS MULTIVARIADO

2.11.1 Análisis Discriminante.

La construcción de diversos métodos multivariados constituye una solución buena, útil y necesaria a los diversos problemas prácticos que se presentan en las diferentes áreas de investigación. Estos métodos han sido desarrollados y estudiados de una manera organizada y sistemática, de tal forma que, en la mayoría de las investigaciones es muy común la presencia de un modelo multivariado normal. Entre los métodos multivariados está el Análisis Discriminante que tiene lugar en situaciones donde a un individuo se le miden diversas características para ser identificado como elemento perteneciente a alguna de las posibles poblaciones previamente determinadas. En estas situaciones nos podemos encontrar con ciertas características afines, como por ejemplo:

- a) Se desea determinar la pertenencia de un individuo a una de las poblaciones definidas a priori, es decir, no se desea identificar a las poblaciones sino discriminar a los individuos.
- b) Las variables o número de mediciones requeridas para caracterizar a un individuo sirven como indicadoras, es decir, se trata de mediciones que se espera varíen entre las poblaciones y permitan identificar la población de la que proviene el individuo.

c) Por las características mismas del problema, existe la posibilidad de cometer el error de no asignar correctamente al individuo, lo cual generalmente trae como consecuencia pérdidas o mayores costos.

Para este tipo de análisis, es necesario contar con individuos que pertenezcan a las poblaciones de interés, que servirán para diseñar la regla de asignación; así, cuando se tengan nuevos individuos puedan ser clasificados en alguna de las poblaciones de acuerdo a ésta. El análisis discriminante involucra una variable categórica dependiente y una serie de variables independientes y numéricas. La variable dependiente categórica estará constituida por las poblaciones o grupos de clasificación.

Del análisis discriminante se origina la combinación lineal de dos o más variables independientes que servirán para discriminar mejor entre los grupos previamente definidos. Esto se lleva a cabo mediante la regla estadística de maximizar la varianza entre grupos en relación con la varianza que pueda existir dentro de los grupos.

La combinación lineal para un análisis discriminante se obtiene a partir de una ecuación que toma la siguiente forma:

$$Z = W_1 X_1 + W_2 X_2 + \dots + W_n X_n$$

en donde:

Z es el puntaje o "score" discriminante.

W es el peso discriminante.

X son las variables independientes.

En este análisis la hipótesis a probar es: no existe diferencia entre medias de los grupos o poblaciones.

De acuerdo con la ecuación anterior se multiplica cada variable independiente por su peso correspondiente y se suman estos productos, dando como resultado un valor llamado "score" discriminante o puntaje, obtenido para cada uno de los individuos en el análisis. Si promediamos todos estos "scores" para una población o grupo determinado obtenemos la media grupal a la que se le llama centroide. Los centroides indican la localización más típica de un individuo para un grupo en particular.

La prueba de significancia estadística de las funciones discriminantes evalúa la distancia que separa a los centroides de los grupos. Se calcula comparando la distribución de los "scores" discriminantes para los 2 o más grupos. Si el traslape en las distribuciones es pequeña, la función discriminante separa bien los grupos; si el traslape es grande, la función es un discriminador pobre entre los grupos.

Para la realización del análisis discriminante debemos considerar los siguientes supuestos:

- a) Las variables se distribuyen en forma normal y multivariada.

- b) Las estructuras de covarianzas y dispersión iguales para los grupos (aunque desconocidas).
- c) Costos iguales en caso de errores en la clasificación.

El análisis no es muy sensible a la violación de alguno de los supuestos, especialmente si se trabaja con tamaños de muestra grandes.

Por lo tanto, el análisis discriminante persigue los siguientes objetivos:

- a) Determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los grupos definidos a priori.
- b) Establecer procedimientos para clasificar a los individuos o elementos dentro de los grupos con base en sus "scores" o puntajes obtenidos de una serie de variables.
- c) Determinar cuáles de las variables independientes aportan más para establecer las diferencias entre las medias de los grupos (Hair et al., 1979).

El uso del análisis discriminante en el área de suelos se ha venido haciendo desde hace algunos años. Por ejemplo, en 1974, Paton y Little (citados por Berg, 1980) usaron el análisis para distinguir cuáles de los parámetros pedológicos físicos y químicos fueron los más útiles para diferenciar entre 4 unidades sedimentarias.

Pavlik y Hole en 1977 (citados por Berg, 1980) discriminaron entre 2 tipos de suelo, uno estaba sobre pequeñas colinas y el otro en una planicie. Las propiedades del suelo que fueron utilizadas en este estudio y que están relacionadas con

la geoforma fueron: estructura, contenido de arcilla en el horizonte B_2 , contenido de materia orgánica en el A_1 , el color del suelo en los horizontes A_1 y A_2 , profundidad del lecho rocoso, profundidad de la zona de moteado, y la relación de arcilla en los horizontes A_1/B_2 .

Berg en 1980, utilizó el análisis para determinar qué variables pedogenéticas tienen la mayor capacidad para discriminar entre suelos de diferente edad.

Henderson y Ragg en 1980, emplearon esta técnica estadística para distinguir entre cuatro unidades taxonómicas de suelos gley o en estado de gleización, midiendo propiedades morfológicas, hidromórficas y litológicas.

2.11.2 Análisis de Correlación Canónica.

El análisis de correlación canónica es otro de los modelos estadísticos multivariados que facilita el estudio de interrelaciones entre grupos de variables criterio (dependientes) y grupos de variables predictoras (independientes).

Los objetivos de este análisis son:

- a) Determinar si dos grupos de variables, es decir, las mediciones hechas sobre los mismos objetos, son independientes uno de otro; determinando la magnitud de la relación que pueda existir entre los 2 grupos.
- b) Obtener los pesos que corresponden a cada uno de los grupos de variables criterio y predictoras, de tal manera que las combinaciones lineales de ellos estén correlacionadas al máximo.

- c) Derivar las funciones lineales adicionales que maximicen la correlación sobrante o remanente, a condición de que éstas sean independientes del grupo de componentes lineales precedentes.
- d) Explicar la naturaleza de cualquier relación existente entre los grupos de variables criterio y predictoras, lo cual generalmente se hace midiendo las contribuciones relativas de cada variable a las funciones canónicas que fueron obtenidas.

Mediante el uso de esta técnica es posible desarrollar un número de funciones canónicas independientes que maximicen la correlación entre los componentes lineales de los grupos de variables criterio y predictoras.

Para que este análisis pueda llevarse a cabo es necesario una serie de datos u observaciones conformadas en 2 grupos. Alguno de esos grupos puede ser obtenido de observaciones teóricas, al menos para explicar que este grupo podría ser definido como el grupo de variables independientes.

El proceso lógico del análisis de correlación canónica involucra la derivación de una combinación lineal de variables procedente de cada uno de los 2 grupos de variables, de tal manera que la correlación entre las 2 combinaciones lineales es maximizada; pero el análisis no termina aquí, sino que también pueden ser derivadas un cierto número de pares de combinaciones lineales. El número máximo de funciones ca

nónicas que puede ser obtenido de los grupos de variables es igual al número de variables en el grupo de datos más pequeño, dependiente o independiente.

El análisis de correlación canónica está enfocado a obtener la cantidad máxima de la relación entre los 2 grupos de variables, más que dentro de un simple grupo de éstas. El resultado es que el primer par de funciones canónicas son derivadas de tal manera que es el que tiene la más alta intercorrelación posible. El segundo par de funciones canónicas se derivará de tal forma que exprese la cantidad máxima de relación entre los 2 grupos de variables, la cual no fue "contabilizada" para formar el primer par de funciones. Posteriormente, los pares sucesivos de funciones canónicas están basados en la varianza residual y sus correlaciones respectivas, lo cual va a reflejar la interrelación entre las funciones, haciéndose cada vez más pequeña cada una de las funciones adicionales.

Las funciones que se basan en la varianza residual son funciones ortogonalmente independientes de las otras funciones derivadas del mismo grupo de datos.

Los cuatro tipos de información que pueden obtenerse mediante un análisis de correlación canónica son:

- a) Las funciones canónicas.
- b) Las correlaciones canónicas que existen entre las funciones.

- c) La significancia estadística de las correlaciones.
- d) Las medidas de redundancia de la varianza compartida entre las funciones canónicas.

Cada función canónica consiste de un par de funciones, una correspondiente a cada uno de los subgrupos de variables que entraron en el análisis, es decir, una representa a las variables independientes y la otra a las variables dependientes. Las funciones canónicas son interpretadas en base a un grupo de coeficientes de correlación, generalmente referidos como pesos acumulativos sobre la estructura de las correlaciones. Esos coeficientes reflejan la importancia de las variables originales al derivarse las funciones canónicas, de tal manera que el coeficiente más grande es el más importante en la derivación de las funciones canónicas.

La fuerza de relación entre las variables a través de sus combinaciones lineales se refleja mediante la correlación canónica.

Los pesos acumulativos son una medida de la correlación lineal simple entre las variables independientes y sus componentes lineales respectivas. Las correlaciones canónicas expresadas al cuadrado se refieren a las raíces canónicas o "eigenvalores", lo cual da una estimación de la cantidad de varianza dividida entre las respectivas componentes lineales óptimamente pesadas de variables dependientes e independientes.

Los índices de redundancia son medidas acerca de la cantidad de varianza compartida entre los 2 grupos de variables. Esta varianza está explicada a través de los componentes lineales obtenidos para ambos grupos de variables, dependientes e independientes (Hair et al., 1979).

3. DESCRIPCION GENERAL DE LAS AREAS DE ESTUDIO.

3.1 ESTADO DE GUANAJUATO.

3.1.1 Municipio de Salamanca.

Localización.

El muestreo del área de la parte sur del Municipio de Salamanca, Gto., cubre una superficie aproximada de 28,137 has., localizadas entre los 20° 25' y 20° 35' de latitud norte y los 101° 00' y 101° 20' de longitud oeste; limitada al sur por los municipios de Jaral del Progreso y Valle de Santiago, al este con los municipios de Villagrán y Cortazar, al oeste con el Municipio de Pueblo Nuevo.

Geología.

Los aluviones del Cuaternario cubren aproximadamente el 75% del área de estudio y el 35% restante corresponde al Terciario, formado por rocas ígneas como andesita, riolita, toba, basalto y brecha volcánica (In: Cram y Noguez, 1985).

Hidrología.

La zona de estudio se encuentra irrigada principalmente por los ríos Lerma y de La Laja que fluyen de SE a NO, también existen una serie de arroyos provenientes de la Sierra del Copal localizada al norte y por la parte volcánica del sur del municipio. Estos escurrimientos sirven para abastecer al sistema de riego.

Fisiografía.

El área pertenece a la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico y a la subprovincia del Bajío Guanajuatense, integrada por lomeríos, serranías, valles estructurales y una serie de planicies de origen lacustre con depósitos de aluvión, provenientes del Río Lerma y de La Laja principalmente.

Vegetación.

La vegetación que se encuentra en esta área es matorral subtropical y halófito, así como también encontramos agricultura de temporal y de riego.

Los principales componentes del matorral subtropical son: Estrato superior, Prosopis laevigata (mezquite), Lamairoce-reus sp. (Órgano), Ipomea sp. (casahuate), Opuntia sp. (nopal), Acacia sp. (huizache); Estrato medio, Acacia sp. (hui-zache), Mimosa sp. (uña de gato), Salvia sp., Forestiera sp. (acibuche); Estrato inferior, Boutelowa sp., Chloris sp., Croton sp., Eragrostis sp., Asclepia sp.

Los principales componentes del matorral halófilo son: Distichlis spicata, Hilaria sp. y Buchloe sp.

El Municipio de Salamanca tiene muchos cultivos de importancia a nivel nacional, entre los cuales se encuentran el trigo, sorgo y alfalfa, principalmente (In: Cram y Noguez, 1985).

Clima

El clima predominante en el área de estudio es el (A)c(W) que es seco, con una lluvia invernal menor a 5 mm, y una precipitación anual de 675 y 700 mm. El mes más cálido es mayo con una temperatura media entre 20 y 25° C y el mes más frío es enero con temperaturas medias menores de los 10° C (Tama-yo, 1975).

Suelos.

De acuerdo con la clasificación de suelos de la FAO, modificada por CENETAL (1970), las unidades de suelos presentes en el área son: Vertisoles pélicos, Feozems háplicos y Litosoles (Cram y Noguez, 1985).

3.1.2 Municipio de Purísima de Bustos.

Localización.

El área de estudio situada en la zona oeste del Estado de Guanajuato corresponde a las tres cuartas partes del Municipio de Purísima de Bustos y tiene una extensión aproximada de 269 km², localizada entre los 20° 47' y 21° 02' de latitud norte y los 101° 52' y 102° 05' de longitud oeste; limitada al norte por el Municipio de León, al sur por el Municipio de Manuel Doblado, al este por el Municipio de San Francisco del Rincón y al oeste por el Estado de Jalisco.

Geología.

El área de estudio pertenece al Cenozoico (Terciario y

Cuaternario), los tipos de roca que predominan son la riolita, basalto, arenisca, arenisca-conglomerado; asimismo se encuentran los aluviones que provienen del Pleistoceno y Holoceno (In: Corral y Pérez, 1986).

Hidrología.

El Municipio de Purísima de Bustos lo cruzan las subcuencas del Río Turbio-Presa, Palote y Río Turbio-Manuel Doblado.

Fisiografía.

El área de estudio se encuentra localizada en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, entre las subprovincias del Bajío Guanajuatense y los Altos de Jalisco, las formas que predominan son las llanuras con tepetates y aluviones profundos.

Vegetación.

El tipo de vegetación que se presenta es selva baja espinaosa perennifolia (Miranda y Hernández, 1963), y Flores, M. G. et al., (1971), lo clasifican como mezquital.

Los principales componentes de esta comunidad son: Estrato superior Prosopis laevigata (mezquite), Ipomoea sp. (cahuate), Lemniscocereus sp. (órgano), Opuntia sp. (nopal), Acacia sp. (huizache); Estrato medio, Opuntia sp. (nopal), Prosopis laevigata (mezquite), Acacia sp. (huizache), Celtis pallida (granjero), Mimosa sp. (uña de gato), Forestiera sp.

(acibuche); Estrato inferior, Boutelona sp. Aristida sp. Hilaria sp., Cenchrus sp., Stipa sp. (In: Corral y Pérez, 1986).

Clima.

El clima de la región es un (A) C (Wo) (w) a (e) g que corresponde a un semicálido, el más cálido de los templados, subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual entre 16.9° C y 19.7° C, y un promedio en la precipitación de 763.8 mm al año.

Suelos.

Las unidades de suelos presentes en el área son: Vertisoles pélicos, Planosoles eutríficos, Feozems háplicos y Litosoles (Corral y Pérez, 1986).

3.2 Estado de Veracruz.

3.2.1 Municipio de Playa Vicente.

Localización.

El área de estudio se encuentra ubicada dentro del Municipio de Playa Vicente, perteneciente a la región sur del Estado de Veracruz, se localiza entre los 17° 43' y 18° 00' de latitud norte y los 95° 33' y 95° 55' de longitud oeste.

Geología.

La porción centro y norte del área está dominada por terrenos del Mioceno; en algunas porciones existen también de-

depósitos aluviales del Reciente (In: Hernández, S. G., 1983).

Hidrología.

El área de estudio está ubicada dentro de la cuenca del Río Papaloapan; la principal corriente que atraviesa la zona es el Río Playa Vicente formado por las confluencias de los ríos Manso y Cazones.

Fisiografía.

La zona se localiza en la provincia fisiográfica de la planicie costera del Golfo de México. Los límites sur del área estudiada los forman las estribaciones de la Sierra Madre Oriental, mientras que el límite noreste está dado por los depósitos volcánicos de la Sierra de Los Tuxtlas; al poniente, el límite lo constituye el Río Playa Vicente.

Vegetación.

La vegetación natural está fuertemente perturbada, ya que la región estuvo cubierta inicialmente por selva alta perennifolia y selva baja subperennifolia; de estas selvas quedan sólo vestigios al sur de la zona de estudio. Actualmente se caracteriza por ser en su mayor parte una zona de pastos inducidos y de actividades agrícolas, especialmente dedicadas al maíz y frijol.

Clima.

El clima de la zona es el Am(i')g, que corresponde a un cálido húmedo con lluvias dominantes en verano, con una pre-

precipitación media anual de 2010.2 mm y una temperatura media anual de 25.8° C.

Suelos.

El Río Playa Vicente juega un papel preponderante en la génesis de los suelos, especialmente en la zona de aluviones. Existe por lo tanto, una variación considerable de las características de los suelos de la región. Los Grandes Grupos de suelos que se detectaron fueron los siguientes: Cambisoles, Luvisoles, Fluvisoles, Acrisoles y Vertisoles (Hernández, 1983).

3.2.2 Municipio de San Juan Evangelista.

Localización.

El área de estudio se encuentra ubicado dentro del Municipio de San Juan Evangelista que pertenece a la región sur del Estado de Veracruz y que a la vez colinda con el Estado de Oaxaca, con una superficie aproximada de 36,000 ha., localizadas entre 17° 30' y 18° 15' de latitud norte y los 95° 00' y 95° 40' de longitud oeste.

Geología.

La mayor parte del área se encuentra cubierta por depósitos del Pleistoceno y Mioceno; consistente en materiales desintegrados de rocas de esquistos, gneiss y granito que son transportados desde la Sierra Madre Oriental y la Sierra

Madre del Sur por distintos afluentes del Papaloapan hacia la Llanura costera del Golfo. Cabe mencionar que el Mioceno tuvo una época en la que hubo transgresiones marinas y actividad volcánica que se observan en la zona (In: Hernández, S. G., 1983).

Hidrología.

El área de estudio está dividida por el Río San Juan Evangelista, que fluye con una dirección aproximada nortee-noreste hacia la población del mismo nombre.

Fisiografía.

La zona de San Juan Evangelista se encuentra a 80 km de la costa, entre los 50 y 100 m de altitud y se caracteriza por grandes áreas de topografía abrupta con numerosas pendientes del orden de arriba del 20%.

Vegetación.

La vegetación natural del área consistía originalmente en una selva alta perennifolia y subperennifolia; sin embargo, ésta ha sido fuertemente perturbada, principalmente por actividades ganaderas, encontrándose actualmente sólo algunos relictos diseminados de selva. El área se encuentra cubierta por pastos inducidos (In: Hernández, S. G., 1983).

Clima.

El clima de la zona es un $Aw_2''(w)(i)g$ que corresponde

al más húmedo de los calientes subhúmedos, con un promedio de precipitación anual de 1,309.1 mm y temperatura media anual de 24.9° C.

Suelos.

La mayoría de los suelos del área se originaron principalmente como resultado de la erosión y depósitos de materiales geológicos de diferente naturaleza y edad.

Los suelos corresponden a los siguientes Grandes Grupos, según la clasificación de la FAO-UNESCO (1970): Cambisoles, Feozem, Luvisoles y Regosoles, suelos con horizontes de gley y algunos Ferralsoles (Hernández, 1983).

3.3 ESTADO DE SONORA

3.3.1 Municipio de Hermosillo.

Localización.

La zona de estudio de aproximadamente 120 km², se localiza en un distrito de riego y zona aledaña de la costa del Estado de Sonora conocido como El Sahuaral, al sur de Hermosillo, dentro del municipio del mismo nombre.

Las coordenadas de esta zona son 28° 15' y 28° 24' de latitud norte y 111° 11' y 111° 20' de longitud oeste.

El nombre de Sahuaral procede de una población a un kilómetro al oeste del área de estudio. La zona está junto a una carretera pavimentada que llega hasta Bahía de Kino y entra en Los Arrieros con la ruta federal No. 15 que comunica Hermosillo a Guaymas. La zona de riego del Sahuaral tiene un desarrollo agrícola que data desde hace 20 años.

Geología.

La llanura del Sahuaral está formada por aluvión del Cuaternario traído por el Río Sonora cuando este escurrimiento tenía su desembocadura más al sur de su posición presente. El material aluvial es de origen granítico traído de la Sierra Madre Occidental por el Río Sonora, antes de su desplazamiento hacia el norte el cual ha sepultado la planicie del Sahuaral y las faldas de cerros aledaños (López-Ramos, E., 1974).

Al este de El Tesal se observa una formación andesítica del Terciario. Los montículos que limitan la zona al oeste son volcanes del Cuaternario que aparecieron al mismo tiempo que los aluviones de la planicie. Este vulcanismo del Cuaternario produce zonas termales y hay pozos utilizados para riego que son de agua caliente pero sin problemas de sales.

Hidrología.

La zona tiene una serie de escurrimientos dendríticos cortos e intermitentes, procedentes de las elevaciones volcánicas circundantes que sólo llevan agua durante las esporádicas lluvias de invierno y verano. Los arroyos desaparecen al llegar a la planicie y se infiltran sirviendo de recarga del manto freático o bien continúan hacia la costa; pero dentro del distrito de riego, las aguas de escurrimiento forman parte de canales y drenes, sin ser posible ver los cauces naturales ya que esta zona ha sido nivelada por maquinaria.

El agua para riego procede del subsuelo y se extrae de pozos, algunos de los cuales son termales; la zona es de reciente explotación y todavía no presenta problemas de salinidad con excepción de los paleo-esteros al noroeste del distrito de riego (CETENAL, 1974).

Fisiografía.

La zona consiste en un valle sepultado por aluviones de 50 m.s.n.m. rodeado de lomeríos y volcanes de 200 a 350 m.s.n.m., con alineación general norte-sur. La zona de riego

marca la ruptura de pendiente entre el material ígneo de los lomeríos y el valle de material coluvio-aluvial (CETENAL, 1974).

Vegetación.

La vegetación de la llanura dentro del distrito de riego es inducida por el hombre y posterior a 20 años, consiste en algodón, cártamo, alfalfa, trigo y frutales (cítricos, manzanos, perales y nogales). La vegetación natural debió ser originalmente de matorral xerófilo con matorral crasicaule, predominando especies como la gobernadora, Larrea tridentata; ocotillo, Fouquieria splendens; cholla, Opuntia spp.; además biznagas, jojoba, compuestas y gramíneas anuales incluyendo al Amaranthus (comunicación personal de G. Cassiano V.).

Clima.

El clima del área es BWhw(x) es decir, muy árido, cálido y con precipitación predominantemente en verano y otoño (julio, agosto y septiembre), no obstante entre 10 y 15% de la precipitación es de invierno, conocida como las "equipatas". Esta lluvia invernal es más efectiva que la de verano por existir una menor evaporación en la época más fría. La precipitación anual es de 244.9 mm y la temperatura media anual es de 25.2° C. Siendo la temperatura media más baja en enero con 17.2° C y la media más alta en julio con 32.6° C.

Suelos.

Los suelos son principalmente Fluvisoles, es decir, sue los derivados de aluviones con capas alternadas de material pero en los cuales no es posible observar diferenciaciones por horizontes (comunicación personal de G. Cassiano V. y G. Hernández S.).

4. METODOLOGIA

4.1 Trabajo de Gabinete.

El objetivo principal de este trabajo fue el de realizar un análisis comparativo en relación al contenido de algunos nutrimentos en diferentes suelos. Para este propósito se seleccionaron algunas zonas del país con características climáticas, topográficas, altitudinales, geológicas, edáficas, etc. diferentes, y ubicadas en tres estados de la República Mexicana, que fueron Guanajuato, Veracruz y Sonora.

La elección de los municipios dentro de cada estado se hizo con base en cierta información disponible correspondiente a esos municipios, resultado de estudios previos.

Dentro del trabajo de gabinete se incluye la fotointerpretación de 2 zonas de estudio en el Estado de Guanajuato, 2 zonas en el Estado de Veracruz y una pequeña zona en el Estado de Sonora. Esta fotointerpretación se hizo con el objeto de muestrear los órdenes de suelos más representativos de cada lugar. Se utilizaron fotografías aéreas pancromáticas en blanco y negro a escala 1:50,000, tomadas por CETENAL en el año de 1971 para Guanajuato, en 1976 para Veracruz y en el año de 1975 para Sonora. Con esta información se procedió a escoger los sitios de muestreo por horizontes, excepto en la zona de Sonora en donde los suelos no presentaban diferenciación de horizontes.

4.2 Trabajo de campo.

Después de haber localizado los sitios de muestreo en las fotografías aéreas, se inició el recorrido de campo. El primer estado que se recorrió fue Veracruz, muestreando una región correspondiente al Municipio de Playa Vicente y otra correspondiente al Municipio de San Juan Evangelista; en total se hicieron 48 perfiles que originaron 147 muestras de suelo.

Posteriormente, se hizo el recorrido de los municipios de Salamanca y Purísima de Bustos, correspondientes al Estado de Guanajuato, muestreando un total de 53 perfiles que originaron 154 muestras de suelo.

Finalmente, se hizo el muestreo en el Estado de Sonora haciendo un recorrido en el Municipio de Hermosillo en donde se hicieron 14 perfiles, muestreados cada 20 cm, lo que originó un total de 64 muestras de suelo.

En total se colectaron 365 muestras de suelo, las cuales constituyeron el material de estudio.

4.3 Análisis de laboratorio.

A las muestras de suelo colectadas se les hicieron los siguientes análisis:

- 1.- pH: se determinó utilizando una suspensión de suelo-agua en relación 1:2.5 y un potenciómetro con electrodos de vidrio y calomel (in Chapman, 1973).

- 2.- Materia orgánica: se determinó por combustión húmeda según el método de Walkley y Black, 1934.
- 3.- Capacidad de intercambio catiónico total: se determinó por centrifugación, saturando el suelo con acetato de potasio normal pH 7, lavando con alcohol etílico y eluyendo con acetato de amonio normal y neutro, cuantificando el potasio por flamometría (Richards, 1974); este método se utilizó para las muestras de Guanajuato y Sonora. Para las muestras de Veracruz se utilizó el método de percolación saturando con acetato de amonio normal pH 7, lavando con alcohol etílico y destilando el amonio por Kjeldahl, recibiendo en ácido bórico (in Chapman, 1973).
- 4.- Textura: se determinó por el método del hidrómetro de Bouyoucos, con las modificaciones hechas por Villegas y col., 1978.
- 5.- Sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, zinc y manganeso extractables: la principal dificultad con todos estos elementos es encontrar una misma solución extractora para todos ellos que separe del suelo las cantidades equivalentes a las que separan las plantas. Es por eso que se decidió extraer estos elementos con el método publicado por Isaac y Kerber, 1971, In: L. M. Walsch (editor); el cual describe la determinación de Zn extractable en suelos, pero que también es aplicable a Ba, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, K, Na y otros elementos extractables. Por otro lado, esta metodología nos ayuda a evitar la variabilidad

que se originaría al utilizar diferentes soluciones extractoras. El método consiste en extraer los elementos del suelo con una mezcla ácida de HCl y H₂SO₄ al 0.075 N, y después cuantificar Na y K por flamometría, y Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn por absorción atómica.

4.4 Análisis estadístico de la información.

Después de haber obtenido toda la información, la cual aparece en la Tabla 1, se procedió a analizarla haciendo uso de algunos procedimientos estadísticos. Para ello se utilizó el paquete de programas SPSS para computadora (Statistical Package for the Social Sciences). Dentro de este paquete se encuentran varios programas o subprogramas diseñados para análisis multivariado. Los métodos estadísticos utilizados fueron Análisis Discriminante y Análisis de Correlación Canónica.

El primer método se utilizó en virtud de que la información recabada en este trabajo se disponía en grupos y de alguna manera los individuos de cada grupo (muestras de suelo), presentaban cierta heterogeneidad entre sí.

Con base en ciertas características del suelo como son los contenidos de Na, K, Ca y Mg, cationes directamente relacionados con el pH del mismo, se establecieron 3 regiones a priori, las cuales fueron Guanajuato (región 1) Veracruz (región 2), y Sonora (región 3). Teóricamente, dentro de estas 3 regiones debían existir: áreas con niveles medios en micronutrientos (región 1), áreas con buenos niveles en micronutrientos (región 2), áreas deficientes en micronutrientos (re-

gión 3).

Posteriormente, con el estudio de las muestras de suelo en relación a sus contenidos en hierro, cobre, zinc y manganeso se logró determinar la pertenencia de estas muestras a las 3 regiones o áreas definidas con anterioridad.

El segundo método estadístico, Correlación Canónica, se utilizó con el objeto de observar la interrelación existente entre un grupo de características del suelo como son: pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, arenas y arcillas, respecto a otro grupo de factores como fueron los contenidos de Na, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn.

Para estos 2 métodos estadísticos todos los análisis de suelos que fueron efectuados, pasaron a constituir las variables de estudio:

- Variable 1.- hierro asimilable (ppm)
- Variable 2.- cobre asimilable (ppm)
- Variable 3.- zinc asimilable (ppm)
- Variable 4.- manganeso asimilable (ppm)
- Variable 5.- sodio asimilable (ppm)
- Variable 6.- potasio asimilable (ppm)
- Variable 7.- calcio asimilable (ppm)
- Variable 8.- magnesio asimilable (ppm)
- Variable 9.- pH
- Variable 10.- materia orgánica (%)
- Variable 11.- capacidad de intercambio catiónico (me/100 g).
- Variable 12.- arenas (%)
- Variable 13.- arcillas (%)

El criterio para establecer los niveles medio, regular y deficiente estuvo basado en las escalas de concentración normales para elementos extractables publicado por Isaac y Kerber, in Walsh, L. M., 1971, que para los nutrimentos aquí estudiados, son los siguientes:

Elemento	Escala de concentración en forma extractable (ppm)
Fe	10 - 1000
Cu	0.5 - 100
Zn	1.0 - 100
Mn	2.0 - 500
Ca	100 - 15000
Mg	10 - 3000
K	50 - 4000
Na	0.0 - 10000

5. RESULTADOS

RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN LOS SUELOS DEL ESTADO DE VERACRUZ

Núm. de Perfil	Profundidad -cm	Fe	Cu	Zn	Mn	Na	K	Ca	Mg	pH	M.O.	CICT	ARENA	ARCILLA
		PARTES POR MILLON									1:25	%	me/100g	%
1	0-35	7.0	3.5	2.0	17	35	68	3360.0	393.01	6.6	2.53	31.25	33.5	16.5
	35-80	13.0	1.5	3.0	23	46	71	3370.5	417.57	7.0	0.28	22.07	37.5	25.5
	80-130	15.0	1.0	8.0	20	46	68	3433.5	540.39	8.2	0.28	24.16	27.5	32.0
2	0-50	10.0	1.0	1.0	10	38	100	2058.0	442.13	7.2	1.42	14.26	34.0	31.0
	50-125	10.0	1.0	1.0	5	46	80	1764.0	638.64	6.4	0.49	18.51	35.0	35.0
3	0-25	12.0	0.0	3.0	27	16	400	3234.0	589.52	6.8	1.83	15.94	54.0	17.0
	25-45	9.0	0.0	2.0	23	12	163	2688.0	552.67	6.8	1.62	21.58	61.0	17.5
	45-65	0.0	0.0	0.5	6	15	58	9702.0	1019.37	8.2	0.14	11.38	73.5	2.5
4	65-130	1.0	0.0	0.0	6	19	45	8988.0	736.89	8.2	0.40	32.36	66.0	4.0
	0-25	40.0	1.0	3.0	37	50	58	1176.0	319.32	6.7	2.11	12.36	61.0	11.0
	25-45	17.0	1.0	2.5	19	62	52	966.0	270.19	7.1	0.63	10.20	66.0	9.0
	45-70	17.0	1.0	2.0	8	90	49	987.0	233.35	7.0	0.35	14.06	72.5	9.0
	70-85	14.0	1.5	1.0	5	115	49	966.0	356.16	7.3	0.28	12.46	66.0	10.5
5	85-130	22.0	2.0	3.0	6	173	58	945.0	282.47	7.2	0.84	12.36	42.0	25.0
	0-25	11.0	0.0	2.0	8	22	42	2604.0	442.13	6.8	3.73	16.33	47.0	13.0
	25-80	6.0	0.5	2.0	6	25	52	2436.0	491.26	6.9	0.84	18.02	50.0	20.0
	80-200	10.0	0.5	2.0	9	28	54	2457.0	417.57	7.1	0.98	17.62	46.0	25.0
6	0-15	16.0	0.0	2.0	27	22	64	2373.0	589.52	6.9	1.55	21.78	37.5	14.5
	15-35	0.0	0.0	0.0	4	28	42	9933.0	208.78	8.3	0.98	13.83	53.0	10.0
	35-63	0.0	0.0	0.0	6	25	45	9240.0	736.89	7.8	0.28	12.46	57.5	6.5
	63-110	0.0	0.0	0.0	5	25	45	9492.0	221.06	8.7	0.07	12.99	53.0	7.5
7	0-25	25.0	0.5	0.0	0	6	26	189.0	626.36	5.2	0.56	7.92	57.5	10.5
	25-45	16.0	0.5	0.0	0	4	10	210.0	736.89	5.9	0.07	9.50	61.0	16.0
	45-72	11.0	1.0	1.0	0	6	7	210.0	736.89	5.6	0.07	8.34	59.0	16.5
	72-120	12.0	0.0	0.0	1	6	7	210.0	614.08	6.5	0.37	6.14	64.5	14.0
8	0-15	145.0	1.0	1.0	5	28	52	1407.0	159.66	6.1	2.60	11.88	52.5	8.0
	15-150	49.0	0.0	0.0	0.5	15	10	294.0	663.20	6.7	0.70	19.85	48.5	13.0
9	0-35	5.0	1.0	2.0	23	22	61	3297.0	601.79	7.0	3.17	28.41	52.0	16.0
	35-70	0.0	0.0	0.0	4	15	39	9429.0	135.09	7.7	1.49	10.20	65.0	8.5
	70-110	0.0	0.0	0.0	6	22	45	9366.0	36.84	8.3	2.82	14.06	50.0	9.0
10	0-20	41.0	1.0	3.0	31	25	54	2877.0	614.08	6.7	3.31	17.52	57.0	6.0
	20-40	13.0	1.0	1.0	21	19	45	2247.0	515.83	7.6	1.12	23.66	56.0	14.0
	40-200	12.0	2.0	1.0	21	15	54	2310.0	540.39	7.8	1.07	16.19	53.5	19.0
11	0-30	7.0	0.5	1.0	24	10	52	1218.0	417.57	6.8	2.25	12.08	52.0	13.5
	30-50	21.0	1.0	0.0	1	6	13	231.0	478.98	6.9	0.98	8.55	77.5	9.0
	50-110	26.0	1.0	0.0	1.0	6	13	252.0	147.38	6.2	0.70	12.14	63.0	21.0

RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN LOS SUELOS DEL ESTADO DE VERACRUZ

Núm. de Perfil	Profundidad -cm	Fe	Cu	Zn	Mn	Na	K	Ca	Mg	pH	M.O.	CICT	ARENA	ARCILLA
		PARTES POR MILLON								1:25	%	me/100g	%	%
12	0-25	15	1.0	1.0	21.5	28	34	1491.0	282.47	6.3	1.19	15.31	38.5	12.0
	25-100	27	1.0	0.5	3.5	32	42	1239.0	356.16	5.7	0.91	16.37	41.0	11.0
13	0-28	14	1.0	1.0	33.0	6	136	777.0	307.04	6.0	2.39	12.25	56.5	14.5
	28-65	18	1.5	0.0	6.0	4	34	357.0	49.13	6.8	1.43	6.63	58.5	18.0
	65-150	14	0.5	0.0	6.0	4	26	273.0	135.09	6.0	0.56	6.53	62.0	17.5
14	0-30	30	1.0	2.0	13.0	19	54	1218.0	491.26	6.9	0.87	13.66	27.5	20.0
	30-75	20	1.0	0.0	1.0	28	45	882.0	614.08	7.0	0.84	13.25	36.0	21.5
	75-115	14	1.0	2.0	9.0	46	64	840.0	564.95	6.6	0.42	17.32	58.5	6.5
15	115-130	13	0.5	2.0	17.0	69	71	1134.0	700.05	6.7	0.27	16.37	62.5	9.0
	0-25	30	1.0	2.0	16.5	22	74	2331.0	405.29	7.1	4.42	17.98	52.5	19.0
16	25-120	14	1.0	1.0	17.5	38	68	2100.0	319.32	7.1	0.49	19.85	33.0	36.0
	0-15	24	1.0	1.0	2.0	66	64	651.0	601.79	5.0	0.70	15.31	59.0	8.0
17	15-100	16	1.5	0.0	0.0	15	26	294.0	1301.85	5.2	2.41	16.75	64.0	17.0
	0-60	17	1.0	0.0	3.0	19	22	378.0	638.64	5.4	0.11	32.94	53.5	31.5
18	60-110	11	0.5	0.0	0.0	4	10	210.0	368.44	5.3	0.06	17.31	38.0	27.5
	0-30	5	0.0	1.0	27.0	12	185	1029.0	564.95	5.8	4.42	11.77	77.0	2.5
	30-70	51	1.5	0.0	4.0	6	16	273.0	331.60	6.1	1.60	7.92	78.5	4.0
	70-100	45	1.0	0.0	0.0	4	7	147.0	282.47	5.9	0.54	13.92	76.0	4.0
19	100-130	14	2.0	0.0	0.0	4	7	231.0	540.39	6.4	0.27	14.72	67.5	4.5
	0-35	29	2.5	1.0	20.0	12	163	588.0	638.64	6.0	2.28	10.98	48.5	23.5
	35-95	10	1.0	2.0	0.0	25	26	231.0	601.79	5.7	0.54	7.24	63.5	17.0
20	0-45	14	0.0	2.0	29.0	25	159	966.0	294.76	4.8	2.94	20.49	64.0	7.5
	45-70	24	0.5	0.0	1.0	15	90	546.0	601.80	5.3	0.67	16.07	69.0	9.0
	70-130	49	1.5	0.0	0.0	22	170	714.0	503.54	4.7	0.54	21.62	56.0	22.0
21	0-25	13	1.0	0.0	13.0	15	21	1123.2	328.80	6.1	3.35	14.72	46.5	27.5
	25-50	14	1.0	0.0	1.0	15	6	416.0	480.56	5.8	2.14	9.85	43.0	39.5
	50-75	9	1.0	0.0	1.0	17	8	249.6	151.75	5.6	1.74	11.66	47.5	21.5
22	75-150	7	0.5	0.0	1.0	15	6	166.4	240.28	5.7	1.07	20.94	58.0	21.0
	0-30	22	1.5	1.0	13.0	31	47	2329.6	316.16	5.7	2.28	14.48	66.5	15.5
	30-50	14	0.0	1.0	14.0	34	47	2329.6	265.57	6.5	1.21	18.68	52.5	16.5
23	50-150	13	1.0	1.0	7.0	29	48	2641.6	366.74	6.9	1.34	20.71	52.5	18.0
	0-40	16	0.0	1.0	18.0	11	92	395.2	202.34	5.4	2.14	17.20	76.5	6.5
	40-80	15	0.0	0.0	1.5	22	37	208.0	113.81	5.5	1.07	25.01	73.5	6.5
24	80-135	8	0.0	0.0	1.0	4	32	166.4	75.87	5.4	0.54	12.34	73.5	6.5
	0-10	12	1.0	1.0	13	35	64	924.0	871.99	5.6	4.56	5.43	56.0	15.0
	10-45	18	0.0	0.0	2	22	26	378.0	577.23	5.3	2.28	18.55	38.0	40.0
	45-60	15	0.5	0.0	1	12	7	252.0	589.52	5.1	1.87	22.53	46.0	36.5

RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN LOS SUELOS DEL ESTADO DE VERACRUZ

Núm. de Perfil	Profundidad -cm	Fe	Cu	Zn	Mn	Na	K	Ca	Mg	pH	M.O.	CICT	ARENA	ARCILLA
		PARTES POR MILLON								1:25	%	me/100g	%	%
25	60-110	11	0.5	0.0	0	6	3	210.0	491.26	5.0	0.67	16.64	41.5	30.0
	110-150	9	1.5	0.0	0	20	6	166.4	126.46	5.0	0.67	14.26	62.0	4.0
	0-50	48	3.0	1.0	47	62	29	748.8	429.97	5.3	1.07	18.55	22.5	16.5
26	50-140	47	2.0	0.0	25	182	18	624.0	252.93	6.4	0.27	14.04	67.5	5.0
	140-165	50	1.0	0.0	16	27	16	582.4	202.34	6.9	0.13	15.96	84.0	2.0
	0-40	6.5	0.0	1.0	19	27	53	2995.2	278.22	6.1	3.35	19.47	54.5	10.0
27	40-130	9.5	1.0	0.0	21	24	56	2454.4	278.22	6.8	0.67	11.32	51.5	17.0
	0-40	9	0.0	0.0	0	16	15	200.0	194.56	5.4	0.67	9.16	51.0	27.5
	40-150	6	0.0	0.0	0	8	8	160.0	97.28	5.4	0.13	14.83	71.0	6.5
28	0-30	9	0.0	0.0	0	16	16	200.0	196.60	5.8	3.35	21.39	76.0	6.5
	30-75	27	1.0	0.0	8	9	25	640.0	243.20	6.2	0.94	12.68	65.0	12.0
	75-150	27	2.0	0.0	5	15	39	462.0	712.33	6.0	0.54	8.38	57.0	11.0
29	0-20	102	7.0	2.5	73	24	182	2120.0	510.72	6.2	3.62	7.47	12.5	16.0
	20-40	64	6.0	1.0	52	29	65	1920.0	462.08	7.0	1.47	8.15	3.0	18.0
	40-60	53	5.0	1.0	42	26	66	1960.0	609.00	8.1	1.20	19.01	8.0	32.5
30	0-20	3	1.0	1.0	57	10	133	672.0	589.52	6.2	1.47	5.43	89.0	2.0
	20-50	5	0.0	0.0	34	6	52	294.0	442.13	6.3	0.54	15.51	81.0	7.5
	50-80	7	0.5	0.0	19	6	58	252.0	466.70	6.5	0.54	16.52	81.0	7.5
31	80-120	5	1.0	0.0	11	7	32	200.0	170.24	6.5	0.40	13.81	81.0	7.5
	0-5	109	1.0	1.0	28	23	25	300.0	109.44	5.3	1.74	20.38	54.0	10.5
	5-30	59	1.0	0.0	11	47	21	560.0	48.64	7.3	2.28	19.58	50.0	12.0
32	30-75	20	0.5	0.0	7	400	25	200.0	389.12	6.3	1.21	21.62	48.5	11.0
	0-20	59	2.0	1.0	57	13	156	1080.0	413.44	6.1	3.08	12.45	66.0	12.0
	20-65	24	2.0	0.0	23	9	29	680.0	389.12	6.5	2.55	22.64	43.5	20.5
33	65-100	27	1.5	0.0	23	12	26	480.0	340.48	7.8	0.67	17.43	48.0	19.5
	0-15	18	0.0	0.0	3	3	34	160.0	145.92	7.0	0.94	5.32	92.0	2.0
	15-50	24	0.0	0.0	1	3	13	160.0	72.96	5.8	0.67	11.32	94.5	2.0
34	50-100	30	0.0	0.0	0	2	9	200.0	97.28	5.8	0.40	19.70	90.5	2.0
	0-40	41	4.0	1.0	36	67	56	1960.0	559.36	6.0	1.74	22.64	9.0	33.0
	40-100	18	3.0	1.0	27	82	50	1800.0	608.00	6.3	1.47	8.82	3.0	33.0
35	0-10	11	0.0	1.0	33	12	148	880.0	328.32	7.6	2.81	10.18	81.0	8.0
	10-20	27	0.0	0.0	19	20	174	400.0	182.40	6.4	0.94	6.79	85.0	4.0
	20-80	14.5	0.0	0.0	13	12	172	400.0	218.88	6.3	0.94	9.74	81.5	6.0
36	80-110	15	0.0	0.0	11	17	134	400.0	194.56	8.0	0.94	4.98	78.0	6.0
	0-30	39	0.5	0.0	11	7	62	291.2	151.75	7.8	1.88	14.49	70.0	8.0
	30-50	52	1.0	0.0	1	4	18	208.0	50.58	5.6	0.80	18.55	67.5	4.5
	50-120	19	1.0	0.0	0	4	15	166.4	50.58	5.7	0.67	9.40	69.5	8.0

RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN LOS SUELOS DEL ESTADO DE VERACRUZ

Núm. de Perfil	Profundidad -cm	Fe	Cu	Zn	Mn	Na	K	Ca	Mg	pH	M.O.	CICT	ARENA	ARCILLA
		PARTES POR MILLON									1:25	%	me/100g	%
37	0-40	5	1.0	0.0	28	3	68	457.6	101.17	6.2	1.80	7.92	88.5	4.5
	40-110	9	1.0	0.0	9	4	12	166.4	50.58	5.5	0.80	15.40	79.0	8.0
38	0-50	66	1.0	1.0	29	17	36	1081.6	240.28	6.5	0.94	10.41	41.5	12.5
	50-90	58	2.5	1.0	16	17	28	998.4	265.57	7.7	0.67	10.18	41.5	5.0
39	0-20	29	2.0	0.0	4	12	26	312.0	101.17	5.8	2.01	7.70	79.5	2.0
	20-50	30	0.0	0.0	1	4	12	353.6	25.29	5.5	0.80	18.11	76.0	4.0
	50-80	14	0.5	0.0	0	4	11	166.4	101.17	5.8	0.54	17.09	74.0	4.0
40	80-120	5	1.0	0.0	0	5	11	249.6	25.29	6.9	0.67	20.71	78.0	6.0
	0-20	29	1.0	0.0	12	4	74	332.8	63.23	6.7	1.61	14.34	87.0	2.5
	20-40	38	1.0	0.0	1	7	41	166.4	75.87	5.5	0.80	14.37	80.0	2.0
	40-80	19	1.0	0.0	0	4	19	208.0	25.29	7.3	0.54	7.58	84.0	2.0
41	80-120	14	0.5	0.0	0	5	15	166.4	25.29	5.5	0.40	7.58	85.5	2.0
	0-10	4	0.0	1.0	27	11	68	1019.2	139.11	6.1	2.41	11.89	80.0	3.5
	10-30	11	0.0	0.0	5	5	34	499.2	25.29	6.3	0.54	11.55	83.5	3.5
42	30-70	14	0.0	0.0	3	5	37	374.4	101.17	7.8	0.67	17.77	78.0	8.0
	0-50	0.5	0.0	0.0	7.5	29	99	4617.6	2579.86	7.2	2.41	18.22	66.0	14.0
	50-60	0.5	0.0	0.0	1	48	88	9172.8	126.46	7.6	0.54	14.83	27.5	6.0
	60-70	1.0	0.5	0.0	1	34	46	9360.0	50.58	7.5	0.67	24.64	22.0	11.5
43	70-120	0.5	0.0	0.0	1	31	47	9276.8	177.05	7.9	0.54	15.96	20.0	14.0
	0-20	9	0.0	0.0	24	13	87	540.8	2908.67	7.6	3.88	11.32	83.5	4.0
44	20-200	14	0.0	0.0	6	17	47	208.0	252.93	5.8	0.67	9.17	77.0	12.0
	0-20	7	2.0	0.0	29	8	74	707.2	151.75	8.4	0.67	8.15	63.5	18.0
	20-40	10	1.5	0.0	17	11	32	728.0	139.11	6.6	0.67	8.49	62.5	24.0
45	40-80	4	0.0	0.0	68	7	75	1102.4	214.98	7.9	2.14	9.00	77.5	8.0
	0-40	75	0.0	1.0	31	17	59	499.2	151.75	5.3	2.95	8.23	57.5	12.5
	40-95	33	0.0	0.0	15	12	21	457.6	177.05	6.1	1.21	9.85	49.0	18.0
46	95-150	16	0.0	0.0	5	8	92	270.4	189.69	5.6	0.67	14.94	41.0	26.5
	0-27	7	0.0	0.0	56	9	152	540.8	177.05	6.5	1.49	21.96	72.0	6.5
	27-55	1	1.0	0.0	29	7	160	395.2	189.69	6.4	0.67	17.20	53.0	20.0
	55-70	1	1.0	0.0	18	8	104	457.6	151.75	6.4	0.67	14.72	60.0	21.0
47	70-120	9.5	1.5	0.0	10	13	41	374.4	328.80	7.3	0.67	20.83	55.5	26.0
	0-50	10	2.0	0.0	38	13	32	582.4	404.68	6.2	2.01	29.43	61.5	14.0
	50-80	6	2.0	0.0	13	12	8	480.0	145.92	6.1	0.67	20.38	67.0	20.5
	80-120	6	2.0	0.0	3	13	8	560.0	109.44	5.6	0.80	19.92	47.5	32.5
48	120-160	6	1.5	0.0	2.5	15	8	400.0	182.40	6.1	0.54	10.98	53.5	24.5
	0-40	134	4.0	1.0	56	90	120	1400.0	608.00	5.6	2.28	16.98	5.0	36.0
	40-80	66	4.0	1.0	29	114	56	1360.0	437.76	5.8	1.61	13.70	9.0	39.0

RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN LOS SUELOS DEL ESTADO DE GUANAJUATO

Núm. de Perfil	Profundidad -cm	Fe	Cu	Zn	Mn	Na	K	Ca	Mg	pH	M.O.	CICT	ARENA	ARCILLA
		PARTES POR MILLON								1:25	%	me/100g	%	%
1	0-20	2.0	1.0	1.5	53	37	400	2000	608.0	7.33	4.75	9.74	38	36
2	0-22	2.0	1.0	0.5	33	1710	600	1800	608.0	8.03	2.39	9.74	15	39
	22-57	1.0	0.2	0.0	3.0	6000	600	1800	608.0	9.05	0.85	24.10	15	42
3	57-80	0.5	0.0	0.0	7.0	6000	795	1300	699.2	8.90	0.88	29.48	16	44
	80-110	0.0	0.2	0.0	6.5	3705	510	1700	1003.2	9.10	0.82	19.74	18	25
	0-25	4.0	1.0	1.0	25	555	540	1050	334.4	7.36	1.23	13.58	23	36
	25-50	1.5	0.2	0.0	6.0	1710	795	1500	912.0	8.15	0.88	17.69	22	23
4	50-100	1.5	0.3	0.0	2.0	2130	840	2600	273.6	8.50	0.41	14.10	28	16
	0-60	0.0	0.5	0.3	9.0	825	1380	3250	942.4	7.47	3.83	14.35	36	6
5	60-200	1.0	0.3	0.0	1.5	1080	315	3500	1641.6	7.78	0.48	10.25	30	27
	0-30	1.0	0.5	0.5	18	1350	840	2200	851.6	7.83	1.71	11.02	11	41
6	30-80	1.0	0.1	0.8	9.0	4800	645	2400	790.4	8.85	1.20	11.79	13	57
	80-100	1.0	0.4	0.0	2.0	4050	510	2800	516.8	8.80	0.41	8.97	21	21
	100-140	0.0	0.2	0.3	4.0	2055	540	2400	881.6	8.40	0.14	6.66	32	13
7	0-26	3.0	1.0	1.0	33	510	645	2000	547.6	6.90	1.50	21.53	30	32
	26-65	2.0	0.3	1.0	27	6000	150	2200	851.2	7.54	1.30	21.02	28	34
8	65-100	2.5	0.2	1.0	24	5040	690	1850	577.6	7.30	1.23	19.48	26	32
	0-50	2.0	0.3	1.0	22	154	135	1850	820.8	7.28	2.05	24.61	33	37
	50-115	2.5	0.3	1.0	14	600	150	2100	851.2	7.69	1.50	35.12	23	39
9	115-140	3.0	0.1	0.0	11	400	148	1850	790.4	8.14	0.68	22.82	39	37
	0-35	3.0	0.5	1.0	43	555	540	2050	820.8	7.22	2.40	32.82	4	63
10	35-80	3.0	0.5	1.0	21	915	450	2200	729.6	7.54	1.23	41.02	13	57
	0-40	3.0	0.0	0.5	28	825	450	1800	851.2	7.62	1.91	35.12	9	47
	40-80	2.0	0.3	0.5	20	3000	420	2000	912.0	8.22	1.40	15.38	15	37
11	80-130	1.5	0.3	0.0	13	4230	420	1900	760.0	8.80	1.23	32.82	8	56
	0-35	2.5	1.0	1.0	29	720	540	2050	699.2	7.18	2.40	24.61	13	47
12	35-70	2.5	0.1	1.0	11	990	540	2050	577.6	8.33	0.96	28.97	16	46
	0-21	2.5	1.0	0.0	24	370	400	1550	486.4	8.08	1.30	31.40	9	54
13	21-42	0.5	0.4	1.0	17	382	400	1950	456.0	7.70	0.88	26.20	14	42
	42-52	1.0	0.0	0.0	3.0	400	400	3400	912.0	8.45	0.61	12.40	16	40
	0-53	21.0	1.0	1.5	42	16	264	1500	881.6	7.63	1.50	16.41	54	23
14	53-85	0.0	0.2	1.0	24	28	212	3800	790.4	7.73	0.27	15.64	64	11
	85-125	1.5	0.5	0.0	20	37	182	3650	881.6	7.43	0.24	14.35	56	16
15	0-15	1.0	0.0	0.0	9.0	28	360	3500	638.4	7.83	4.24	33.84	35	21
	15-35	1.0	0.0	0.0	9	32	240	3100	324.2	7.32	1.91	36.41	31	25
16	0-20	1.5	0.0	0.1	19	5475	1320	2400	1185.6	7.55	3.35	30.00	26	24
	20-83	0.0	0.1	1.0	3.0	4170	450	3600	668.8	7.72	0.27	30.50	19	34
17	0-53	4.5	1.0	1.0	47	276	400	1700	577.8	7.42	1.91	20.25	23	33

RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN LOS SUELOS DEL ESTADO DE GUANAJUATO

Núm. de Perfil	Profundidad -cm	Fe	Cu	Zn	Mn	Na	K	Ca	Mg	pH	M.O.	CICT	ARENA	ARCILLA
		PARTES POR MILLON								1:25	%	me/100g	%	%
16	53-67	0.0	0.2	1.0	5.0	825	345	3700	729.6	8.02	0.68	18.97	20	35
	67-90	1.0	0.2	0.0	4.0	390	333	3200	790.4	8.18	0.20	16.92	23	19
	0-52	6.0	1.0	1.0	47	5475	345	1400	516.8	7.62	1.64	34.87	26	32
	52-70	3.0	0.2	0.5	13	870	900	1750	456.0	7.29	0.55	24.10	54	18
17	70- 83	3.0	0.3	0.0	6.0	6000	105	2100	608.0	7.76	0.17	23.07	40	14
	0-30	5.0	1.0	1.0	48	118	371	1550	577.6	6.94	2.05	20.25	17	41
	30-95	3.0	0.2	0.5	37	312	357	2050	516.8	7.46	1.16	11.02	25	27
	95-125	1.0	0.1	0.0	13	675	690	2250	577.6	7.67	0.27	25.38	26	14
18	125- 180	3.0	0.4	1.0	69	5670	90	1800	638.4	7.17	0.14	39.48	42	8
	0-15	4.0	0.5	0.5	41	5175	450	1750	790.4	7.74	1.91	23.58	13	47
	15-50	1.0	0.1	0.0	33	1140	600	2200	638.4	8.20	1.23	36.66	23	30
	50- 70	1.0	0.5	0.0	12	2310	690	2200	790.4	8.75	0.27	17.17	29	17
19	0-35	4.5	0.2	1.0	54	2580	660	1250	668.8	8.35	2.48	20.76	10	47
	35- 80	1.0	0.3	0.5	21	3960	600	1450	668.8	8.15	1.71	22.82	2	58
	80- 110	1.0	0.2	0.5	9.0	5100	600	1450	1003.2	8.90	0.96	30.51	12	56
	0-20	1.0	0.1	0.0	1.0	645	690	3850	395.2	7.82	2.80	12.30	33	17
20	0-35	2.0	0.4	0.5	30	915	900	1900	1094.4	8.30	1.50	16.41	42	12
	35- 50	0.0	0.3	0.0	0.0	5040	975	2650	577.6	8.75	0.55	32.30	48	12
	0-35	1.0	0.3	0.0	1.0	345	400	3800	729.6	7.84	2.46	12.82	30	22
	35-70	0.0	0.2	0.3	1.0	6000	90	3900	729.6	8.28	1.23	14.87	32	22
21	70- 110	0.5	0.2	1.0	1.0	1260	420	3550	820.8	8.70	0.61	14.61	44	20
	0-30	2.5	0.7	1.0	44	4545	510	2150	516.8	7.82	2.26	24.61	14	55
	30-65	1.0	0.2	1.0	32	276	400	2300	729.6	7.78	1.16	37.43	8	54
	65-85	1.0	0.2	0.0	1.0	126	308	3250	820.8	7.63	0.61	11.53	19	31
22	85- 115	1.0	0.2	0.0	6.0	217	326	2800	1155.2	8.07	0.20	16.15	61	3
	0-30	6.5	0.4	1.3	68	1260	450	1250	1064.0	7.07	3.55	12.82	34	20
	30-65	4.0	0.2	1.0	57	100	357	1800	729.6	7.93	1.64	12.82	26	32
	65- 80	1.5	0.1	0.0	6.0	88	284	3150	912.0	7.98	0.88	25.38	26	19
23	0-27	6.0	0.5	3.0	65	300	450	1300	577.6	7.21	4.03	24.10	37	19
	25-67	21.0	0.6	1.0	42	72	333	600	729.6	7.53	0.96	12.05	31	30
	67- 110	19.0	0.3	1.0	38	43	253	1000	486.4	7.90	0.82	13.58	27	32
	0-40	8.0	0.6	1.0	41	960	600	700	547.2	7.22	1.57	7.94	52	24
24	40-110	15.5	0.7	1.5	56	675	540	1450	456.0	7.27	1.64	22.30	10	24
	110- 130	21.0	0.5	2.0	76	645	315	1300	486.4	7.69	0.19	17.94	29	36
	0-30	3.5	0.2	1.0	37	990	600	1450	547.2	7.38	1.77	22.82	15	52
	30-65	2.0	0.2	0.0	19	150	360	1750	456.0	7.90	1.09	21.02	8	59
25	65- 80	2.0	0.3	0.5	15	236	323	1700	425.6	7.74	1.02	34.35	11	53
	0-32	28.0	0.9	1.0	76	3000	540	850	577.6	7.46	1.30	12.05	36	23

RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN LOS SUELOS DEL ESTADO DE GUANAJUATO

Núm. de Perfil	Profundidad -cm	Fe	Cu	Zn	Mn	Na	K	Ca	Mg	pH	M.O.	CICT	ARENA	ARCILLA
		PARTES POR MILLON									1:25	%	me/100g	%
29	32-70	21.0	0.4	0.5	37	88	278	850	668.8	7.91	0.41	9.74	57	16
	70-88	18.5	0.1	0.0	25	52	223	1150	334.4	7.26	0.41	8.97	66	9
	88- 140	6.5	0.4	0.7	26	400	400	1000	364.8	7.63	0.41	12.05	47	8
	0-40	12	0.6	1.3	61	870	600	1000	486.4	7.20	2.40	18.46	42	23
30	40-80	6	0.3	1.0	52	114	333	1200	91.2	6.17	1.57	13.84	26	21
	80- 110	13	0.1	1.0	33	115	182	950	456.0	6.63	0.96	15.89	30	22
	0-29	0.5	0.4	0.0	1.0	2745	540	3400	10.0	8.08	0.55	23.33	34	24
	29-56	1.0	0.4	0.0	1.0	2190	510	3450	851.2	8.05	0.40	24.87	42	20
31	56- 85	0.0	0.1	0.0	2.0	870	450	3550	851.2	7.82	0.27	22.05	46	16
	0-30	4.0	0.4	1.0	53	82	311	1250	577.2	6.65	3.76	16.66	33	24
32	30-60	5.0	0.6	0.0	6.0	336	182	1350	729.2	7.39	1.64	18.71	5	83
	0-15	8.0	0.2	0.8	48	92	253	950	547.2	6.62	4.65	17.17	48	18
33	15- 67	5.0	0.6	0.0	17	218	264	1400	699.2	7.36	1.30	33.33	31	24
	0-30	4.0	0.0	1.0	34	220	450	3400	547.2	6.2	1.3	38.0	19	26
	30-55	7.0	0.0	0.4	18	200	540	3300	729.6	6.2	0.7	32.0	21	18
	55-80	5.0	1.0	0.5	18	240	560	4000	729.6	6.7	0.7	37.0	14	27
34	80-105	4.0	1.0	0.8	19	290	580	4000	729.6	6.7	0.5	38.0	20	28
	105-130	3.0	1.0	0.5	16	310	560	3800	668.8	6.3	0.9	37.0	16	27
	0-20	6.0	1.0	0.6	38	140	420	2300	729.6	6.2	1.7	27.0	36	22
	20-40	6.0	0.5	0.6	36	120	420	2400	668.8	5.9	1.4	29.0	39	25
35	40-90	1.0	0.0	0.2	14	160	210	6000	1155.2	6.9	1.0	35.0	31	30
	90-110	3.0	0.0	0.2	9	240	270	4000	1216.0	6.2	1.0	34.0	47	10
	0-15	2.0	0.5	0.4	60	940	470	4100	912.0	6.2	2.1	49.0	32	29
	15-38	2.0	0.0	0.2	19	1240	250	4900	912.0	7.5	1.8	50.6	27	49
36	38-80	2.0	0.0	0.2	12	1140	90	5300	790.4	7.2	1.3	68.0	33	45
	0-40	2.0	1.0	0.2	26	560	470	4400	1033.6	7.1	1.3	37.5	29	31
37	40-60	1.0	0.0	0.1	5	1170	450	5600	1033.6	7.9	0.2	43.0	33	33
	0-35	4.0	1.0	0.4	40	640	410	3300	729.6	6.5	1.7	44.3	21	39
38	35-70	4.0	1.0	0.3	16	920	260	3800	972.8	7.3	1.0	45.4	14	53
	70-95	1.0	0.0	0.2	13	1110	210	5300	1337.6	7.4	0.6	40.6	17	43
	0-30	5.0	0.0	0.6	38	90	540	2000	790.4	6.3	1.5	19.1	50	25
	30-60	3.0	0.0	0.5	13	260	640	2500	1337.6	7.4	1.0	35.6	35	39
39	60-105	1.0	0.0	0.2	3	310	520	6200	1641.6	7.3	0.6	33.5	41	24
	0-20	3.0	0.0	0.6	39	2140	540	2800	851.2	8.2	1.1	34.0	35	32
40	0-20	3.0	0.0	0.3	34	160	640	3000	972.8	6.0	1.9	38.0	29	33
	20-40	4.0	0.0	0.3	23	220	580	3200	972.8	6.4	1.4	41.0	22	47
41	40-100	1.0	0.0	0.1	7	360	580	5700	1398.4	7.2	0.2	33.0	29	25
	0-30	3.0	0.5	0.7	39	1950	300	2500	608.0	7.7	1.3	35.9	19	44

RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN LOS SUELOS DEL ESTADO DE GUANAJUATO

Núm. de Perfil	Profundidad -cm	Fe	Cu	Zn	Mn	Na	K	Ca	Mg	pH	M.O.	CICT	ARENA	ARCILLA
		PARTES POR MILLON									1:25	%	me/100g	%
42	30-60	1.0	0.0	0.4	10	4000	350	2200	729.6	8.0	1.0	43.8	14	47
	60-110	0.0	0.0	0.1	2	4000	380	5000	121.6	7.5	0.4	39.0	28	22
	0-18	3.0	0.0	0.4	60	400	600	2200	1094.4	7.0	1.2	31.0	29	35
	18-47	2.0	0.0	0.1	19	1170	540	3200	1155.2	8.2	0.9	35.0	29	39
43	47-110	3.0	0.0	0.2	8	4000	680	1000	668.8	8.8	0.3	33.6	38	32
	0-20	4.0	0.0	0.6	38	1480	450	3000	729.6	7.5	1.2	31.4	18	52
	20-90	2.0	0.0	0.3	19	3000	450	2200	790.4	7.9	1.0	41.4	16	59
44	90-110	1.0	0.0	0.2	12	4000	580	3700	912.0	8.1	0.4	36.0	26	52
	0-30	2.0	0.0	0.4	29	310	450	3700	851.2	5.9	1.8	47.0	20	32
	30-60	2.0	0.0	0.2	12	240	330	3700	851.2	6.0	1.3	49.0	20	24
45	60-80	3.0	0.0	0.3	8	290	300	4000	1033.6	7.0	0.3	41.0	68	6
	0-38	3.0	0.0	0.4	22	340	390	2500	790.4	5.8	1.5	31.0	42	9
	38-90	1.0	0.0	0.1	1	1260	330	6700	547.2	7.9	1.1	35.0	54	7
46	0-30	2.0	0.0	0.4	25	640	640	3200	1824.0	6.6	1.4	40.0	16	55
	30-65	2.0	0.0	0.4	24	900	580	3400	1824.0	6.8	1.8	54.0	16	48
	65-75	2.0	0.0	0.3	16	930	390	3700	1459.2	6.7	1.1	55.0	14	40
47	75-100	2.0	0.0	0.2	12	1020	360	3800	1337.6	6.6	0.8	53.0	18	48
	0-20	2.0	0.5	0.2	22	590	540	4000	1398.4	6.6	1.6	57.0	21	52
	20-80	2.0	0.5	0.1	14	640	330	3900	1337.6	6.5	1.0	61.0	18	54
48	80-110	0.0	0.0	0.1	0	500	180	7400	790.4	7.0	0.5	54.0	20	49
	0-30	0.0	0.0	0.1	8	280	940	6100	1702.4	6.8	4.2	30.0	38	17
	30-50	14.0	1.0	0.5	60	900	1320	2600	1337.6	7.9	0.5	57.0	37	14
49	50-70	22.0	1.0	0.5	39	1100	880	1500	972.8	6.6	0.8	26.0	47	25
	70-115	0.0	0.0	0.1	19	2840	940	3000	2371.2	6.5	1.6	55.0	31	24
	0-20	10.0	1.0	0.2	32	4000	440	2700	547.2	6.6	0.7	33.3	32	23
50	20-100	2.0	0.0	0.1	6	4400	520	1800	547.2	8.5	0.3	42.1	18	46
	0-10	0.0	0.0	0.1	8	4000	640	4800	972.8	6.6	1.6	59.0	14	52
	10-50	0.0	0.0	0.1	1	4400	650	1800	364.8	6.6	0.9	59.0	16	56
51	0-25	5.0	0.5	0.4	24	700	330	3100	668.8	7.0	1.2	41.1	20	42
	25-50	3.0	0.0	0.3	18	680	240	2900	729.6	6.9	0.9	41.8	20	41
	50-75	4.0	0.5	0.3	17	630	250	2900	912.0	6.0	1.1	42.4	21	41
52	75-97	2.0	1.0	0.4	16	580	270	3300	972.8	6.3	0.9	45.5	22	27
	97-110	2.0	0.0	0.4	6	520	320	3900	1155.2	6.5	0.7	34.7	27	25
	0-20	2.0	0.0	0.6	38	320	320	3900	851.2	5.6	1.7	49.0	31	34
	20-80	1.0	0.0	0.2	17	180	210	5500	1033.6	6.2	1.4	58.0	23	36
	80-110	1.0	0.0	0.2	1	280	150	8000	851.2	6.7	0.3	52.0	31	17

RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS EN LOS SUELOS DEL ESTADO DE GUANAJUATO

Núm. de Perfil	Profundidad -cm	Fe	Cu	Zn	Mn	Na	K	Ca	Mg	pH	M.O.	CICT	ARENA	ARCILLA
		PARTES POR MILLON								1:25	%	me/100g	%	%
53	0-15	3.0	0.5	0.4	24	110	470	2500	912.0	5.3	1.0	50.0	31	43
	15-40	2.0	0.0	0.2	14	400	300	2800	1155.2	5.9	1.0	44.0	21	52
	40-70	2.0	0.0	0.3	14	700	580	3500	1276.8	6.6	0.9	51.0	28	32
	70-80	1.0	0.0	0.1	5	930	540	5700	1459.2	6.9	1.1	46.0	32	29

RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS A LOS SUELOS DEL ESTADO DE SONORA

Núm. de Perfil	Profundidad -cm	Fe	Cu	Zn	Mn	Na	K	Ca	Mg	pH	M.O.	CICT	ARENA	ARCILLA
		PARTES POR MILLON								1:25	%	me/100g	%	%
1	0-20	1.5	0	0	3.0	765	270	6400	1641.6	8.65	0.53	68.00	58.0	15.4
	20-40	1.0	0	0	1.0	612	48	5200	2432.0	8.55	0.40	62.69	60.4	13.6
	40-60	0.0	0	0	1.0	690	7	5600	1641.6	8.25	0.40	90.67	53.8	14.2
	60-80	1.0	0	0	0.0	645	10	5900	1884.8	8.25	0.13	153.72	62.2	15.2
	80-150	1.0	0	0	0.0	690	22	7300	1094.4	8.60	0.10	166.30	52.8	22.4
2	0-20	2.0	1	1	13.0	525	220	4700	2128.0	8.90	0.37	44.16	64.6	19.1
	20-40	1.0	0	0	0.0	930	7	6800	1520.0	8.65	0.16	113.34	40.6	21.6
	40-60	2.0	0	0	0.0	1080	17	6600	1763.2	8.20	0.67	105.55	29.6	29.5
3	0-20	2.0	1	0	11.0	765	380	3850	1732.8	8.90	0.26	31.87	44.1	29.5
	20-40	3.0	0	0	9.0	720	367	3600	2006.4	8.65	0.20	32.58	44.1	32.3
	40-60	1.0	0	0	1.0	900	210	6500	1337.6	9.05	0.13	56.31	43.9	29.5
	60-80	1.0	0	0	1.0	720	175	6400	1428.8	8.90	0.10	59.50	43.9	25.7
4	0-20	5.0	1	0	10.0	75	660	1900	881.6	8.15	0.26	22.44	53.9	20.2
	20-40	5.0	0.5	0	7.0	225	339	1700	1398.4	8.00	0.26	23.37	47.0	25.6
	40-60	4.5	0	0	8.0	225	244	1500	1550.4	8.00	0.13	26.40	49.4	27.7
	60-80	4.0	0	0	9.0	165	268	1500	1550.4	8.20	0.16	18.77	46.5	22.2
5	0-20	3.5	0	0	30.0	630	314	3500	2097.6	8.10	0.47	42.26	62.7	11.1
	20-40	1.5	0	0	0.0	630	93	6800	1398.4	8.70	0.20	64.46	66.1	7.7
	40-60	1.0	0	0	1.0	525	61	8200	729.6	9.00	0.13	88.32	60.5	3.2
	60-80	1.0	0	0	0.5	585	86	6900	1580.8	9.00	0.10	89.05	54.7	6.2
	80-100	0.0	0	0	0.5	585	137	7800	851.2	9.30	0.03	75.07	58.2	7.2
100-150	2.0	0.5	0	5.0	900	80	6900	912.0	8.70	0.03	47.10	63.5	9.7	
6	0-30	3.0	0	4.0	12.0	225	329	1900	668.8	8.15	0.20	10.27	57.1	14.5
7	0-20	3.0	0	2.0	31.0	270	795	2800	1337.6	8.15	1.14	24.79	44.0	16.2
	20-40	1.5	0	1.0	17.0	345	390	2300	729.6	8.70	0.40	19.83	65.4	13.5
	40-50	2.5	0	1.0	14.0	90	388	2900	547.2	7.80	0.33	19.12	63.8	15.1
	60-80	2.0	1.0	1.0	12.0	61	323	2500	668.8	7.80	0.20	19.13	70.0	13.0
8	0-20	3.0	0	0	9.0	62	388	2700	425.6	8.30	0.26	17.66	59.6	13.5
	20-40	3.0	0	0	12.0	101	230	2800	547.2	8.60	0.06	23.90	57.7	15.8
	40-60	3.0	0	0	9.0	240	137	3200	668.8	8.95	0.13	27.90	39.2	17.6
	60-80	1.0	0	0	4.0	390	58	8000	608.0	8.70	0.16	51.52	38.1	15.6
	80-150	1.0	0	0	1.0	675	28	7000	1216.0	8.95	0.06	70.84	36.0	20.2
9	0-20	4.5	0	1.0	25.0	540	690	1900	790.4	8.80	0.47	24.60	58.5	18.1
	20-40	4.0	0	0	10.0	810	339	3600	1033.6	8.50	0.13	21.96	56.2	15.3
	40-60	3.0	0	0	9.0	1020	216	5000	1033.6	8.60	0.20	28.33	59.0	9.5
	60-80	1.0	0	0	7.0	930	122	4500	2553.6	7.70	0.16	48.17	76.7	6.5
10	0-20	3.0	0	1.0	15.0	555	750	1400	912.0	8.70	0.60	16.19	59.7	15.1
	20-40	3.0	0	0	12.0	690	600	1600	729.6	8.85	0.26	13.45	68.2	13.2

RESULTADOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS A LOS SUELOS DEL ESTADO DE SONORA

Núm. de Perfil	Profundidad -cm	Fe	Cu	Zn	Mn	Na	K	Ca	Mg	pH	M.O.	CICT	ARENA	ARCILLA
		PARTES POR MILLON								1:25	%	me/100g	%	%
11	40-60	3.0	0	0.5	10.0	735	570	1600	425.6	8.70	0.13	11.33	78.5	10.5
	60-80	3.5	0	1.0	8.0	795	480	1500	304.0	8.15	0.03	11.77	82.6	9.5
	0-20	3.5	1.0	1.0	29.0	810	630	2300	851.2	8.10	0.77	17.71	43.1	24.2
	20-40	3.0	1.0	1.0	13.0	720	555	2500	851.2	8.70	0.60	24.08	35.2	28.8
12	40-60	2.5	0	1.0	11.0	645	450	2800	851.2	8.20	0.40	24.65	36.0	28.4
	60-80	2.0	0.5	0	13.0	525	405	2700	972.8	8.50	0.50	19.48	39.4	27.4
	0-20	3.0	0	1.0	25.0	33	555	1300	425.6	8.50	0.13	12.04	71.8	9.0
	20-40	3.0	0	0	10.0	53	375	1800	608.0	8.00	0.20	10.27	67.7	14.6
	40-60	1.5	0	0	7.0	68	304	4400	729.6	8.20	0.10	28.70	66.1	15.5
	60-80	1.0	0	0	8.0	49	244	5000	1884.8	8.00	0.13	30.10	59.3	26.5
13	80-100	0.5	0	0	2.0	210	175	8500	425.6	8.45	0.13	59.61	69.9	10.9
	100-150	0.0	0	0	0.0	480	84	7600	1155.2	8.40	0.06	72.25	73.9	4.5
	0-20	5.0	0.5	1.0	14.0	210	555	1900	1216.0	8.10	0.53	14.87	49.3	17.6
	20-40	3.5	1.0	0	15.0	49	270	1900	729.6	7.80	0.20	14.16	67.7	14.7
	40-60	3.0	1.0	0	10.0	53	175	1900	486.4	8.15	0.16	14.21	61.2	17.6
14	60-80	4.0	0	0	13.0	61	170	1700	547.2	8.10	0.13	12.04	62.0	19.9
	0-20	4.0	0	0	25.0	855	495	2100	486.4	8.10	0.57	14.16	57.3	19.1
	20-40	1.5	0	0	11.0	555	207	3300	760.0	8.10	0.16	25.02	56.8	17.7
15	40-60	2.0	0	0	11.0	450	122	4350	851.2	8.30	0.20	19.83	58.1	20.6
	60-80	1.0	0	0	6.0	360	75	7350	638.4	8.25	0.13	41.79	56.2	17.7
	0-6	0.5	0	0	0.0	4770	37	6300	60.8	10.30	0.06	56.30	73.6	12.0
	6-30	0.0	0	0	1.0	4320	67	2000	790.4	10.30	0.06	36.80	68.0	13.9
	30-65	2.0	0	0	1.0	5760	16	5250	182.4	9.90	0.13	27.98	71.3	10.5
	65-73	4.0	1.0	0	6.0	5850	20	3300	687.0	10.00	0.06	25.85	76.7	6.0
	73-85	0.0	0	0	4.0	3735	7	5250	820.8	9.80	0.10	44.62	79.8	4.5
	85-120	0.0	0	0	1.0	4830	4	5950	60.8	9.90	0.03	64.81	79.7	4.5

6. DISCUSION

6.1 Análisis discriminante del horizonte superficial.

Empezaremos por discutir el análisis discriminante realizado con las observaciones o mediciones hechas en las muestras de suelo del horizonte superficial.

En este análisis se trabajaron 116 casos, y en la salida del subprograma de discriminante, encontraremos primero algunas estadísticas como medias, desviaciones estandar, pruebas de hipótesis con F y matrices de correlación, varianzas y covarianzas. En la Tabla 2 se encuentran las medias y desviaciones estandar de las 13 variables utilizadas, de las cuales el hierro, sodio, potasio, calcio, magnesio y pH son aquellas en las cuales las diferencias entre las 3 regiones son más grandes.

Posteriormente se llevó a cabo un método de selección de variables. Cuando existen muchas variables es posible encontrar que no todas aportan una discriminación satisfactoria, por lo que los cálculos no son ejecutados, muchas veces, sobre todas las variables simultáneamente, sino sobre variables individuales tomadas consecutivamente en orden decreciente de poder de discriminación. En este estudio 12 variables resultaron elegibles para el análisis; el método empleado para esta selección es el llamado "stepwise" el cual se realiza de la siguiente manera: selecciona primero la mejor variable discriminante según diferentes criterios, como por ejemplo:

la Lambda mínima de Wilks, la Distancia de Mahalanobis entre los grupos, la mayor V de Rao, y otros; en nuestro caso se es cogió la Lambda mínima de Wilks, la cual se considera una medida inversa del poder discriminante de las variables origina les. La Lambda mayor es la de menor información. Después de que se ha escogido la mejor variable discriminante, entra una segunda variable en combinación con la primera; y así sucesivamente ocurre con las demás variables que serán seleccionadas de acuerdo a su aptitud para discriminar.

En cada uno de los pasos de este análisis se obtienen los valores de F parciales así como su respectiva Lambda de Wilks para cada variable, y con base en el valor mínimo de es ta lambda o al valor de F más alto obtenido en cada paso, es como se selecciona la variable que será incluida en el siguien te paso del análisis. En la Tabla 3 aparecen los valores de F parciales y Lambdas de Wilks que sirvieron de criterio para ir seleccionando las variables de mayor a menor poder discri minante. Como podemos observar en esta misma tabla, las variables que tuvieron un alto poder de discriminación fueron: potasio, materia orgánica, contenido de arcilla, pH, capacidad de intercambio catiónico, contenido de sodio, manganeso, cobre, zinc, arenas, magnesio y finalmente hierro que fueron las variables con menor poder de discriminación.

En la salida del programa se obtiene una matriz de co rrelación en la que podemos observar que el hierro se encuentra positivamente correlacionado con el cobre, el cobre se co rrelaciona negativamente con el contenido de arenas, el calcio

Tabla 3.- Valores de F y Lambda de Wilks incluidos en cada etapa del análisis discriminante del horizonte superficial.

VALORES DE F PARCIALES													
VARIABLES													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Paso # 0	18.524	7.5843	2.2344	9.1962	14.900	85.620	18.057	10.833	56.124	33.409	17.369	44.156	47.289
Paso # 1 V6	6.4871	2.6666	1.0182	8.1830	3.7698		9.1780	3.9765	35.475	36.642	18.964	24.218	31.602
Paso # 2 V10	5.4375	2.1260	2.5970	5.6683	4.3162		9.1575	5.4223	23.284		15.901	23.506	34.453
Paso # 3 V13	5.5689	5.6519	3.1949	2.3398	1.3847		8.0052	6.1123	23.137		6.7504	1.9810	
Paso # 4 V9	4.0621	5.0344	2.8984	2.4407	3.7601		4.4212	4.5518			9.1694	0.6196	
Paso # 5 V11	2.6487	3.3316	3.1508	3.9368	4.8087		0.8521	3.6382				0.5451	
Paso # 6 V5	2.9227	3.3438	2.6910	3.9501			0.5027	2.2368				0.3737	
Paso # 7 V4	4.2608	6.4833	3.9132				0.2638	2.1821				0.4831	
Paso # 8 V2	1.3147		3.6862				0.5614	2.3349				1.7690	
Paso # 9 V3	1.0230						0.7601	3.0626				3.6195	
Paso # 10 V12	2.4524						0.5281	2.5927					
Paso # 11 V8	2.6283						0.7389						
Paso # 12 V1							0.6088						

VALORES DE LAMBDA DE WILKS													
Paso # 0	0.7530	0.8816	0.9619	0.8600	0.7913	0.3975	0.7578	0.8391	0.5016	0.6284	0.7648	0.5613	0.5443
Paso # 1 V6	0.3562	0.3794	0.3904	0.3468	0.3724		0.3415	0.3711	0.2433	0.2403	0.2969	0.2775	0.2541
Paso # 2 V10	0.2188	0.2314	0.2295	0.2180	0.2229		0.2062	0.2189	0.1692		0.1867	0.1688	0.1482
Paso # 3 V13	0.1346	0.1344	0.1401	0.1422	0.1446		0.1294	0.1334	0.1043		0.1320	0.1431	
Paso # 4 V9	0.0971	0.0955	0.0990	0.0998	0.0976		0.0965	0.0963			0.0893	0.1031	
Paso # 5 V11	0.0851	0.0841	0.0844	0.0832	0.0820		0.0879	0.0836				0.0884	
Paso # 6 V5	0.0777	0.0772	0.0781	0.0763			0.0812	0.0787				0.0814	
Paso # 7 V4	0.0707	0.0680	0.0711				0.0760	0.0733				0.0756	
Paso # 8 V2	0.0664		0.0635				0.0673	0.0651				0.0658	
Paso # 9 V3	0.0623						0.0626	0.0600				0.0594	
Paso # 10 V12	0.0567						0.0588	0.0566					
Paso # 11 V8	0.0538						0.0558						
Paso # 12 V1							0.0531						

se correlaciona positivamente con la capacidad de intercambio catiónico, y el contenido de arena se encuentra correlacionado negativamente con el contenido de arcillas.

También obtenemos en el programa los coeficientes de las funciones de clasificación llamadas también funciones discriminantes lineales de Fisher, las cuales se obtienen a partir de la matriz conjunta de varianzas y covarianzas, derivándose una función para cada grupo. Las funciones son las siguientes:

$$C_1 = -103.56 + 0.166 (V_1) + 2.361 (V_2) + 1.294 (V_3) + 0.181 (V_4) - 0.0038 (V_5) + 0.0329 (V_6) - 0.0039 (V_8) + 18.07 (V_9) + 1.339 (V_{10}) + 0.922 (V_{11}) + 0.675 (V_{12}).$$

$$C_2 = -94.51 + 0.221 (V_1) + 4.658 (V_2) + 2.887 (V_3) + 0.030 (V_4) - 0.0034 (V_5) + 0.0156 (V_6) - 0.0024 (V_8) + 16.08 (V_9) + 1.475 (V_{10}) + 0.761 (V_{11}) + 0.953 (V_{12}).$$

$$C_3 = -140.74 + 0.226 (V_1) + 3.853 (V_2) + 4.078 (V_3) + 0.093 (V_4) - 0.0048 (V_5) + 0.035 (V_6) - 0.00098 (V_8) + 21.61 (V_9) - 0.259 (V_{10}) + 0.996 (V_{11}) + 1.00 (V_{12}).$$

cuyo modelo es:

$$C_i = C_{i0} + C_{i1}V_1 + C_{i2}V_2 + \dots + C_{ip}V_p$$

donde:

C_i es el "score" de clasificación para el grupo i

$i = 1, 2, 3$ grupos.

C_{ip} son los coeficientes de clasificación con C_{i0} constante y $p = 1, 2, \dots, 13$ variables.

Haciendo una prueba de F para ver la significancia estadística entre pares de grupos, se obtuvo que todos son diferentes entre sí, el grupo 1 y 2 con una F de 43.04 y una probabilidad menor al 0.01; entre el grupo 1 y el 3 la F fue de 20.25 y entre el grupo 2 y 3 fue de 29.16 al mismo nivel de significancia.

El número máximo de funciones discriminantes es menor al número de grupos o al número de variables, lo que sea más pequeño. En este caso, por tratarse de 3 grupos y 13 variables, el número de funciones discriminantes es de 2.

Los eigenvalores que aparecen en la salida del subprograma nos indican el porcentaje relativo de cada función para separar los grupos; así por ejemplo, la primer función discriminante tiene un eigenvalor de 4.80, respecto a la segunda función cuyo eigenvalor es de 2.15, por lo tanto, la primer función discriminante es la que sirve más para hacer una buena separación de los grupos. La suma de los eigenvalores es una medida del total de la varianza que existe entre las variables discriminantes, de manera que, cada eigenvalor nos indicaría un determinado porcentaje del total de esta varianza. Por ejemplo, la primera función tiene un eigenvalor de 4.80 que corresponde a un 69.01% de la varianza total de las variables discriminantes; y la segunda función tiene un eigenvalor de 2.15 que corresponde a sólo el 31% de la varianza total, lo cual nos hace suponer que esta segunda función no ayudaría mucho para hacer una buena separación de los grupos, sin em-

bargo, las 2 funciones son altamente significativas mediante la prueba de χ^2 - cuadrada que se realiza a través de las Lambdas de Wilks.

Las correlaciones canónicas que también aparecen en la salida del subprograma son una medida para señalar qué tan relacionadas están la función discriminante respecto a la variable "grupo", por lo que, también estos valores serían una buena medida de la función para discriminar entre grupos. La correlación canónica entre las variables grupo y la primer función discriminante es de 0.909, valor bastante alto; aunque también la correlación para la segunda función discriminante es alta, pues es de 0.826.

A estas 2 funciones discriminantes les corresponde también 2 valores de Lambda de Wilks que, para la primer función es de 0.0545 y para la segunda es de 0.3166, lo cual significa que existe un gran poder discriminante y un alto grado de separación de centroides en la primer función respecto a la segunda.

Los coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes son los de mayor importancia en el análisis, pues cada coeficiente representa la contribución relativa, ya sea positiva o negativa según el signo de su variable. Aquellas variables de mayor coeficiente son las que aportan mayor poder discriminante, es decir, las que difieren más de un grupo a otro. De manera que los coeficientes estandarizados que constituyen las 2 funciones son las siguientes:

$$D_1 = 0.21969 (V_1) + 0.42584 (V_2) + 0.18562 (V_3) - 0.50459 (V_4) + 0.13690 (V_5) - 0.71000 (V_6) + 0.09086 (V_8) - 0.44338 (V_9) + 0.20238 (V_{10}) - 0.45605 (V_{11}) + 0.50300 (V_{12}).$$

$$D_2 = 0.27243 (V_1) + 0.27512 (V_2) + 0.45644 (V_3) - 0.28482 (V_4) - 0.26322 (V_5) + 0.14439 (V_6) + 0.28529 (V_8) + 0.59696 (V_9) - 0.71950 (V_{10}) + 0.21530 (V_{11}) + 0.71999 (V_{12}).$$

En D_1 los coeficientes de mayor aportación son los que están asociados a las variables 4, 6 y 12; mientras que en D_2 son los asociados a las variables 9, 10 y 12. Las variables 7 y 13 fueron removidas porque reducen el poder discriminante cuando fueron combinadas con las demás.

Los coeficientes no estandarizados no sirven para interpretar, sin embargo, son utilizados para el cálculo de un nuevo elemento, es decir, cuando se desee clasificar o categorizar a otros elementos en alguna de las poblaciones originales ya estudiadas.

Las funciones discriminantes no estandarizadas son las siguientes:

$$D_1^* = 3.680108 + 0.01000070 (V_1) + 0.4576500 (V_2) + 0.2414085 (V_3) - 0.03059533 (V_4) + 0.0001264075 (V_5) - 0.004031025 (V_6) + 0.000200958 (V_8) - 0.6063983 (V_9) + 0.1004871 (V_{10}) - 0.03994435 (V_{11}) + 0.04882564 (V_{12}).$$

$$D_2^* = - 7.191363 + 0.01240167 (V_1) + 0.2956662 (V_2) + 0.5936445 (V_3) - 0.01726986 (V_4) - 0.0002430418 (V_5) + 0.0008197911 (V_6) + 0.0006309889 (V_8) + 0.8164441 (V_9) - 0.3572516 (V_{10}) + 0.01885793 (V_{11}) + 0.06988825 (V_{12}).$$

Para la asignación de un nuevo elemento se tienen que sustituir los valores respectivos de V_1 a V_{12} en las 2 funciones anteriores D_1^* y D_2^* , con lo cual obtendremos 2 valores que corresponden a un punto y al localizar la posición de este punto en un mapa territorial, se conocerá el grupo al que pertenece.

El mapa territorial que se obtuvo en este análisis discriminante de las muestras de suelo del horizonte A, se muestra en la Figura 1.

En el mapa territorial puede hacerse también, una interpretación de las funciones discriminantes, lo cual se hace únicamente con base en las variables cuyos coeficientes fueron los de mayor valor. Por ejemplo, en el eje de las abscisas se encuentra graficada la función discriminante D_1 en la cual las variables de mayor aportación fueron manganeso, potasio y arenas, lo cual quiere decir que si hay una disminución en el contenido de manganeso y de potasio, se hace una clara separación del grupo 2 (Veracruz) respecto al 1 (Guanajuato) y al 3 (Sonora). Sobre el eje de las ordenadas se grafica la función discriminante D_2 cuyas variables de mayor aportación fueron pH, materia orgánica y arenas, por lo que si hay una disminución en el pH a la vez de un aumento en el contenido de materia orgánica y arenas, podremos hacer una mayor diferenciación entre los grupos 1 y 3.

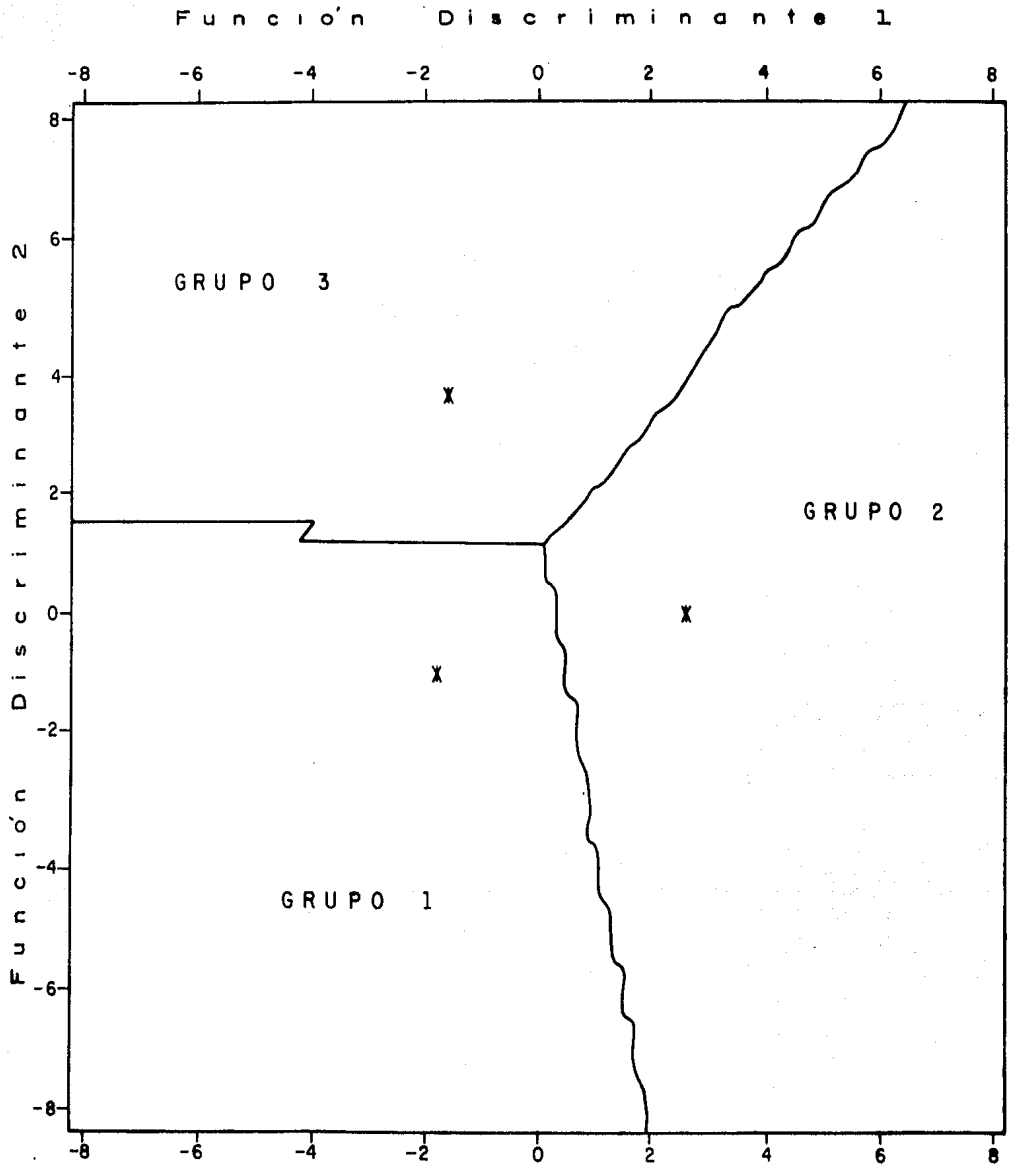


FIG.1.- MAPA TERRITORIAL OBTENIDO DEL ANALISIS DISCRIMINANTE, REALIZADO CON LAS MUESTRAS DE SUELO DEL HORIZONTE SUPERFICIAL.

Finalmente, se hace un resumen de los casos que fueron clasificados en cada grupo. Por ejemplo, de los 116 casos involucrados en este análisis, 53 fueron muestras de suelo correspondientes a la región 1, 48 a la región 2 y 15 a la región 3.

De las 53 observaciones que se hicieron en la región 1, el 94% de ellas fueron asignadas a esta región y el 6% restante se asignaron a la región 3, lo cual nos indica que hubo un 6% de observaciones mal asignadas dentro del grupo 1. De las 48 observaciones que se hicieron en la región 2, el 100% de ellas fueron asignadas a esta región, es decir, que en este caso no hubo observaciones mal asignadas. De las 15 observaciones que se hicieron en la región 3, también aquí el 100% de ellas fueron asignadas a esta región 3. En virtud de una baja proporción de observaciones mal asignadas, se considera una buena discriminación.

Para observar el comportamiento de los nutrimentos en las diversas zonas muestreadas, podemos hacer uso de las diferentes medias obtenidas en cada nutrimento y para cada región. Así por ejemplo, en Guanajuato las variables que tuvieron, en promedio, valores más bajos fueron la 3 y la 12 que corresponden a contenido de zinc y de arenas, respectivamente; y las variables que tuvieron valores, en promedio, más altos fueron manganeso, sodio, potasio y arcilla. Los valores más altos de sodio y potasio se esperaban en realidad en la zona 3 puesto

que ésta presenta un valor promedio de pH de 8.5, sin embargo, en lo que se refiere al potasio, la diferencia no es muy grande entre las zonas 1 y 3, siendo esta diferencia un poco mayor en relación al sodio.

En general, podemos decir que las muestras de suelo superficial del Estado de Guanajuato que forman el grupo 1, se encuentran deficientes únicamente en hierro y zinc; respecto a todos los demás nutrimentos, éstos se encuentran dentro de la escala de concentración normal. Las deficiencias mencionadas se deben principalmente, a las condiciones de pH que, a la vez, es el resultado de la acción de una serie de factores como son material de origen, topografía, precipitación, temperatura, acumulación de bases, etc.

En el grupo 2 (Veracruz) observamos que las variables que tuvieron valores promedio más bajos fueron los contenidos de sodio, potasio, calcio, magnesio, pH, capacidad de intercambio catiónico total y arcilla; y los promedios más altos que se observaron en este grupo fueron los contenidos de hierro, cobre, zinc y materia orgánica, en comparación con los grupos 1 y 3.

Los contenidos altos en nutrimentos como hierro, cobre y zinc, en comparación con las otras zonas, resultan bastante lógicos pues es en esta zona, la de Veracruz, donde se registran los valores de pH más bajos, es decir, ligeramente ácidos con un valor promedio de 6.2. Con estos valores de pH, todos los nutrimentos estudiados se encuentran dentro de escalas de concentración normal, aunque un poco bajos en lo que

respecta a metales alcalinos y alcalino-térreos, pero sin llegar a ser deficientes.

En el grupo 3 (Sonora) se observaron valores promedio más altos en las variables calcio, magnesio, pH, capacidad de intercambio catiónico y arenas. Los valores altos en calcio y magnesio corresponden a los valores moderados de pH alcalino que se midieron en esta zona; sin embargo, la alta capacidad de intercambio catiónico no corresponde con un alto contenido en arenas, pero esto puede deberse al material parental o a los cationes acumulados que alteran las determinaciones de la capacidad de intercambio catiónico. Además de que, los valores medios más bajos encontrados para esta zona fueron los del hierro, cobre, manganeso y materia orgánica, es decir que ni la materia orgánica ayudó a obtener una capacidad de intercambio catiónico alta.

Por otra parte, aunque en esta zona se presentan los valores más bajos de hierro, cobre y manganeso, este último no llega a constituir una deficiencia en estos suelos; mientras que, para el hierro, cobre y zinc sus niveles de concentración promedio se encuentran por debajo del límite inferior de la escala de concentración normal, por lo que, estos nutrientes se encuentran en forma deficiente en estos suelos, lo cual también se deba a las mismas razones que se mencionaban para la zona de Guanajuato, aunque en la zona de Sonora las condiciones son un poco más drásticas por encontrarse el área

de estudio relativamente cerca del mar. Por este motivo, quizás se podría pensar que en la zona existen problemas de salinidad, sin embargo, esto no es así, la zona aún no presenta problemas de salinidad y/o sodicidad.

6.2 Análisis discriminante del horizonte subyacente.

Este análisis discriminante difiere un poco del anterior, además de que aquí se incluyen 113 observaciones o muestras de suelo correspondientes al horizonte inmediatamente inferior al superficial.

Las medias y desviaciones estandar obtenidas de estas observaciones aparecen en la Tabla 4. Aquí, como en el caso anterior, volvemos a observar que las variables hierro, sodio, potasio, calcio, magnesio y pH son en las que se hacen más evidentes las diferencias entre las 3 regiones.

En la Tabla 5 aparecen los valores de F parciales y Lambdas de Wilks que constituyen el criterio para ir seleccionando las variables de mayor a menor poder discriminante. Como podemos observar en esta tabla, la variable que vuelve a tener un alto poder discriminante es el contenido de potasio como sucede en el análisis del horizonte superficial; las variables que le suceden a ésta, en cuanto a poder discriminante, ya no coinciden con el anterior, y son las siguientes: pH, arenas, magnesio, cobre, materia orgánica, sodio, manganeso, zinc, capacidad de intercambio catiónico, calcio y hierro, resultando estas últimas como discriminantes pobres.

En la matriz de correlación, sin embargo, observamos las mismas correlaciones que en el análisis anterior, es decir, hierro y cobre con signo positivo; cobre y arenas negativo; calcio y capacidad de intercambio positivo; arenas y arcillas

Tabla 4.- Medias y desviaciones estandar utilizadas en el análisis discriminante con trece variables, tres regiones y en el horizonte subyacente.

Región	Fe V1	Cu V2	Zn V3	Mn V4	Na V5	K V6	Ca V7	Mg V8	pH V9	M.O. V10	CICT V11	ARE V12	ARC V13
M E D I A S													
1	3.370	0.234	0.450	18.790	1567.46	441.62	2689.00	792.01	7.53	5.73	31.57	29.14	36.71
2	21.857	0.979	0.410	10.673	25.00	43.48	1391.22	332.13	6.36	5.39	14.47	48.46	22.15
3	2.428	0.178	0.142	8.428	768.57	277.64	3278.57	1109.60	8.57	2.65	34.70	49.21	24.56
D E S V I A C I O N E S E S T A N D A R													
1	4.706	0.252	0.404	15.312	1828.37	225.67	1237.68	318.81	0.77	1.35	14.34	9.10	10.00
2	17.509	1.131	0.756	11.589	31.37	38.19	2251.09	246.69	0.74	1.76	4.91	13.45	8.32
3	1.370	0.372	0.363	5.747	1063.05	181.91	1787.21	567.44	0.59	0.83	27.96	6.56	5.01

Tabla 5.- Valores de F y Lambda de Wilks incluidos en cada etapa del análisis discriminante del horizonte subyacente.

VALORES DE F PARCIALES													
VARIABLES													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Paso # 0	33.73	13.22	1.556	6.361	18.14	72.26	9.216	40.40	60.40	23.64	22.84	43.77	35.65
Paso # 1 V6	16.36	7.45	1.525	2.096	4.86		8.645	26.48	35.36	24.52	14.56	23.72	21.47
Paso # 2 V9	10.21	6.28	2.923	1.553	6.79		2.298	19.74		17.21	14.43	24.60	21.10
Paso # 3 V12	11.69	18.33	2.495	0.134	4.56		1.130	20.28		7.42	12.95		4.68
Paso # 4 V8	9.06	16.72	1.713	0.046	3.84		0.886			6.17	3.80		2.37
Paso # 5 V2	1.06		0.954	2.817	2.84		0.568			6.31	1.68		0.26
Paso # 6 V10	0.94		1.110	2.683	3.14		1.560				1.51		0.38
Paso # 7 V5	0.92		1.492	3.998			1.028				1.60		0.55
Paso # 8 V4	0.84		2.485				1.055				1.74		0.65
Paso # 9 V3	1.16						1.046				1.37		0.73
Paso # 10 V11	1.13						1.981						0.81
Paso # 11 V7	1.86												0.24
Paso # 12 V1													0.02

VALORES DE LAMBDA DE WILKS													
Paso # 0	0.61983	0.80618	0.97249	0.89634	0.75196	0.43217	0.85648	0.57649	0.47660	0.69941	0.70658	0.55687	0.60670
Paso # 1 V6	0.33235	0.38018	0.42040	0.41616	0.39673		0.37300	0.29083	0.26210	0.29805	0.34104	0.30109	0.31002
Paso # 2 V9	0.22041	0.23479	0.24863	0.25477	0.23279		0.25140	0.19193		0.19875	0.20683	0.18005	0.18845
Paso # 3 V12	0.14776	0.13409	0.17203	0.17960	0.16590		0.17633	0.13056		0.15811	0.14496		0.16555
Paso # 4 V8	0.11148	0.09924	0.12647	0.13044	0.12172		0.12841			0.11692	0.12181		0.12495
Paso # 5 V2	0.09725		0.09746	0.09418	0.09413		0.09817			0.08858	0.09615		0.09873
Paso # 6 V10	0.08700		0.08673	0.08423	0.08353		0.08763				0.08607		0.08792
Paso # 7 V5	0.08205		0.08117	0.07751			0.08189				0.08100		0.08264
Paso # 8 V4	0.07625		0.07391				0.07594				0.07494		0.07652
Paso # 9 V3	0.07225						0.07241				0.07195		0.07285
Paso # 10 V11	0.07036						0.06921						0.07080
Paso # 11 V7	0.06669												0.06887
Paso # 12 V1													0.06666

negativo; pero además de éstas aparecen aquí otras 2 correlaciones que son cobre y manganeso positiva, sodio y pH positiva. Esto puede explicar, en parte, el hecho de que en los 2 análisis discriminantes (horizonte superficial y subyacente) se obtienen 2 mapas territoriales exactamente iguales, es decir, las 2 funciones discriminantes obtenidas en este análisis vuelven a contener los coeficientes de mayor aportación correspondientes a las variables 4, 6, 9 y 12, o sea, manganeso, potasio, pH y arenas.

Los coeficientes estandarizados que constituyen las 2 funciones son las siguientes:

$$D_1 = 0.24957 (V_1) + 0.52112 (V_2) + 0.23404 (V_3) - 0.40757 (V_4) - 0.09428 (V_5) - 0.41356 (V_6) + 0.18960 (V_7) - 0.34471 (V_8) - 0.42864 (V_9) + 0.04470 (V_{10}) - 0.23971 (V_{11}) + 0.50478 (V_{12}).$$

$$D_2 = -0.11340 (V_1) + 0.33353 (V_2) - 0.14999 (V_3) - 0.14425 (V_4) - 0.48061 (V_5) - 0.31314 (V_6) - 0.31136 (V_7) + 0.36031 (V_8) + 0.83673 (V_9) - 0.42053 (V_{10}) + 0.21146 (V_{11}) + 0.49772 (V_{12}).$$

En D_1 los coeficientes de mayor aportación son los que están asociados a las variables 2, 4, 6, 9 y 12; mientras que en D_2 son los asociados a las variables 5, 9, 10 y 12. La variable 13 nuevamente fue removida por reducir el poder discriminante cuando es combinada con las demás.

La primer función discriminante tiene un eigenvalor de

4.72 que corresponde a un 74.47% de la varianza total de las variables discriminantes. La segunda función tiene un eigenvalor de 1.62 que corresponde a un 25.53% de la varianza total de las variables, por lo tanto, la primer función es la que más ayuda a hacer una buena separación de los grupos o regiones. En este análisis también las 2 funciones resultan altamente significativas a través de la prueba de ji-cuadrada.

Finalmente, la proporción de casos u observaciones bien asignadas dentro de cada una de las regiones fue alta, por lo que también aquí se puede considerar que hubo una buena discriminación de regiones.

Además de estos 2 análisis discriminantes que se realizaron en los 2 primeros horizontes, también se hizo un tercero en las muestras de suelo que corresponden al tercer horizonte, en el caso de Guanajuato y Veracruz, o a la tercera profundidad en el caso de Sonora. Este último análisis resultó diferente a los 2 anteriores porque el comportamiento y cantidad de nutrimentos así como las propiedades físicas y químicas del suelo en esta profundidad, son muy diferentes en relación a los 2 horizontes superficiales.

En general, se observa un contenido menor, en promedio, en la mayoría de los nutrimentos, como se puede apreciar en la Tabla 6.

Además, volvemos a observar que la variable potasio es la que entra en la primera etapa del análisis, variable que

Tabla 6.- Medias y desviaciones estandar utilizadas en el análisis discriminante con trece variables, tres regiones y en la tercera profundidad.

Región	Fe V1	Cu V2	Zn V3	Mn V4	Na V5	K V6	Ca V7	Mg V8	pH V9	M.O. V10	CICT V11	ARE V12	ARC V13
M E D I A S													
1	3.815	0.197	0.286	13.342	1577.55	413.18	3246.05	811.20	7.648	4.362	29.180	32.421	32.453
2	16.803	0.863	0.560	9.818	29.45	47.27	1823.97	332.10	6.651	4.711	15.403	50.739	20.737
3	2.214	0.071	0.178	6.642	891.50	208.35	4271.42	914.17	8.521	2.628	40.664	47.973	24.324
D E S V I A C I O N E S E S T A N D A R													
1	6.075	0.254	0.420	14.373	1881.71	217.29	1812.39	328.26	0.783	1.269	14.459	8.907	8.795
2	14.436	0.962	1.477	13.949	68.78	40.83	2982.51	255.19	1.035	1.583	4.988	11.918	8.519
3	1.121	0.267	0.372	4.797	1443.86	171.29	2051.89	486.46	0.554	0.849	31.334	8.243	6.655

también resulta tener un alto poder discriminante. En la Tabla 7 podemos observar los valores de F parciales y Lambdas de Wilks, que nos señalan el orden en que se van seleccionando las variables en cada etapa del análisis.

En la matriz de correlación observamos una correlación positiva entre hierro y cobre; entre hierro y calcio negativa; entre calcio y capacidad de intercambio catiónico positiva; entre magnesio y capacidad de intercambio catiónico positiva; entre materia orgánica y arcillas positiva; y finalmente, entre arenas y arcillas negativa.

Las funciones discriminantes estandarizadas obtenidas en este análisis fueron las siguientes:

$$D_1 = -0.60405 (V_2) - 0.45263 (V_3) + 0.39094 (V_4) - 0.03299 (V_5) + 0.48593 (V_6) - 0.26971 (V_7) + 0.25838 (V_8) + 0.34657 (V_9) - 0.61938 (V_{10}) + 0.43520 (V_{11}) - 0.54586 (V_{12}) + 0.21009 (V_{13}).$$

$$D_2 = -0.19693 (V_2) + 0.09829 (V_3) + 0.24535 (V_4) + 0.41550 (V_5) + 0.23112 (V_6) + 0.23743 (V_7) + 0.00180 (V_8) - 0.85795 (V_9) + 0.36805 (V_{10}) - 0.57621 (V_{11}) - 0.94180 (V_{12}) - 0.52829 (V_{13}).$$

En D_1 los coeficientes de mayor aportación son los que están asociados a las variables 2, 10 y 12; mientras que en D_2 resultaron ser los asociados a las variables 9, 11, 12 y 13. En este análisis la variable 1 (hierro) finalmente no se incluye por reducir el poder discriminante de las funciones cuando esta

Tabla 7.- Valores de F y Lambda de Wilks incluidos en cada etapa del análisis discriminante en la tercera profundidad.

V A L O R E S D E F P A R C I A L E S													
V A R I A B L E S													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Paso # 0	18.645	12.515	1.0337	1.5013	10.969	44.704	6.1353	23.729	25.802	12.141	13.657	31.888	17.855
Paso # 1	11.260	8.927	1.0443	0.8809	1.280		8.5494	16.669	18.364	11.808	18.476	14.218	7.722
Paso # 2	6.391	5.485	0.8079	0.8923	0.628		1.4437	3.804	16.584	14.942		12.352	5.506
Paso # 3	3.058	4.594	1.9708	1.0546	1.716		0.9065	3.513		8.922		14.182	5.328
Paso # 4	2.871	8.316	2.3239	0.5042	1.326		0.4473	3.463		6.103			1.475
Paso # 5	0.292		1.5944	1.6653	1.291		0.6021	3.300		6.096			1.370
Paso # 6	0.390		2.5150	2.8074	1.042		1.9719	1.950					3.428
Paso # 7	0.378		3.3822	2.5956	1.653		0.7465	1.340					
Paso # 8	0.306			4.5938	2.123		0.8616	1.254					
Paso # 9	0.427				2.123		0.6818	1.130					
Paso # 10	0.304						1.2761	0.966					
Paso # 11	0.863							1.289					
Paso # 12	0.820												

V A L O R E S D E L A M B D A D E W I L K S													
Paso # 0	0.68740	0.76613	0.97540	0.96467	0.78893	0.47839	0.86983	0.63341	0.61374	0.77152	0.75013	0.56250	0.69662
Paso # 1	0.37432	0.39198	0.46636	0.46820	0.46373		0.39500	0.33890	0.32914	0.37039	0.32852	0.35408	0.40178
Paso # 2	0.28326	0.28890	0.32201	0.32135	0.32344		0.31707	0.29999	0.23223	0.23917		0.25100	0.28877
Paso # 3	0.21554	0.20804	0.22120	0.22619	0.22256		0.22702	0.21326		0.18944		0.17088	0.20463
Paso # 4	0.15916	0.14084	0.16127	0.16870	0.16526		0.16894	0.15694		0.14775			0.16465
Paso # 5	0.13978		0.13524	0.13500	0.13627		0.13868	0.12972		0.12159			0.13600
Paso # 6	0.12035		0.11404	0.11323	0.11834		0.11559	0.11565					0.11153
Paso # 7	0.11041		0.10230	0.10431	0.10682		0.10935	0.10768					
Paso # 8	0.10146			0.09100	0.09675		0.09997	0.09895					
Paso # 9	0.08995				0.08600		0.08933	0.08827					
Paso # 10	0.08528						0.08306	0.08375					
Paso # 11	0.08108							0.08014					
Paso # 12	0.07831												

variable se encuentra combinada con las demás.

La primera función tiene un eigenvalor de 4.51 que corresponde a un 78.14% de la varianza total que aportan todas las variables. La segunda función tiene un eigenvalor de 1.26 que explica el 21.86% restante de la varianza; las 2 funciones resultan ser altamente significativas, aunque la primera sea la que más ayuda a hacer una buena discriminación por regiones.

El mapa territorial que se obtuvo en este análisis aparece en la Figura 2 y se interpreta de igual manera que como se explicó para el primer análisis, sólo que ahora considerando a las variables que, en este análisis, tuvieron mayor aportación discriminante.

Para este tercer análisis discriminante se incluyeron 85 casos: 38 de la región 1, 33 de la región 2 y 14 de la región 3. De los 38 casos de la región 1, el 92.1% de ellos cayeron en la región 1 y el 7.9% en la región 3, es decir, que hubo 7.9% de casos mal asignados. El 100% de asignación correcta lo constituyó el grupo o región 2, pues los 33 casos cayeron dentro de éste. En el grupo 3 el 92.9% de los casos cayeron en él, habiendo un 7.1% de casos mal asignados que cayeron en el grupo 1.

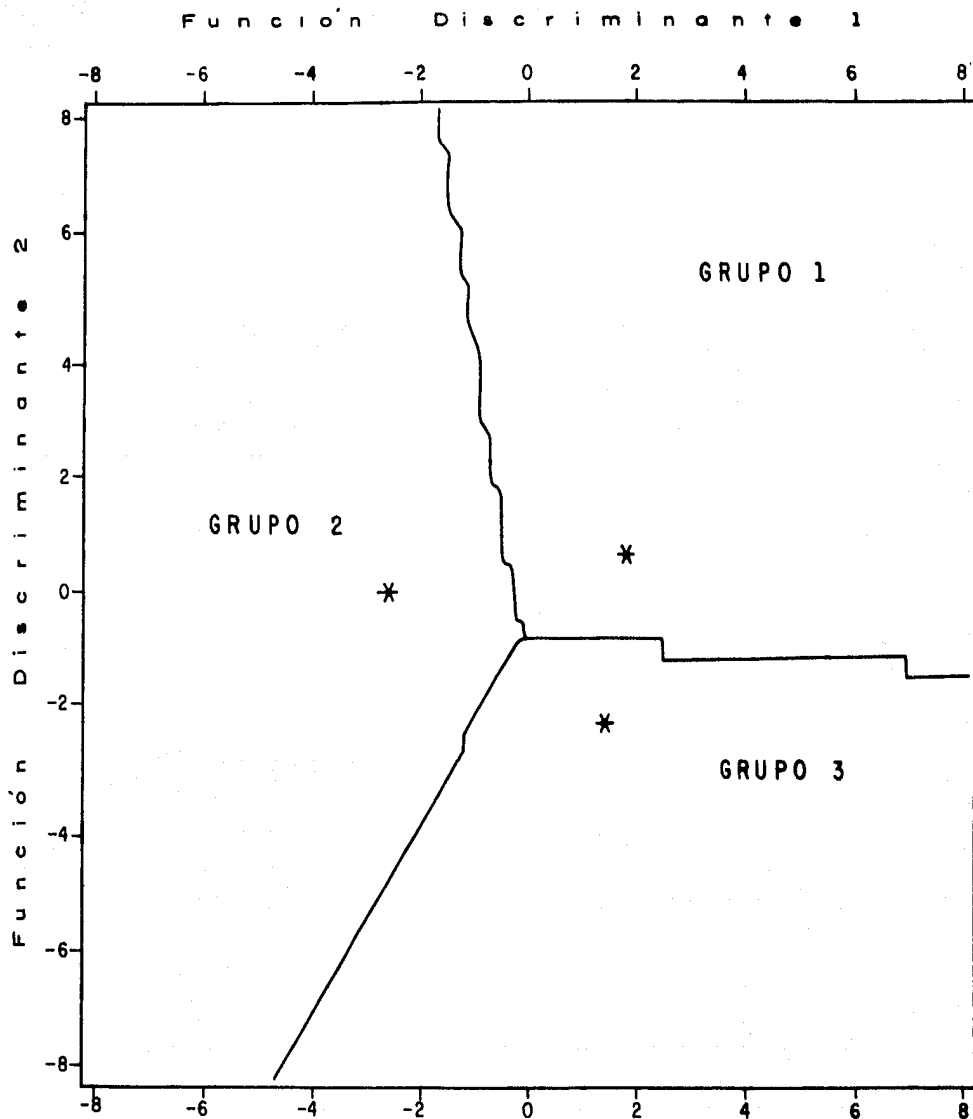


FIG.2.- MAPA TERRITORIAL OBTENIDO DEL ANALISIS DISCRIMINANTE, REALIZADO CON LAS MUESTRAS DE SUELO DE LA TERCERA PROFUNDIDAD.

6.3 Análisis de Correlación Canónica.

Como uno de los objetivos planteados para este trabajo, fue el estudiar las relaciones que existen entre las mediciones de los contenidos de nutrimentos (variables criterio) en relación a un grupo de variables edafogenéticas como son: pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, arenas y arcillas (variables predictoras). Para lograr este objetivo se realizó un análisis de correlación canónica en cada una de las 3 regiones estudiadas y en cada una de las profundidades que se utilizaron para el análisis discriminante, es decir, horizonte superficial (profundidad 1) horizonte subyacente (profundidad 2) y el horizonte inmediato inferior al subyacente (profundidad 3). Por todo esto, resultan 9 análisis de correlación canónica y son los siguientes:

- | | |
|------------------|----------|
| 1) Profundidad 1 | Región 1 |
| 2) Profundidad 2 | Región 1 |
| 3) Profundidad 3 | Región 1 |
| 4) Profundidad 1 | Región 2 |
| 5) Profundidad 2 | Región 2 |
| 6) Profundidad 3 | Región 2 |
| 7) Profundidad 1 | Región 3 |
| 8) Profundidad 2 | Región 3 |
| 9) Profundidad 3 | Región 3 |

Iremos analizando las salidas de los subprogramas en el mismo orden mencionado. En todas éstas, aparecen algunas estadísticas como medias, desviaciones estándar y una matriz de varianzas y covarianzas, además de los eigenvalores, coeficientes de correlación canónica, valores de lambda de --- Wilks y el nivel de significancia de las 5 posibles correlaciones que pueden ser obtenidas en cada análisis, puesto -- que el grupo más pequeño es el grupo de variables predictoras que tiene sólo 5 variables.

En el análisis de la profundidad 1 de la región 1 -- (Guanajuato) observamos que se obtuvieron 2 correlaciones altamente significativas, con un nivel de significancia de 0.000 para la primera correlación y de 0.004 para la segunda.

Empezaremos a analizar la primera correlación cuyo coeficiente de correlación canónica es de 0.772 y una lambda de Wilks de 0.127. Los coeficientes para cada una de las - variables criterio y predictoras, se dan a continuación.

Coefficientes de variables predictoras.	Coefficientes de variables criterio.
V_9 - 0.11564	V_1 0.22828
V_{10} - 0.30663	V_2 0.14662
V_{11} - 1.15273	V_3 - 0.01503
V_{12} - 0.10518	V_4 - 0.32843
V_{13} 0.03508	V_5 - 0.24581
	V_6 0.43450
	V_7 - 0.81251
	V_8 - 0.32943

Si observamos los coeficientes de mayor valor, que corresponden a las variables que dan mayor información acerca de la relación entre las 2 columnas, podemos decir que la capacidad de intercambio catiónico (V_{11}) es la variable que más influye sobre el contenido de calcio asimilable (V_7). Como estas 2 variables tienen el signo algebraico negativo, esto significa que al haber una disminución en la variable 11 (C.I.C.T.), se provocará una disminución en el contenido de calcio asimilable.

La segunda correlación o combinación lineal tiene un coeficiente de correlación canónica de 0.611 y un valor de lambda de Wilks de 0.315. Los coeficientes para cada una de las variables criterio y predictoras son las siguientes:

Coefficientes de variables
predictoras.

V₉ 0.75249
V₁₀ - 0.51070
V₁₁ 0.52200
V₁₂ - 0.88037
V₁₃ - 1.32022

Coefficientes de variables
criterio.

V₁ 0.18784
V₂ 0.02359
V₃ - 0.32961
V₄ - 0.27543
V₅ 0.43323
V₆ 0.41030
V₇ 0.26487
V₈ - 0.49514

Con estos valores podemos observar, principalmente, que al haber una disminución en el contenido de arcillas se ocasionará una disminución en el contenido de magnesio asimilable.

Para la profundidad 2 de la misma región, encontramos que ninguna de las 5 posibles correlaciones canónicas es significativa ni al 0.05 nivel de probabilidad, es decir, que en esta profundidad no existe ningún tipo de asociación entre -- las variables predictoras (pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico total, arenas y arcilla) y las variables respuesta (hierro, cobre, zinc, manganeso, sodio, potasio, calcio y magnesio). Esto quiere decir que, el contenido de nutrimentos en el suelo, es totalmente independiente de las condiciones de pH, materia orgánica, C.I.C.T., arenas y arcilla que exista en esa zona.

De los 9 análisis de correlación canónica, sólo en este caso, resultan no significativas las correlaciones obtenidas.

En la profundidad 3 de esta misma región, donde se incluyen 38 casos, podemos observar que de las 5 posibles combinaciones lineales, sólo una resulta altamente significativa (nivel de significancia menor del 0.01) a través de la prueba de ji-cuadrada que se realiza con los valores de lambda de Wilks. Esta combinación lineal, que resulta significativa tiene un coeficiente de correlación canónica de 0.927 y una lambda de Wilks de 0.030.

Esta función canónica con el mayor coeficiente de correlación la componen los siguientes coeficientes:

Coefficientes de variables predictoras.	Coefficientes de variables criterio.
$V_9 - 0.68759$	$V_1 - 0.12873$
$V_{10} - 0.34166$	$V_2 - 0.13433$
$V_{11} - 0.11560$	$V_3 - 0.18115$
$V_{12} - 0.33128$	$V_4 - 0.46908$
$V_{13} - 0.08207$	$V_5 - 0.04806$
	$V_6 - 0.04863$
	$V_7 - 1.04721$
	$V_8 - 0.17079$

Como se puede observar la variable 9 (pH), es la que tiene el coeficiente más alto y, por lo tanto, es la que está influyendo más sobre el contenido de los nutrimentos, y en este caso, muy particularmente sobre el calcio y el manganeso que son las variables que tienen el mayor coeficiente. Ahora bien, si observamos los signos algebraicos de estas variables podemos decir que, si hay una disminución en el pH habrá un aumento en el contenido de calcio y manganeso asimilables. Esto puede parecer un poco ilógico, sin embargo, si observamos que el pH promedio en este horizonte es de 7.49 podemos esperar que, si la disminución de pH es de 7.49 a 7.00, habrá una mayor cantidad de estos elementos en forma asimilable en el suelo.

Ahora, pasaremos a analizar las 3 correlaciones canónicas correspondientes al Estado de Veracruz (región 2).

En el primer horizonte, o sea, el superficial, se obtuvo solamente una combinación lineal altamente significativa con un coeficiente de correlación canónica de 0.847 y un valor de Lambda de Wilks de 0.101 y cuyos coeficientes para cada una de las variables son los siguientes:

Coefficientes de variables predictoras.	Coefficiente de variables criterio.
v_9 -0.09433	v_1 0.12810
v_{10} 0.22806	v_2 0.35715
v_{11} 0.03068	v_3 0.34842
v_{12} -0.87938	v_4 0.00076
v_{13} 0.26527	v_5 0.47511
	v_6 -0.13582
	v_7 0.14689
	v_8 -0.01137

Si observamos los valores más altos de los coeficientes, es decir, los que aportan mayor información para establecer la relación entre los 2 grupos de variables, podemos decir que las concentraciones de sodio, así como las de cobre y zinc se van a ver incrementadas al haber una disminución del porcentaje de arenas.

En la siguiente profundidad, o sea, en el horizonte subyacente al superficial se encontró nuevamente una correlación canónica altamente significativa cuyo coeficiente de correlación es de 0.865 y el valor de lambda de Wilks es de 0.078. Los coeficientes para cada una de las variables son los siguientes:

Coefficientes de variables
predictoras.

V_9 -0.37850
 V_{10} -0.22475
 V_{11} 0.06369
 V_{12} 1.00559
 V_{13} 0.60611

Coefficientes de variables
criterio.

V_1 -0.52936
 V_2 -0.31806
 V_3 -0.08189
 V_4 -0.17735
 V_5 -0.06989
 V_6 0.04115
 V_7 -0.81776
 V_8 -0.11148

Si observamos estos valores, los de mayor información son los valores más altos, así por ejemplo, de las variables predictoras, las arenas y arcillas son las variables que más influyen sobre el contenido de nutrimentos, muy particularmente sobre el calcio y el hierro, los cuales se ven disminuidos si aumenta el porcentaje de arenas, principalmente.

En la tercera profundidad de esta misma región de Veracruz se obtuvo una correlación canónica altamente significativa, con un coeficiente de correlación de 0.916 y un valor de lambda de Wilks de 0.028. Los coeficientes para cada una de las variables canónicas son los siguientes:

Coeficientes de variables

predictoras.

V_9	-0.61515
V_{10}	0.00071
V_{11}	-0.08511
V_{12}	0.84061
V_{13}	0.47690

Coeficientes de variables

criterio.

V_1	-0.06483
V_2	-0.41194
V_3	-0.17433
V_4	-0.32777
V_5	-0.23943
V_6	0.09578
V_7	-0.93464
V_8	0.22231

Al observar los coeficientes de mayor valor para poder correlacionar una columna con la otra, encontramos que las variables predictoras que más están influyendo sobre el comportamiento de las variables criterio son: el porcentaje de arenas y el pH; lo cual quiere decir que al haber un aumento en el porcentaje de arenas y una disminución en el valor de pH, se provocaría una disminución en los contenidos de calcio, cobre y manganeso. Esto resulta lógico puesto que el valor promedio de pH en este horizonte es de 6.58, y si este valor disminuye se ocasionarían reacciones de precipitación entre iones fosfato y compuestos de calcio solubles. Por otra parte, hay que considerar que, en este horizonte, hay otra variable que está influyendo mucho sobre el contenido de los nutrimentos y que es el porcentaje de arenas, lo cual nos indica que al haber un incremento en el porcentaje de és

tas habrá, lógicamente, una disminución en el contenido de calcio, cobre y manganeso asimilables, principalmente.

Finalmente, interpretamos los 3 análisis de correlación canónica correspondientes al Estado de Sonora (región 3).

En el horizonte superficial encontramos también, sólo una combinación lineal altamente significativa, con un coeficiente de correlación de 0.994 y un valor de lambda de Wilks de 0.00013. Los coeficientes para cada una de las variables canónicas son los siguientes:

Coeficientes de variables predictoras.	Coeficientes de variables criterio.
V_9 -0.38938	V_1 -0.09956
V_{10} -0.28056	V_2 0.15599
V_{11} -0.84076	V_3 -0.03623
V_{12} 0.35894	V_4 0.03474
V_{13} 0.19172	V_5 -0.26235
	V_6 -0.62029
	V_7 -1.21197
	V_8 -0.29118

Con los coeficientes de mayor valor en ambas columnas, podremos establecer las siguientes interrelaciones. Por un lado, en este horizonte superficial, la capacidad de intercambio catiónico es la variable que está muy asociada al con

tenido de calcio y potasio asimilables, principalmente. Como el signo algebraico en estas 3 variables mencionadas es negativo, esto significa que al haber una disminuci3n en la capacidad de intercambio cati3nico, se condicionar3 una disminuci3n en el contenido de calcio y potasio asimilables.

En el horizonte subyacente de esta misma regi3n 3, encontramos tambi3n una combinaci3n lineal altamente significativa, con un coeficiente de correlaci3n de 0.999 y un valor de lambda de Wilks de 0.000. Los coeficientes para cada una de las variables can3nicas son los siguientes:

Coefficientes de variables predictoras.	Coefficientes de variables criterio.
V_9 0.53800	V_1 -0.51451
V_{10} 0.90247	V_2 0.23215
V_{11} -0.08976	V_3 0.48144
V_{12} 0.43894	V_4 -0.35776
V_{13} 0.62580	V_5 0.02258
	V_6 0.74678
	V_7 -0.47722
	V_8 0.62299

En este horizonte, las variables predictoras que influyen sobre las variables respuesta son la materia org3nica y las arcillas; y las variables respuesta que se ven influenciadas por las anteriores son, principalmente, potasio y magne-

sio. De acuerdo con los signos algebraicos de estas 4 variables, podemos decir que, al haber un incremento en el contenido de materia orgánica y arcilla, se provocará un aumento en el contenido de potasio y magnesio en forma asimilable.

En la tercera profundidad de esta misma región de Sonora, volvemos a encontrar sólo una correlación canónica altamente significativa, con un coeficiente de correlación de -0.999 y un valor de λ de Wilks de 0.000 , como en el horizonte anterior. Los coeficientes para cada una de las variables canónicas son los siguientes:

Coefficientes de variables predictoras.	Coefficientes de variables criterio.
V_9 0.12324	V_1 -0.19587
V_{10} 0.44871	V_2 0.12521
V_{11} -1.12303	V_3 -0.28754
V_{12} 0.16697	V_4 1.06542
V_{13} -0.08125	V_5 0.69972
	V_6 0.38587
	V_7 -0.10353
	V_8 0.05210

De acuerdo a los coeficientes de mayor valor, podemos establecer las siguientes interrelaciones. En esta profundidad, volvemos a encontrar que la capacidad de intercambio catiónico es la variable predictora que más influye en el con-

tenido de los nutrimentos; y en menor grado, también influye la materia orgánica. Las variables criterio que se ven influenciadas por las mencionadas son, principalmente, manganeso y sodio.

En esta profundidad, lo que se puede decir es que al disminuir el valor de la capacidad de intercambio catiónico y aumentar el contenido de materia orgánica, se provocará un aumento en el contenido de manganeso y sodio asimilables. Lo que ocurre en esta zona es que, al tener un valor promedio de pH de 8.47, se espera que se encuentren altos contenidos de sodio soluble e intercambiable que muy probablemente, influyeron en la técnica de laboratorio para determinar la capacidad de intercambio catiónico, originando una relación inversa entre estas 2 variables. En cuanto al manganeso, lo más probable es que en estos suelos con pH alcalino, el tipo de manganeso que puede predominar es la forma tetravalente. Debido a que esta forma es muy estable, lo más probable es que se haya cuantificado manganeso intercambiable y soluble en forma de ion Mn^{++} , el cual es retenido en el complejo húmicoarceloso. Es muy probable que este ion Mn^{++} se haya originado a partir de una reducción del manganeso tetravalente por cambios en los potenciales de óxido-reducción y de pH en esa zona.

7. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en este estudio, presentados y discutidos en páginas anteriores, se dan las siguientes conclusiones:

Las diferencias ecológicas de cada región se ven reflejadas en las características del suelo, esta apreciación resulta clara en los mapas territoriales obtenidos en los análisis discriminantes, los cuales muestran las 3 regiones bien definidas.

La variable que tuvo un alto poder discriminante fue el contenido de potasio en los 3 análisis discriminantes efectuados.

Las variables que demostraron menor poder discriminante en relación al potasio fueron: pH, materia orgánica, porcentaje de arcillas, manganeso asimilable y arenas.

La discriminación fue muy buena en los 3 análisis realizados, pues de 314 muestras incluidas en los análisis sólo un 7% de ellas estuvieron mal asignadas.

En las 3 regiones muestreadas, se encontraron relaciones positivas y negativas de algunos nutrimentos en relación con algunas propiedades del suelo, por ejemplo: entre hierro y cobre (+), entre calcio y capacidad de intercambio catiónico (+), entre arenas y arcilla (-), entre sodio y pH (+), entre hierro y calcio (-), entre cobre y arenas (-), entre co-

bre y manganeso (+), entre magnesio y capacidad de intercambio catiónico (+), entre materia orgánica y arcillas (+).

A través del análisis de correlación canónica encontramos que los nutrimentos más dependientes en cada una de las regiones muestreadas fueron las siguientes: en Guanajuato, el calcio, magnesio y manganeso, mostraron dependencia del pH, capacidad de intercambio catiónico y arcillas. En Veracruz, el sodio, calcio, cobre, zinc, hierro y manganeso, mostraron dependencia del pH, arenas y arcillas. En Sonora, el sodio, potasio, calcio, magnesio y manganeso, mostraron dependencia de la capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica y arcilla. Esta dependencia nos muestra la relación de los nutrimentos con las propiedades físicas y químicas de los suelos.

Con base en los valores promedio de los nutrimentos en las 3 regiones y 3 profundidades analizadas, se registraron las siguientes deficiencias:

En Guanajuato (región 1), los suelos de las 3 profundidades son deficientes en hierro, cobre y zinc. En Veracruz (región 2), las 3 profundidades se encontraron deficientes en zinc. Por último, los suelos de Sonora, también en las 3 profundidades, se mostraron deficientes en hierro, cobre y zinc. Las deficiencias que presentan los suelos de Sonora (región 3), son mucho más severas que las que se presentan en Guanajuato (región 1). El resto de los nutrimentos se encuentran en concentraciones normales, excepto el sodio que se encuentra ligeramente en exceso en la región de Sonora.

BIBLIOGRAFIA

- Afzal, K. M.; S. Nortcliff, 1982, Variability of selected soil micronutrients in a single soil series in Berkshire, England, *Jour. Soil. Sci.* 33: 763-770.
- Alexander, M., 1980, *Introducción a la Microbiología del Suelo*. AGT Editor. México. 491 p.
- Asghar, M; Y. Kanehiro, 1981, The fate of applied iron and manganese in an oxisol and an ultisol from Hawaii. *Soil Sci.* 131: 53-55.
- Bear, F. E., 1965, *Chemistry of the soil*. Reinhold Publishing Corporation. New York. 513 p.
- Berg, R. C., 1980, Use of stepwise discriminant analysis to assess soil genesis in a youthful sandy environment. *Soil Sci.* 129: 353-365.
- Berrow, M. L.; G. A. Reaves, 1984, Extractable copper concentrations in Scottish soils. *Jour. Soil Sci.* 36: 31-43.
- Bhatia, M.; U. C. Shukla, 1981, Magnesium and zinc relationship in relation to dry matter yield and the concentration and uptake of nutrients in wheat. *Soil Sci.* 131: 151-155.
- Buckman, H. O.; N. C. Brady, 1970, *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Editorial Montaner y Simon. España. 590 p.
- Carter, M. R.; G. R. Webster, 1979, Calcium deficiency in some solonetzic soils of Alberta. *Jour. Soil Sci.* 30: 161-174.

- Comisión de Estudios del Territorio Nacional. Carta Topográfica 1:50,000, Los Arrieros H12C79, Sonora, 1974, Secretaría de Programación y Presupuesto. México.
- Corral, Z. C. y M. C. Pérez, 1986, Evaluación de la aptitud de las tierras para fines agrícolas en el Municipio de Purísima de Bustos, Edo. de Guanajuato. Tesis Profesional. Escuela Nal. de Estudios Profesionales Zaragoza. Univ. Nal. Autón. México. México, D. F., 159 p.
- Cram, H. S.; G. A. M. Noguez, 1985, Evaluación del suelo para determinar la aptitud de la tierra en el Municipio de Salamanca, Edo. de Guanajuato. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. Univ. Nal. Autón. México. 99 p.
- Chapman, H. D. (Editor) 1965, Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside, California. 793 p.
- Chapman, H. D.; P. F. Pratt, 1973, Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Ed. Trillas. México, 195 p.
- Christian, G. D.; F. J. Feldman, 1970, Atomic Absorption Spectroscopy: Applications in Agriculture, Biology and Medicine. Ed. John Wiley and Sons. New York. 490 p.
- Davies, B. E.; B. G. Wixson, 1985, Trace elements in surface soils from the mineralized area of Madison County, Missouri, U.S.A., Jour. Soil Sci. 36: 551-570.
- Dhillon, S. K.; P. S. Sidhu; M. K. Sinha, 1981, Copper adsorption by alkaline soils. Jour. Soil Sci. 32: 571-578.
- Duchaufour, P., 1978, Manual de Edafología. Editorial Toray-Masson. España. 476 p.

- Epstein, E., 1972, Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. John Wiley and Sons. New York. 233 p.
- Fischer, A. F., 1963, Essay review of Descriptive Paleoclimatology. Amer. J. Sci. 261: 282-293.
- Flores, M. G., et al., 1971, Memoria del mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana. S.R.H. México, D.F. 59 p.
- Fortun, C.; C. López-Fando, 1983, Influencia del ácido húmico sobre la nutrición mineral y el desarrollo radicular de plantas de maíz cultivadas en soluciones nutritivas normales y carentes de Fe y Mn. Anales de Edafología y Agrobiología. 26: 335-349.
- Gómez, G.J.M.; A. C. Hoyos, 1983, Correlaciones entre bioelementos: estudio realizado en Trifolium subterraneum L. y Avena sativa L. Anales de Edafología y Agrobiología. 26: 321-334.
- Goodman, B. A.; M. V. Cheshire, 1979, A Mössbauer spectroscopic study of the effect of pH on the reaction between iron and humic acid in aqueous media. Jour. Soil Sci. 30: 85-91.
- Hair, J. F.; R. E. Anderson; R. L. Tatham; B. J. Grabrowsky, 1979, Multivariate Data Analysis. Petroleum Publishing Company. Oklahoma, U.S.A. 360 p.
- Hem, J. D., 1965, Reduction of manganese dioxide by organic solvents. U. S. Geol. Survey Water Supply Paper. 1667-D. 28 p.

- Henderson, R.; J. M. Ragg, 1980, A reappraisal of soil mapping in an area of southern Scotland. Part II. The usefulness of some morphological properties and of a discriminant analysis in distinguishing between the dominant taxa of four mapping units. Jour. Soil Sci., 31: 573-580.
- Hernández, S. G., 1983, Método paramétrico para evaluar la aptitud de las tierras; un caso: la caña de azúcar. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Univ. Nal. Autón. México. 180 p.
- Isaac, R. A.; J. D. Kerber, 1971, Atomic absorption and flame photometry: Techniques and uses in soil, plant, and water analysis. p. 17-37. In: L. M. Walsh (editor). Instrumental methods for analysis of soils and plant tissue. Soil Science Society of America. Inc. Wisconsin, U.S.A., 222 p.
- Jarvis, S. C., 1984, The forms of occurrence of manganese in some acidic soils. Jour. Soil Sci. 35: 421-429.
- Jiménez, R. A., 1978, Algunos estudios de suelos sódico-salinos en el Municipio de Abasolo, Tamaulipas. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. Univ. Nal. Autón. México. 116 p.
- Kononova, M. M., 1982, Materia orgánica del suelo. Ediciones Oikos-Tau. España. 365 p.
- Krauskopf, K. B., 1979, Introduction to Geochemistry. 2nd. Edition. McGraw-Hill Kogakusha. Tokio, Japan. 617 p.

- López, R., E., 1974, Carta Geológica del Estado de Sonora. 1:500,000. Instituto de Geología, UNAM. México.
- Mashhady, A. S.; D. L. Rowell, 1978, Soil Alkalinity. II. The effects of Na_2CO_3 on iron and manganese supply to tomatoes. Jour. Soil Sci. 29: 367-372.
- McLaren, R. G.; R. S. Swift; J. G. Williams, 1981, Adsorption of copper by soil materials at low equilibrium solution concentrations. Jour. Soil Sci. 32: 247-256.
- Mortvedt, J. J.; P. M. Giordano; W. L. Lindsay, 1983, Micronutrientes en Agricultura. AGT Editor. México. 742 p.
- Newman, R.; Y. Waisel., 1966, Uptake of iron by seedlings of Eucalyptus camaldulensis. Pl. and Soil 25: 341-346.
- Pozuelo, G.J.M., 1980, Anomalías inducidas por deficiencias de Ca o de Mg en raíces de plantas de Zea mays L., observaciones "de visu" y a nivel celular. Anales de Edafología y Agrobiología. 84: 1957-1970.
- Reaves, G. A.; M. L. Berrow, 1984, Total copper contents of Scottish soils. Jour. Soil Sci. 51: 583-592.
- Richards, L. A. (Editor), 1974, Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Ed. Limusa. México. 172 p.
- Sakal, R. M. Sing, 1976, Influence of zinc and magnesium on nutrient supply to wheat plants. Fert. Tech. 13: 41-44.
- Sánchez, G. L., 1980, Estudio de correlación y calibración de diferentes métodos de análisis químicos para cobre

- en el suelo. Tesis Profesional. Univ. Autón. Chapingo. México. 65 p.
- Sanders, J. R., 1982, The effect of pH upon the copper and cupric ion concentrations in soil solutions. Jour. Soil Sci. 33: 679-689.
- Sanders, J. R.; C. Bloomfield, 1980, The influence of pH, ionic strength and reactant concentrations on copper complexing by humified organic matter. Jour. Soil Sci. 31: 53-63.
- Schnitzer, M.; K. Ghosh, 1982, Characteristics of water-soluble fulvic acid-copper and fulvic acid-iron complexes. Soil Sci. 134: 354-363.
- Sillanpää, M., 1976, Los oligoelementos en los suelos y en la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Boletín de Suelos No. 17. 71 p.
- - -, 1982, Micronutrients and the nutrient status of soils: a global study. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Soils Bulletin No. 48. 194-206.
- Spencer, W. F., 1966, Effect of copper on yield and uptake of phosphorus and iron by citrus seedlings grown at various phosphorus levels. Soil Sci. 102: 296-299.
- Tamhane, R. V.; D. P. Motiramani; Y. P. Bali, 1978, Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales. Ed. Diana. México. 483 p.

- Villegas, S. M.; H. N. Aguilera; D. L. Flores, 1978, Método simplificado de análisis para la clasificación granulométrica de los minerales del suelo. Rev. Inst. Geología. Univ. Nal. Autón. México. 2: 188-193.
- Walker, T. R., 1967, Formation of red beds in modern and ancient deserts. Geol. Soc. Amer. Bull. 78: 353-368.
- Walkley, A.; I. A. Black, 1934, An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.
- Webster, R.; S. Nortcliff, 1984, Improved estimation of micronutrients in hectare plots of the Sonning Series. Jour. Soil Sci. 35: 667-672.
- Yadav, J. S. P.; I. K. Girdhar, 1981, The effects of different magnesium: calcium ratios and sodium adsorption ratio values of leaching water on the properties of calcareous versus noncalcareous soils. Soil Sci. 131: 194-198.

A P E N D I C E

NUMBER OF CASES BY GROUP

V14	NUMBER OF CASES		LABEL.PAGE.
	UNWEIGHTED	WEIGHTED	
1	53	53.0	
2	48	48.0	
3	15	15.0	
TOTAL	116	116.0	

GROUP MEANS

V14	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
1	4.21698	0.46604	0.66604	34.49057	1198.35849	527.05660	2452.83000	764.04906
2	29.16667	1.10417	0.98958	23.67708	22.52083	81.16667	1284.84100	472.32292
3	3.10000	0.30000	0.80000	16.80000	738.66667	467.86667	2996.66600	1043.73333
TOTAL	14.39655	0.70862	0.81724	27.72845	652.36207	334.89655	2039.84800	679.50086

V14	V9	V10	V11	V12	V13
1	7.12736	8.06962	27.78434	31.02208	34.79792
2	6.28750	8.28187	15.10688	49.03083	20.43854
3	8.52667	3.62467	27.82133	49.18133	24.10867
TOTAL	6.96078	7.58267	22.54328	40.82216	27.47388

DISCRIMINACION POR REGIONES

11/26/86

PAGE 4

GROUP STANDARD DEVIATIONS

V14	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
1	4.75305	0.39102	0.52181	17.38658	1480.91364	224.43274	1136.81467	309.43170
2	33.68571	1.36038	0.87816	17.02860	18.06959	66.16367	1048.11777	516.94028
3	1.25641	0.45513	1.08233	9.95849	1148.94614	220.49647	1648.20971	630.24818
TOTAL	25.09231	0.92823	0.77700	17.62883	1206.83259	276.21004	1341.64035	489.26425

V14	V9	V10	V11	V12	V13
1	0.72177	1.92386	12.75551	8.05330	8.42729
2	0.77970	2.28645	6.60577	13.21348	7.33945
3	0.58244	1.20047	17.35748	5.43062	3.90579
TOTAL	1.02330	2.51840	12.94051	13.63035	10.14119

ANALYSIS NUMBER 1

STEPWISE VARIABLE SELECTION

SELECTION RULE: MINIMIZE WILKS' LAMBDA
MAXIMUM NUMBER OF STEPS..... 26
MINIMUM TOLERANCE LEVEL..... 0.00100
MINIMUM F TO ENTER..... 1.0000
MAXIMUM F TO REMOVE..... 1.0000.PAGE.

CANONICAL DISCRIMINANT FUNCTIONS

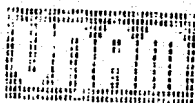
MAXIMUM NUMBER OF FUNCTIONS..... 2
MINIMUM CUMULATIVE PERCENT OF VARIANCE... 100.00
MAXIMUM SIGNIFICANCE OF WILKS' LAMBDA... 1.0000

PRIOR PROBABILITY FOR EACH GROUP IS 0.33333

----- VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 0 -----

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V1	1.0000000	1.0000000	18.524	0.7530930
V2	1.0000000	1.0000000	7.5283	0.3816511
V3	1.0000000	1.0000000	3.2344	0.2512578
V4	1.0000000	1.0000000	9.1962	0.8600191.PAGE.
V5	1.0000000	1.0000000	14.900	0.7913128
V6	1.0000000	1.0000000	85.620	0.3975518
V7	1.0000000	1.0000000	18.057	0.7578087
V8	1.0000000	1.0000000	10.833	0.8391084
V9	1.0000000	1.0000000	56.124	0.5916687
V10	1.0000000	1.0000000	32.427	0.6234163
V11	1.0000000	1.0000000	17.369	0.7648552
V12	1.0000000	1.0000000	44.156	0.4413154
V13	1.0000000	1.0000000	37.537	0.5143756

DISCRIMINATION FOR REGIONS



AT STEP 1, V6 WAS INCLUDED IN THE ANALYSIS.

WILKS' LAMBDA	0.3975518	DEGREES OF FREEDOM	1	2	SIGNIFICANCE	113.0	BETWEEN GROUPS
EQUIVALENT F	85.61985		2	113.0	0.0000		

----- VARIABLES IN THE ANALYSIS AFTER STEP 1 -----

VARIABLE	TOLERANCE	F TO REMOVE	WILKS' LAMBDA
V6	1.0000000	85.620	

.PAGE.

----- VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 1 -----

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V1	0.9989647	0.9989647	6.4871	0.2562797
V2	0.9989660	0.9989660	2.6568	0.3794817
V3	0.9999380	0.9999380	1.0182	0.3901524
V4	0.9960416	0.9960416	8.1830	0.3468660
V5	0.9900332	0.9900332	3.7698	0.3724775
V7	0.9993491	0.9993491	9.1780	0.3415709
V8	0.9802035	0.9802035	3.9765	0.3711939
V9	0.9956230	0.9956230	35.475	0.2433756
V10	0.9601302	0.9601302	36.642	0.2403113
V11	0.9268966	0.9268966	18.964	0.2969816
V12	0.9976468	0.9976468	24.218	0.2775288
V13	0.9788900	0.9788900	31.602	0.2541372

.PAGE.

F STATISTICS AND SIGNIFICANCES BETWEEN PAIRS OF GROUPS AFTER STEP 1
EACH F STATISTIC HAS 1 AND 113.0 DEGREES OF FREEDOM.

GROUP	1	2
2	161.42	0.0000
3	1.3203	55.087
	0.2530	-0.0000

DISCRIMINACION POR REGIONES

11/26/86

PAGE 11



AT STEP 2, V10 WAS INCLUDED IN THE ANALYSIS.

WILKS' LAMBDA EQUIVALENT F	0.2403113 58.23545	DEGREES OF FREEDOM 2 2 4	SIGNIFICANCE 113.0 224.0	BETWEEN GROUPS 0.0000
----------------------------	-----------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------

----- VARIABLES IN THE ANALYSIS AFTER STEP 2 -----

VARIABLE	TOLERANCE	F TO REMOVE	WILKS' LAMBDA
V6	0.9601302	90.441	0.6284163
V10	0.9601302	36.642	0.3975518.PAGE.



----- VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 2 -----

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V1	0.9984800	0.9588908	5.4375	0.2188682
V2	0.9989527	0.9592203	2.1260	0.2314456
V3	0.9274184	0.8904976	2.5970	0.2295692
V4	0.9611096	0.9264576	5.6683	0.2180424
V5	0.9662159	0.9370323	4.3162	0.2229708
V7	0.9873564	0.9486082	9.1575	0.2062759
V8	0.9548250	0.9352714	5.4223	0.2189229
V9	0.9941191	0.9569934	23.284	0.1692895
V11	0.9072893	0.9041677	15.901	0.1867940
V12	0.9915314	0.9542447	23.506	0.1688132
V13	0.9408006	0.9227707	34.453	0.1482694

.PAGE.

F STATISTICS AND SIGNIFICANCES BETWEEN PAIRS OF GROUPS AFTER STEP 2
EACH F STATISTIC HAS 2 AND 112.0 DEGREES OF FREEDOM.

GROUP	1	2
2	84.848 0.0000	
3	28.288 -0.0000	71.936 0.0000

DISCRIMINACION POR REGIONES

AT STEP 3, V13 WAS INCLUDED IN THE ANALYSIS.

WILKS' LAMBDA EQUIVALENT F	0.1482694 59.08950	DEGREES OF FREEDOM 3 2 6	SIGNIFICANCE 113.0 222.0	BETWEEN GROUPS 0.0000
----------------------------	-----------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------



----- VARIABLES IN THE ANALYSIS AFTER STEP 3 -----

VARIABLE	TOLERANCE	F TO REMOVE	WILKS' LAMBDA
V6	0.9493420	67.064	0.3274329
V10	0.9227707	39.628	0.2541372.PAGE.
V13	0.9408006	34.453	0.2403113

----- VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 3 -----

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V1	0.9903772	0.9213310	5.5689	0.1346370
V2	0.9190891	0.8655861	5.6519	0.1344529
V3	0.9168609	0.8480272	3.1949	0.1401294
V4	0.9556925	0.8864980	2.3398	0.1422191
V5	0.9566003	0.9062751	1.3847	0.1446283
V7	0.9778845	0.9079003	8.0052	0.1294310
V8	0.9400989	0.8919900	6.1123	0.1334398
V9	0.9931636	0.9209660	23.137	0.1043650
V11	0.8567710	0.8567710	6.7504	0.1320609
V12	0.3951658	0.3749475	1.9810	0.1431147

.PAGE.

F STATISTICS AND SIGNIFICANCES BETWEEN PAIRS OF GROUPS AFTER STEP 3
EACH F STATISTIC HAS 3 AND 111.0 DEGREES OF FREEDOM.

GROUP	1	2
2	96.524 0.0000	
3	33.243 0.0000	47.793 0.0000

DISCRIMINACION POR REGIONES

AT STEP 4, V9 WAS INCLUDED IN THE ANALYSIS.

WILKS' LAMBDA EQUIVALENT F	0.1043650 57.62464	DEGREES OF FREEDOM 4 2 8	SIGNIFICANCE 113.0 220.0	BETWEEN GROUPS 0.0000
-------------------------------	-----------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------



----- VARIABLES IN THE ANALYSIS AFTER STEP 4 -----

VARIABLE	TOLERANCE	F TO REMOVE	WILKS' LAMBDA
V6	0.9459089	45.974	0.1916035
V9	0.9931636	23.137	0.1482694.PAGE.
V10	0.9209660	26.960	0.1555224
V13	0.9398963	34.215	0.1692895

----- VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 4 -----

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V1	0.9623113	0.9188826	4.0621	0.0971259
V2	0.9174442	0.8640799	5.0344	0.0955396
V3	0.9167967	0.8463271	2.8984	0.0990949
V4	0.9509103	0.8835709	2.4407	0.0998915
V5	0.8662640	0.8662640	3.7601	0.0976293
V7	0.9716013	0.9068617	4.4212	0.0965338
V8	0.9400124	0.8901652	4.5518	0.0963203
V11	0.8223417	0.8223417	9.1594	0.0893347
V12	0.3913061	0.3714738	0.61968	0.1031917

.PAGE.

F STATISTICS AND SIGNIFICANCES BETWEEN PAIRS OF GROUPS AFTER STEP 4
EACH F STATISTIC HAS 4 AND 110.0 DEGREES OF FREEDOM.

GROUP	1	2
GROUP		
2	77.159	0.0000

3 37.114 61.026
 0.0000 0.0000
 DISCRIMINACION POR REGIONES

11/26/86 PAGE 14



AT STEP 5, V11 WAS INCLUDED IN THE ANALYSIS.

WILKS' LAMBDA EQUIVALENT F	0.0893347 51.13674	DEGREES OF FREEDOM 5 2 10	SIGNIFICANCE 113.0 218.0	BETWEEN GROUPS 0.0000
-------------------------------	-----------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------

----- VARIABLES IN THE ANALYSIS AFTER STEP 5 -----

VARIABLE	TOLERANCE	F TO REMOVE	WILKS' LAMBDA
V6	0.9019195	50.144	0.1715294
V9	0.9532533	26.066	0.1320609-PAGE.
V10	0.9130119	22.882	0.1268430
V11	0.8223417	9.1694	0.1043650
V13	0.8828995	23.068	0.1271474

----- VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 5 -----

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V1	0.9394593	0.8028135	2.6487	0.0851577
V2	0.8993216	0.7985866	3.3316	0.0841433
V3	0.8736792	0.7836665	3.1508	0.0844095
V4	0.9128323	0.7894121	3.9368	0.0832644
V5	0.8225874	0.7808796	4.8087	0.0820299
V7	0.5018516	0.4247560	0.85216	0.0879469
V8	0.8406209	0.7353920	3.6382	0.0836958
V12	0.3912547	0.3611998	0.54515	0.0884419

.PAGE.

F STATISTICS AND SIGNIFICANCES BETWEEN PAIRS OF GROUPS AFTER STEP 5
 EACH F STATISTIC HAS 5 AND 109.0 DEGREES OF FREEDOM.

GROUP	1	2
-------	---	---

2 72.487
0.0000

3 29.933 57.223
0.0000 0.0000

DISCRIMINACION POR REGIONES

11/26/86

PAGE 15



AT STEP 6, U5 WAS INCLUDED IN THE ANALYSIS.

WILKS' LAMBDA	0.0820299	DEGREES OF FREEDOM	SIGNIFICANCE	BETWEEN GROUPS
EQUIVALENT F	44.84728	6 2 113.0	12 216.0	0.0000

----- VARIABLES IN THE ANALYSIS AFTER STEP 6 -----

VARIABLE	TOLERANCE	F TO REMOVE	WILKS' LAMBDA
U5	0.8225874	4.8087	0.0893347
U6	0.8739575	49.414	0.1570928.PAGE.
U9	0.8380000	31.327	0.1296171
U10	0.8959750	24.071	0.1185948
U11	0.7808796	10.269	0.0976293
U13	0.8816239	20.999	0.1139285

----- VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 6 -----

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V1	0.9293782	0.7573689	2.9227	0.0777807
V2	0.8985241	0.7647820	3.3438	0.0772045
V3	0.8729644	0.7478543	2.6910	0.0781015
V4	0.9053412	0.7447448	3.9501	0.0763898
V7	0.4937031	0.3985744	0.50274	0.0612662
V8	0.8077519	0.6791077	2.2348	0.0767300
V12	0.3994285	0.3611561	0.37370	0.0814609

.PAGE.

AT STEP 7, V4 WAS INCLUDED IN THE ANALYSIS.

WILKS' LAMBDA EQUIVALENT F	0.0763898 40.01975	DEGREES OF FREEDOM 7 2 14	SIGNIFICANCE 113.0 214.0	BETWEEN GROUPS 0.0000
----------------------------	-----------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------

----- VARIABLES IN THE ANALYSIS AFTER STEP 7 -----

VARIABLE	TOLERANCE	F TO REMOVE	WILKS' LAMBDA
V4	0.9053412	3.9501	0.0820299
V5	0.8158369	4.8146	0.0832644, PAGE.
V6	0.8555407	50.892	0.1490560
V9	0.8235755	32.103	0.1222286
V10	0.8610146	23.015	0.1092523
V11	0.7447448	12.085	0.0936453
V13	0.3682581	17.050	0.1007352

----- VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 7 -----

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V1	0.8864617	0.7325825	4.2608	0.0707056
V2	0.7923902	0.7408883	6.4833	0.0680638
V3	0.7735302	0.7302496	3.9132	0.0711374
V7	0.4459285	0.3969768	0.26389	0.0760113
V8	0.8077514	0.6516860	2.1821	0.0733691
V12	0.3857895	0.3611492	0.48319	0.0756997

.PAGE.

F STATISTICS AND SIGNIFICANCES BETWEEN PAIRS OF GROUPS AFTER STEP 7
EACH F STATISTIC HAS 7 AND 107.0 DEGREES OF FREEDOM.

GROUP	1	2
2	55.738 0.0000	
3	24.120 0.0000	45.086 0.0000

DISCRIMINACION POR REGIONES

11/26/86

PAGE 17



AT STEP 8, V2 WAS INCLUDED IN THE ANALYSIS.

WILKS' LAMBDA EQUIVALENT F	0.0680638 37.53760	DEGREES OF FREEDOM 8 2 16	SIGNIFICANCE 113.0 212.0	BETWEEN GROUPS 0.0000
----------------------------	-----------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------

----- VARIABLES IN THE ANALYSIS AFTER STEP 8 -----

VARIABLE	TOLERANCE	F TO REMOVE	WILKS' LAMBDA
V2	0.7923902	6.4833	0.0763898
V4	0.7984021	7.1177	0.0772045.PAGE.
V5	0.8158350	4.7622	0.0741796
V6	0.8532713	43.446	0.1238580
V9	0.8217906	31.062	0.1079542
V10	0.8605544	22.629	0.0971243
V11	0.7408883	10.009	0.0809171
V13	0.7978710	21.119	0.0951855

----- VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 8 -----

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V1	0.7520456	0.6722384	1.3147	0.0664010
V3	0.7735211	0.7165962	3.6862	0.0635984
V7	0.4224425	0.3793993	0.56141	0.0673437
V8	0.8051172	0.6502263	2.3349	0.0651657
V12	0.2955804	0.2955804	1.7690	0.0658451

.PAGE.



F STATISTICS AND SIGNIFICANCES BETWEEN PAIRS OF GROUPS AFTER STEP 8
EACH F STATISTIC HAS 8 AND 106.0 DEGREES OF FREEDOM.

GROUP	1	2
2	55.377 0.0000	
3	21.541 0.0000	40.088 0.0000

DISCRIMINACION POR REGIONES

AT STEP 9, U3 WAS INCLUDED IN THE ANALYSIS.

WILKS' LAMBDA EQUIVALENT F	0.0635984 34.59527	DEGREES OF FREEDOM 9 2 18	SIGNIFICANCE 113.0 210.0	BETWEEN GROUPS 0.0000
----------------------------	-----------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------

----- VARIABLES IN THE ANALYSIS AFTER STEP 9 -----

VARIABLE	TOLERANCE	F TO REMOVE	WILKS' LAMBDA
U2	0.7923809	6.2234	0.0711374
U3	0.7735211	3.6862	0.0680638.PAGE.
U4	0.7165962	8.4955	0.0738897
U5	0.8126344	4.0782	0.0685387
U6	0.8545360	41.978	0.1144500
U9	0.8217532	29.628	0.0994902
U10	0.8221031	24.856	0.0937087
U11	0.7264917	9.8803	0.0755674
U13	0.7860036	22.018	0.0902708

----- VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 9 -----

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V1	0.7494439	0.6717804	1.0230	0.0623714
V7	0.4009125	0.3544556	0.76010	0.0626821
V8	0.7888800	0.6457731	3.0626	0.0600610
V12	0.2698353	0.2698353	3.6195	0.0594596

.PAGE.

F STATISTICS AND SIGNIFICANCES BETWEEN PAIRS OF GROUPS AFTER STEP 9
EACH F STATISTIC HAS 9 AND 105.0 DEGREES OF FREEDOM.

GROUP	1	2
2	49.816 0.0000	
3	20.878 0.0000	35.753 0.0000

DISCRIMINACION POR REGIONES



AT STEP 10, V12 WAS INCLUDED IN THE ANALYSIS.

WILKS' LAMBDA	0.0594596	DEGREES OF FREEDOM	SIGNIFICANCE	BETWEEN GROUPS
EQUIVALENT F	32.25033	10 2	113.0	
		20	208.0	0.0000

----- VARIABLES IN THE ANALYSIS AFTER STEP 10 -----

VARIABLE	TOLERANCE	F TO REMOVE	WILKS' LAMBDA
V2	0.5933061	8.9592	0.0697040
V3	0.7061472	5.5844	0.0658451.PAGE.
V4	0.6963566	9.5901	0.0704254
V5	0.8093819	3.6002	0.0635763
V6	0.7939163	31.358	0.0953165
V9	0.8141157	27.064	0.0904055
V10	0.8179822	21.755	0.0843350
V11	0.7210137	9.7198	0.0705737
V12	0.2698353	3.6195	0.0635984
V13	0.3394275	1.3839	0.0610420

----- VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 10 -----

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V1	0.6849538	0.2466158	2.4524	0.0567569
V7	0.3885822	0.2615363	0.52817	0.0588560
V8	0.7874552	0.2693479	2.5927	0.0566096

.PAGE.

F STATISTICS AND SIGNIFICANCES BETWEEN PAIRS OF GROUPS AFTER STEP 10
EACH F STATISTIC HAS 10 AND 104.0 DEGREES OF FREEDOM.

GROUP	1	2
2	45.945	0.0000
3	20.200	32.040
	0.0000	0.0000

DISCRIMINACION POR REGIONES

11/26/86

PAGE 20



AT STEP 11, V8 WAS INCLUDED IN THE ANALYSIS.

WILKS' LAMBDA EQUIVALENT F	0.0546096 29.99132	DEGREES OF FREEDOM 11 2 22	SIGNIFICANCE 113.0 206.0	BETWEEN GROUPS 0.0000
-------------------------------	-----------------------	----------------------------------	--------------------------------	--------------------------

----- VARIABLES IN THE ANALYSIS AFTER STEP 11 -----

VARIABLE	TOLERANCE	F TO REMOVE	WILKS' LAMBDA
V2	0.5928023	8.8198	0.0663045
V3	0.6953438	6.2335	0.0634616.PAGE.
V4	0.6941780	9.6864	0.0672571
V5	0.7755190	2.5304	0.0593910
V6	0.7517524	29.935	0.0895146
V8	0.7874552	2.5927	0.0594596
V9	0.8023055	24.027	0.0830202
V10	0.7774734	23.636	0.0825906
V11	0.6398233	7.9228	0.0653185
V12	0.2693479	4.1398	0.0600610
V13	0.3368613	1.6036	0.0583723



----- VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 11 -----

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V1	0.6822107	0.2464949	2.6283	0.0538352
V7	0.3679031	0.2596771	0.73896	0.0558011

.PAGE.

F STATISTICS AND SIGNIFICANCES BETWEEN PAIRS OF GROUPS AFTER STEP 11
EACH F STATISTIC HAS 11 AND 103.0 DEGREES OF FREEDOM.

GROUP	1	2
2	42.025 0.0000	
3	19.457 0.0000	29.170 0.0000

DISCRIMINACION POR REGIONES

AT STEP 12, V1 WAS INCLUDED IN THE ANALYSIS.

WILKS' LAMBDA	0.0538352	DEGREES OF FREEDOM		SIGNIFICANCE	BETWEEN GROUPS
EQUIVALENT F	28.13411	12	2	113.0	
		24	204.0	0.0000	

----- VARIABLES IN THE ANALYSIS AFTER STEP 12 -----

VARIABLE	TOLERANCE	F TO REMOVE	WILKS' LAMBDA
V1	0.6822107	2.6283	0.0566096
V2	0.5634547	5.7241	0.0598775.PAGE.
V3	0.6942696	6.1997	0.0603795
V4	0.6854172	10.302	0.0647096
V5	0.7719157	2.5984	0.0565780
V6	0.7427900	26.557	0.0818691
V8	0.7843016	2.7678	0.0567569
V9	0.7788564	23.532	0.0786752
V10	0.7774508	22.758	0.0778583
V11	0.6332036	7.3787	0.0616242
V12	0.2464949	4.5957	0.0586864
V13	0.3188482	0.68463	0.0545579



----- VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 12 -----

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V7	0.3668220	0.2369506	0.60880	0.0531940

.PAGE.

F STATISTICS AND SIGNIFICANCES BETWEEN PAIRS OF GROUPS AFTER STEP 12
EACH F STATISTIC HAS 12 AND 102.0 DEGREES OF FREEDOM.

GROUP	1	2
2	39.619	0.0000
3	18.527	26.490
	0.0000	0.0000

DISCRIMINACION POR REGIONES

AT STEP 13, U13 WAS REMOVED FROM THE ANALYSIS.

WILKS' LAMBDA	0.0545579	DEGREES OF FREEDOM	11	2	SIGNIFICANCE	113.0	BETWEEN GROUPS
EQUIVALENT F	30.72448		22		206.0		0.0000

----- VARIABLES IN THE ANALYSIS AFTER STEP 13 -----

VARIABLE	TOLERANCE	F TO REMOVE	WILKS' LAMBDA
V1	0.7207517	3.6006	0.0583723
V2	0.5766004	6.7822	0.0617429.PAGE.
V3	0.7079138	7.0873	0.0620660
V4	0.6965414	11.722	0.0669758
V5	0.7719712	2.6263	0.0573402
V6	0.7939707	26.839	0.0829906
V8	0.7881404	2.6660	0.0573822
V9	0.7826052	24.004	0.0799873
V10	0.8056402	23.388	0.0793343
V11	0.6348489	7.6544	0.0626668
V12	0.6033059	26.536	0.0826696

----- VARIABLES NOT IN THE ANALYSIS AFTER STEP 13 -----

VARIABLE	TOLERANCE	MINIMUM TOLERANCE	F TO ENTER	WILKS' LAMBDA
V7	0.3949453	0.3667120	0.33030	0.0542069
V13	0.3188482	0.2464949	0.68463	0.0538352

.PAGE.

F STATISTICS AND SIGNIFICANCES BETWEEN PAIRS OF GROUPS AFTER STEP 13
EACH F STATISTIC HAS 11 AND 103.0 DEGREES OF FREEDOM.

GROUP	1	2
2	43.044	0.0000
3	20.257	29.163
	0.0000	0.0000

F LEVEL OR TOLERANCE OR V13 INSUFFICIENT FOR FURTHER COMPUTATION.
DISCRIMINATION FOR REGIONS



CLASSIFICATION FUNCTION COEFFICIENTS
(FISHER'S LINEAR DISCRIMINANT FUNCTIONS)

V14	=	1	2	3
V1		0.1663027	0.2216781	0.2260104
V2		2.361610	4.658876	3.853727
V3		1.294433	2.897487	4.078229
V4		0.1816575	.3025262E-01	.9329317E-01
V5		-.3816211E-02	-.3464530E-02	-.4885395E-02
V6		.3290980E-01	.1565788E-01	.3538765E-01
V8		-.3927587E-02	-.2482287E-02	-.9860897E-03
V9		18.07703	16.08554	21.61180
V10		1.339078	1.475748	-0.2592484
V11		0.9227328	0.7611302	0.9962571.PAGE.
V12		0.6752573	0.9537482	1.009375
(CONSTANT)		-103.5654	-94.51114	-140.7496

CANONICAL DISCRIMINANT FUNCTIONS

FUNCTION	EIGENVALUE	PERCENT OF VARIANCE	CUMULATIVE PERCENT	CANONICAL CORRELATION :	AFTER FUNCTION :	WILKS' LAMBDA	CHI-SQUARED	D.F.	SIGNIFICANCE
1*	4.80441	69.01	69.01	0.9097896	0	0.0545579	314.12	22	0.0000
2*	2.15780	30.99	100.00	0.8266339	1	0.3166763	124.19	10	0.0000

* MARKS THE 2 CANONICAL DISCRIMINANT FUNCTION(S) TO BE USED IN THE REMAINING ANALYSIS.
DISCRIMINACION POR REGIONES

11/26/86

PAGE 24



STANDARDIZED CANONICAL DISCRIMINANT FUNCTION COEFFICIENTS

	FUNC 1	FUNC 2
V1	0.21969	0.27243
V2	0.42584	0.27512
V3	0.18562	0.45644
V4	-0.50457	-0.28482
V5	0.13690	-0.26322
V6	-0.71000	0.14439
V8	0.09086	0.28529
V9	-0.44338	0.59696
V10	0.20228	-0.71950
V11	-0.45605	0.21530
V12	0.50300	0.71999

UNSTANDARDIZED CANONICAL DISCRIMINANT FUNCTION COEFFICIENTS

	FUNC 1	FUNC 2
V1	.1000070E-01	.1240167E-01
V2	0.4576500	0.2956662
V3	0.2414085	0.5936445
V4	-.3059533E-01	-.1726986E-01
V5	.1264075E-03	-.2430418E-03
V6	-.4031025E-02	.8197911E-03
V8	.2009585E-03	.6309889E-03
V9	-0.6063983	0.8164441
V10	0.1004871	-0.3572516
V11	-.3994435E-01	.1885793E-01
V12	.4882564E-01	.698825E-01
(CONSTANT)	3.680108	-7.191363.PAGE.



CANONICAL DISCRIMINANT FUNCTIONS EVALUATED AT GROUP MEANS (GROUP CENTROIDS)

GROUP	FUNC 1	FUNC 2
1	-1.88473	-0.95036
2	2.57220	-0.07928
3	-1.57165	3.61165

TEST OF EQUALITY OF GROUP COVARIANCE MATRICES USING BOX'S M

THE RANKS AND NATURAL LOGARITHMS OF DETERMINANTS PRINTED ARE THOSE OF THE GROUP COVARIANCE MATRICES.

GROUP LABEL	RANK	LOG DETERMINANT
1	11	48.603781.PAGE.
2	11	46.569979
3	11	40.429073
POOLED WITHIN-GROUPS COVARIANCE MATRIX	11	56.092861

BOX'S M APPROXIMATE F DEGREES OF FREEDOM SIGNIFICANCE
 1056.3 6.2367 132. 5390.3 0.0000
 DISCRIMINACION POR REGIONES

11/26/86

PAGE 26