

2es
102



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**LAS CACTACEAS COMO BIOINDICADORAS
DE MINERALES**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGIA

P R E S E N T A N :

ROSA MARIA IRIGOYEN CAMACHO

EMILIO IBARRA MORALES

México, D.F.

1986



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.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	2
ANTECEDENTES	3
I PROSPECCION MINERALOGICA POR BIOINDICADORES	4
II LOS METALES Y LA FISIOLOGIA DE LAS PLANTAS	5
2.1 Absorción de iones por las plantas	9
2.2 Translocación de elementos hacia la planta	11
2.3 Relación existente entre los elementos de importancia biológica y la Tabla Periódica	15
III DISTRIBUCION Y MIGRACION DE LOS ELEMENTOS METALICOS EN EL SUELO	17
3.1 Dispersión primaria	17
3.2 Dispersión secundaria	18
IV RELACION ENTRE LOS ELEMENTOS METALICOS ANALIZADOS POR MEDIO DE LA PROSPECCION MINERALOGICA, EN SUELOS Y PLANTAS	19
V GENERALIDADES DE SUELOS DE CLIMA SEMIARIDO	27
5.1 Horizontes	27
5.1.1 Horizonte A	28
5.1.2 Horizonte B	28
5.1.3 Horizonte C	28
5.2 Alteración de minerales	29

5.2.1 Alteración de minerales primarios	29
5.2.2 Alteración de minerales secundarios	29
5.3 Clima	30
5.4 Material basal	30
5.5 Topografía	30
5.6 Vegetación	31
VI COMPOSICION QUIMICA DE LAS CACTACEAS	32
VII DESCRIPCION GENERAL DEL AREA EN ESTUDIO	34
7.1 Localización y límites	34
7.2 Fisiografía	34
7.3 Geología	34
7.4 Topografía	34
7.5 Clima	34
7.6 Vegetación	34
7.7 Suelo	34
VIII DESCRIPCION TAXONOMICA DE LA ESPECIE SELECCIONADA	36
IX GENERALIDADES DE LA TECNICA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X	38
METODOLOGIA	41
1 Trabajo de campo	41
1.1 Selección del área de estudio	41
1.2 Especie seleccionada	41
1.3 Colecta del material vegetal y edáfico	41
1.3.1 Muestreo de la vegetación	41
1.3.2 Muestreo de suelos	42
2 Trabajo de laboratorio	42

2.1	Análisis edafológicos	42
2.1.1	Análisis físicos	43
2.1.2	Análisis químicos	43
2.3	Análisis espectrográficos	43
2.3.1	Analizador elemental KEVEX	43
2.3.2	Fluorescencia de rayos X por bombardeo de electrones	44
2.3.3	Fluorescencia de rayos X por bombardeo de protones	45
3	Trabajo de gabinete	47
3.1	Obtención de las características edafológicas	47
3.2	Determinación del material vegetal	47
3.3	Ejemplares de herbario	47
3.4	Metodología para los análisis estadísticos	47
X	RESULTADOS	50
XI	DISCUSION	70
XII	CONCLUSION	77
	APENDICE 1	
	APENDICE 2	
	BIBLIOGRAFIA	80

INTRODUCCION

México se caracteriza por ser un país con grandes recursos mineros, algunos explotados y muchos de ellos todavía no localizados. La abundancia de algunos minerales en el Territorio Nacional o la escasez de otros, está íntimamente relacionada con la historia geológica.

El conocimiento y la ubicación de todos los recursos naturales, tanto los renovables como los no renovables es una condición básica para el aprovechamiento de estos recursos en beneficio de la economía de las comunidades.

Por estos motivos cada día se enfatiza más la necesidad de desarrollar tecnologías, para el mejor uso de los recursos naturales y su preservación equilibrada.

Tal es el caso de nuestra pionera investigación, enfocada a la utilización de las cactáceas como posibles bioindicadoras de la presencia de minerales.

En la República Mexicana, se encuentra más del 50% de su superficie constituida por zonas áridas y semiáridas, cuya vegetación, está integrada por más del 60% de miembros de la familia Cactaceae según reportes publicados por la Secretaría de Programación y Presupuesto (1981), en estas zonas es donde existen las grandes reservas de Au, Ag, Cu, Pb, Sn, Zn, Hg, Sb, Mn y Si, entre otros.

En Suecia, Estados Unidos de América, Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, Nueva Zelanda y la República Democrática Alemana, principalmente, han estado utilizando con éxito desde hace 50 años, la prospección mineralógica basada en estudios de la vegetación y de determinadas especies vegetales consideradas por sus alteraciones morfológicas como bioindicadoras. Sin embargo no han incluido hasta la fecha a la familia Cactaceae, por ser una familia casi exclusiva de zonas áridas y semiáridas del Continente Americano y los países dedicados a este tipo de estudios, generalmente son de climas templados o fríos. Por lo anterior juzgamos importante el estudio de la familia Cactaceae debido a su gran abundancia en nuestro territorio y además de su coexistencia en áreas de grandes reservas de minerales.

OBJETIVOS

Conocer si la *Mamillaria vagaspina*, Craig es bioindicadora de metales en el suelo.

Estudiar si las alteraciones morfológicas de la cactácea estudiada, corresponden a efectos causados por la presencia de elementos metálicos en el sustrato.

ANTECEDENTES

Los primeros en la utilización de las plantas como un método de prospección mineralógica fueron los suecos Falqvist y Brudin (1939), de la "Swedish Prospecting Co.", ellos realizaron análisis espectrográficos en cenizas de hojas de pino y observaron que contenían metales acumulados. Como resultado de este trabajo, descubrieron pequeños depósitos de Sn y W en Cornwall, Gran Bretaña. Lundberg (1947), al observar las anomalías en los encinos cercanos a las fallas geofísicas de Newfoundland, Estados Unidos de América, realizó el análisis químico de estas plantas comprobando que la vegetación indicaba la presencia de Pb y Zn, contenido en el suelo en que crecían. En Grecia, la compañía geofísica "Electrisk Malmeting" (1948), reportó algunos trabajos encontrando una correlación positiva para el contenido de Cr en gramíneas y en el sustrato. Reichen y Lakin (1949), establecieron durante el estudio de la composición química de hojas del roble, que éstas pueden reflejar la composición del suelo donde habitan y concluyeron que la vegetación tiene la capacidad de acumular algunos elementos en cantidades superiores a sus requerimientos. Además, por medio de las plantas es posible estudiar en áreas extensas el incremento o disminución de un elemento en el suelo. Dos años después, Reichen y Ward (1951), describieron un método de campo auxiliar en la búsqueda de yacimientos minerales. Observaron por medio de análisis químicos, la sensibilidad de las plantas al Mo y el rango del contenido de este mineral en la vegetación. Hawkes (1957), indicó que además de los métodos tradicionales utilizados en la prospección geoquímica, es factible la utilización de las coníferas como bioindicadoras para la localización de depósitos minerales. Señaló que se puede deducir si una solución nutritiva es o no rica en elementos metálicos por dos métodos: a) la composición química de la planta y b) variaciones en sus características morfológicas o ecológicas. Además señaló que los factores causantes de anomalías en las plantas son: 1) disponibilidad de los elementos en el suelo; 2) factores fisiológicos que controlan el movimiento de las soluciones hacia las plantas (translocación); 3) nutrición de las plantas y 4) efectos químicos y biológicos de este proceso que pueden ser utilizados como guía para la prospección mineralógica. Blanco y Blanco (1958), físicos mexicanos de la Universidad Nacional Autónoma de México, realizaron las primeras investigaciones en algunas cactáceas procedentes de minas de Au y Ag, analizando las cenizas totales de las plantas por medio del espectrografo de rayos X del Instituto de Física de la U.N.A.M., detectaron la presencia de los siguientes metales: U, Au, Ag y Mo entre otros, pero no prosiguieron en sus estudios dentro de esta línea de investigación. Brooks (1972) trabajando en Nueva Zelanda, enfatizó sobre el valor de la vegetación como guía en la prospección mineralógica, basándose en la observación de los cambios morfológicos de las plantas y sugirió la necesidad de la utilización de técnicas analíticas, como la espectrografía por fluorescencia de rayos X, a fin de establecer las relaciones

suelo-planta. Davies et al. (1978), realizaron estudios sobre las relaciones entre el suelo y algunas plantas herbáceas en cuanto a su contenido de Cu y Mo. Chamel et al. (1979) detectaron por medio del espectrómetro de masas, en cutículas de hojas de pera (*Pirus communis*), hasta 30 minerales, entre ellos: Ca, Al, Na, Fe, Si, Ag, U, Ni, Cu, etc.. Stonefield y Suda (1979) en Ontario, Canadá realizaron análisis de suelos recogiendo muestras del sustrato hasta los 15 cm de profundidad y detectaron: Be, Se, Hg, Mn y Sb. Leavitt, Dueser y Goodell (1979) trabajaron en Virginia, Estados Unidos de América con las siguientes especies: *Quercus rubra*, *Q. velutina*, *Q. falcata* y *Cornus florida*; y observaron que dichas plantas contenían altas concentraciones de Cu, Zn, Cd, Ag y Pb. Hafez, Reisenaver y Stont (1979) analizaron el Cr en las plantas y obtuvieron datos respecto a la solubilidad y absorción de este elemento demostrando que en las plantas podemos encontrar metales de diferentes tipos siempre y cuando estos existan en el suelo donde se desarrollan. Mark y Bilinska (1980) señalaron que muchos organismos son utilizados como bioindicadores, particularmente de factores edáficos locales y que un amplio rango de plantas tienen una especial utilidad, ya que estas pueden exhibir anomalías morfológicas o fisiológicas, frecuentemente necrosis, factibles de ser utilizadas para diagnosticar elementos tóxicos específicos en el suelo.

CAPITULO I

PROSPECCION MINERALOGICA POR BIOINDICADORES

El término "planta bioindicadora", se aplica a aquellas que presentan una distribución geográfica limitada y cambios morfológicos que evidencian cierto contenido metálico en su sustrato, para ellas tóxico (Brooks, 1972). Stöcker (1980) define como bioindicadores sensitivos a aquellos organismos que reaccionan manifestando alteraciones morfológicas en un tiempo breve provocadas por la presencia de metales en el suelo. Existiendo también bioindicadores acumulativos, que son organismos capaces de soportar concentraciones de metales tóxicos sin aparentar daños por lo menos, durante un cierto período de tiempo.

En la prospección mineralógica, el contenido metálico de muestras de la vegetación es un índice de la composición de las soluciones existentes en el suelo a cierta profundidad, como también en cierta extensión lateral, alrededor del sitio muestreado (Hawkes, 1957).

Para la identificación de los síntomas de toxicidad en las especies bioindicadoras, es necesario un cuidadoso estudio taxonómico relacionado con los factores bióticos y abióticos. Para esto, se debe elaborar un minucioso análisis físico-químico del suelo, afinándose tal metodología por medio del análisis espectrográfico, que indique los metales existentes para su posterior cuantificación, siendo esta información de gran utilidad para la prospección mineralógica.

Los diversos colores observados en las plantas bioindicadoras, causados por la presencia de diferentes elementos, son referidos en la literatura como "síntomas diagnósticos", presentándose aun bajo condiciones favorables de humedad, pH, estructura del suelo, porosidad, etc. (Cannon, 1960; Brooks, 1972; Hawkes, 1957). Esto se interpreta como causa directa del exceso de uno o varios elementos tóxicos en el suelo. Por ejemplo, suelos con exceso de zinc pueden ser causa del color amarillento en las hojas, fenómeno conocido como clorosis (que indica un decremento de la capacidad metabólica de la célula). Algo similar ha sido observado por el exceso de cobre, cobalto y calcio (Reichen y Lakin, 1949).

Si una solución nutritiva absorbida por la planta contiene un exceso o deficiencia de minerales, esto puede reflejarse por alteraciones en su fenotipo, lo que es factible de ser detectado y cuantificado por el análisis de la composición química, tanto de las plantas como del sustrato en el que crecen, siendo esto un parámetro valioso para la localización de depósitos minerales y que puede ser apoyado por la interpretación de los análisis físico-químicos realizados.

Cannon (1957) propone que es necesario considerar para la prospección mineralógica por medio de la vegetación, factores tales como: a) disponibilidad de los elementos metálicos en el suelo; b) factores fisiológicos que gobiernan el movimiento de las soluciones en los vegetales; c) mecanismo de nutrición de las plantas y d) efectos químicos y biológicos de este proceso.

La distribución de los elementos nutritivos en la relación suelo-planta varía en cada especie, en función de la fisiología de la planta.

Los cambios morfológicos en las plantas bajo la influencia de la mineralización son muy variados y determinan algunos síntomas como son: enanismo, gigantismo, moteado, clorosis y necrosis (desintegración completa metabólica y estructural) de las hojas, forma anormal de los frutos, cambio en el color de las flores, alteraciones en el ritmo del período de floración, cambios en la forma de crecimiento, etc. (Brooks, 1972).

La tabla 1 indica diferentes elementos que estando presentes en el sustrato producen determinados cambios morfológicos en las plantas. Podemos observar que ocurren algunos síntomas similares causados por la presencia de diversos elementos, o bien debido a una deficiencia o exceso de uno o más, por lo que es difícil una total seguridad de que elemento o elementos producen la toxicidad al hacer la interpretación a priori del significado de cada variación observada en la vegetación, siendo importante realizar los análisis espectrográficos que comprueben y relacionen la presencia de cada mineral con los síntomas que presentan las plantas (Brooks, 1972).

Con referencia a la toxicidad de los elementos para las plantas, Bowen (1966) ha sugerido que éstos pueden ser:

1) Muy tóxicos, los síntomas de toxicidad se presentan en concentraciones menores a 1 ppm (partes por millón) en el sustrato. Algunos elementos incluidos en este grupo son Be, Cu, Hg, Ag y Sn.

2) Moderadamente tóxicos, los síntomas de toxicidad aparecen en concentraciones de 1 a 100 ppm en el sustrato. Ejemplos de éstos son los elementos de transición: Sc, Y, Ti, Zr, V, Nb, B, Al, Si, Ge, Sb, Bi, Se y Te.

3) Escasamente tóxicos, los síntomas de toxicidad son poco observados, ya que se encuentran en concentraciones normales en el sustrato. Ejemplos de estos elementos son los halógenos, N, P, K, S, Ti, Na, Rb, Ca, Mg, Sr y Ba.

La clasificación anterior, se aplica en mayor grado a las plantas vasculares y los datos se basan en las concentraciones de los elementos en las soluciones nutritivas de los experimentos realizados.

La relación existente entre el sustrato geológico y el

número y tipo de plantas que crecen en un área determinada ha sido observada tanto por botánicos como por geólogos. Mason (1946) estudió la distribución geográfica de plantas interrelacionando varios factores, siendo éstos: a) el medio es afectado por factores climáticos, bióticos y edáficos; b) reacciones fisiológicas de las plantas dentro de sus límites de tolerancia hacia las condiciones ambientales y c) procesos genéticos que fijan el límite de tolerancia, el control de la variabilidad de la población y la adaptación de nuevos individuos a ese medio o con potencial para extenderse en el área de distribución geográfica de estas especies.

La utilización de plantas bioindicadoras, como guía para la prospección mineralógica es considerablemente más compleja que, por ejemplo, la geoquímica de suelos, puesto que la primera no sólo considera la respuesta de las plantas a su medio, sino también incluye dos campos de estudio: el método biogeoquímico, que se basa tanto en el análisis químico del humus o de las plantas para obtener evidencias de la presencia de minerales en el sustrato y los métodos geobotánicos que incluyen un reconocimiento visual de la cubierta vegetal, con vistas a detectar la presencia de minerales en el suelo. Este último método se basa en el estudio de la distribución de las plantas bioindicadoras seleccionadas, observando en estas los cambios fenotípicos inducidos por el exceso de ciertos elementos en el sustrato (Hawkes, 1957; Brooks, 1972).

Es importante considerar para la prospección mineralógica por el análisis de la vegetación, que no todos los elementos que se encuentren en altas concentraciones en los vegetales van a ser necesariamente los que reflejen la abundancia relativa de aquellos elementos en el suelo, pudiendo influir en esto, factores tales como el drenaje del suelo y las condiciones de luz solar (Hawkes, 1957).

Elementos tóxicos como el U y el Pb pueden causar efectos en las plantas que indican su presencia, aunque su concentración promedio en los diferentes órganos sea extremadamente pequeña (Lundberg, 1947; Cannon, 1957).

TABLA 1

CAMBIOS MORFOLOGICOS EN PLANTAS AFECTADAS POR ELEMENTOS TOXICOS
(Brooks, 1972)

ELEMENTO	EFEECTO	
Aluminio	acortamiento de raíces y hojas quemadas.	Wallace (1951).
Boro	hojas deformadas, parduzcas y con manchas	Buvalov y Shvryayeva (1961); Wallace y Dear (1949); Williams y Vlamis (1957).
Cromo	clorosis en hojas.	Hewitt (1953)
Cobre	clorosis en hojas y enanismo.	Duvigneaud (1959); Hewitt (1953)
Cobalto	incremento de clorofila en algunas especies y clorosis en otras.	Hewitt (1953)
Hierro	oscurecimiento de hojas.	Bugharot (1956)
Manganeso	clorosis de hojas con manchas blancas.	Lohnis (1950, 1951).
Molibdeno	formación de colores anormales en los tallos.	Warrington (1937).
Niquel	clorosis y necrosis de hojas.	Hewitt (1953).
Uranio y Radioactividad	frutos anormales, incremento de los cromosomas.	Cannon (1960, 1964); Shacklett (1962, 1964).
Zinc	clorosis de hojas en ocasiones con manchas blancas.	Hewitt (1953).

CAPITULO II

LOS METALES Y LA FISILOGIA DE LAS PLANTAS

La nutrición a partir de las soluciones minerales en el suelo constituye el fenómeno fundamental para la vida de las plantas y el funcionamiento normal de los procesos metabólicos esenciales.

Los elementos químicos que se encuentran en las células vegetales son numerosos, siendo fundamentales los que se encuentran en los compuestos orgánicos: C, O, H, N, K y P, pudiéndose encontrar también otros elementos. El hecho de que se encuentre un elemento en alguna planta no es suficiente para concluir que sea esencial a su nutrición, ya que los minerales son absorbidos por intercambio iónico con el medio, de acuerdo a las leyes físico-químicas que regulan la presión osmótica.

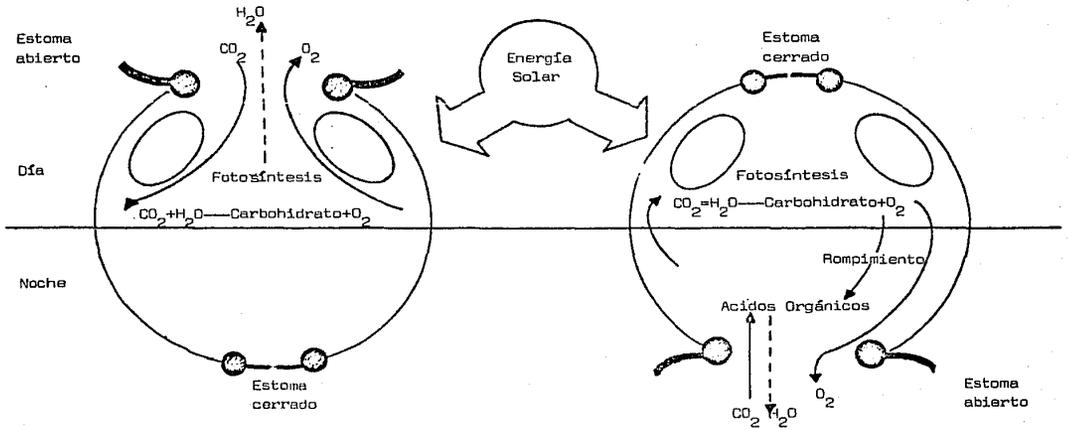
La fisiología de las cactáceas presenta un proceso metabólico complejo. El agua constituye un alto porcentaje del volumen total de estas plantas, cuya estructura presenta numerosos mecanismos y adaptaciones morfológicas para su acumulación y disminución de la evapotranspiración. Algunos de los mecanismos adaptativos son: a) forma globosa del tallo; b) raíces superficiales y muy extendidas, para la absorción de la humedad atmosférica; c) presencia de tubérculos o costillas en el tallo de muchos géneros; d) mecanismo de cierre estomático durante el día y apertura durante la noche, absorbiendo a través de ellos la humedad atmosférica, llamándosele a este fenómeno metabolismo CAM (fig. 1); e) el desarrollo de cámaras subestomáticas que contienen mucilagos que retienen el agua y las sales minerales; f) desarrollo de abundante tejido parenquimatoso con acumulación de agua; g) presencia de numerosos cristales en las células del tallo que retienen el agua y las sales minerales; h) cutícula del tallo engrosada, generalmente recubierta de cera y muchas veces con tricomas que aumentan la superficie de absorción del agua y disminuyen la temperatura de la planta; i) ausencia o reducción de las hojas laminares a hojas cortas subuladas y cáducas con la edad y j) desarrollo de espinas, cerdas, pelos y lana en las areólas, en comunicación con el tejido conductor de agua hacia el interior de la planta.

2.1 Absorción de iones por las plantas.

Existen dos mecanismos principales por los cuales los iones pueden ser absorbidos por las plantas. Uno de ellos se efectúa por medio del sistema radicular y el otro, pero en menor intensidad, por la parte aérea de la planta.

Según Mazliak (1976), los elementos que constituyen a los vegetales se agrupan en dos clases principales: los

Figura 1



macroelementos y los microelementos.

Los macroelementos se encuentran en rangos de concentraciones de 10^{-3} y 10^{-2} g/g de materia seca, esto es, en elevadas concentraciones, distinguiéndose los elementos característicos de las sustancias orgánicas: C, H, O y N; que son tomados esencialmente del agua y de la atmósfera, interviniendo siempre en la composición de las macromoléculas que constituyen las estructuras celulares. Todos los demás elementos son absorbidos por las plantas a partir de las soluciones que se encuentran en el suelo donde ellas habitan.

Los elementos que se encuentran frecuentemente unidos en forma iónica a las macromoléculas para estabilizar las estructuras son: S, P, K, Ca y Mg.

Los microelementos u oligoelementos se encuentran en concentraciones de 10^{-3-4} a 10^{-7} g/g de peso seco, incluyéndose dentro de este grupo entre otros al Fe, Mn, Zn, B, Li, Ca, Si y Ti, variando su presencia en las plantas según la selectividad de la especie con el tipo de sustrato, y aunque se presentan en muy pequeñas cantidades, juegan un papel trascendental en la fisiología vegetal, siendo en general auxiliares indispensables de la actividad de las enzimas. La deficiencia de cualquiera de estos microelementos en la planta puede provocar enfermedades, o bien, el exceso puede determinar una toxicidad que a veces se manifiesta en el fenotipo de las especies bioindicadoras.

Los elementos cargados positivamente, son utilizados como tales por las plantas y los iones cargados negativamente, son absorbidos en la forma de iones complejos como: nitratos, carbonatos, fosfatos y sulfatos.

Existe un gran número de elementos, cuya concentración es muy pequeña denominados elementos traza y que se han determinado en suelos, de acuerdo a tres grandes grupos: 1) elementos importantes en la nutrición de plantas y animales: B, Co, Cu, Mn, Mo, Zn, Se, I, Na, Cl, F, S y V; 2) elementos importantes por su valor económico: Au, Ag, Co, Cu, Ni, Pb, W, Zn, Sn y U; 3) otros elementos de importancia desconocida: Ga, Li, Rb, Sc, Cd, Cs, Ge, Hg, Nb, Ta, Sb y Zr.

Los elementos traza son cuantificados en ppm.

La capacidad de las especies vegetales de restringir la absorción de un elemento tóxico, se conoce como "mecanismo de exclusión". En estos casos, la concentración del elemento en la parte aérea de la planta permanece a un nivel constante, independientemente de la concentración del elemento tóxico en el suelo. Las plantas pueden acumular una determinada concentración de un elemento tóxico, sin manifestar cambios morfológicos, hasta alcanzar una determinada concentración límite o umbral, arriba de la cual ya se manifiestan características evidentes de toxicidad (Brooks, 1972).

Con relación a lo anterior, Nicolls (1965) realizó estudios que muestran el efecto de incrementos en las concentraciones de Cd, Pb y Zn en el suelo sobre *Triodia pungens* (Gramineae). El mecanismo de exclusión para el plomo es muy marcado, mientras que para el cobre solamente es parcial. En cuanto al zinc, la planta aparentemente puede absorberlo en cantidades ilimitadas, no observándose en ella evidencia del mecanismo de exclusión (fig. 2).

2.2 Translocación de elementos hacia la planta.

Los iones absorbidos por las raíces son translocados en dirección ascendente, hasta que el nivel de este elemento se equilibra en la relación planta-suelo, observándose en ocasiones un flujo reversible cuando las concentraciones en las plantas son superiores a las del suelo.

Un factor extremadamente importante en la nutrición vegetal es la disponibilidad de los macro y microelementos en el suelo. Solamente una pequeña cantidad del contenido total de algunos elementos del suelo puede ser utilizada por la planta, esto se debe a un gran número de factores incluyendo el drenaje, potencial de hidrógeno, la naturaleza de los minerales de arcilla, los efectos antagónicos de otros iones y la presencia de agentes biológicos en el suelo.

Para este estudio es importante tener una visión general del papel que desempeñan los diferentes elementos incluyendo los macro y microelementos, o bien, elementos que al ser acumulados por las plantas pudieran indicarnos síntomas de toxicidad, siendo esto esencial en la investigación de bioindicadores auxiliares en la prospección mineralógica.

Funciones de los diferentes elementos:

a) El C, H, O y N, son los elementos fundamentales constituyentes de la materia orgánica.

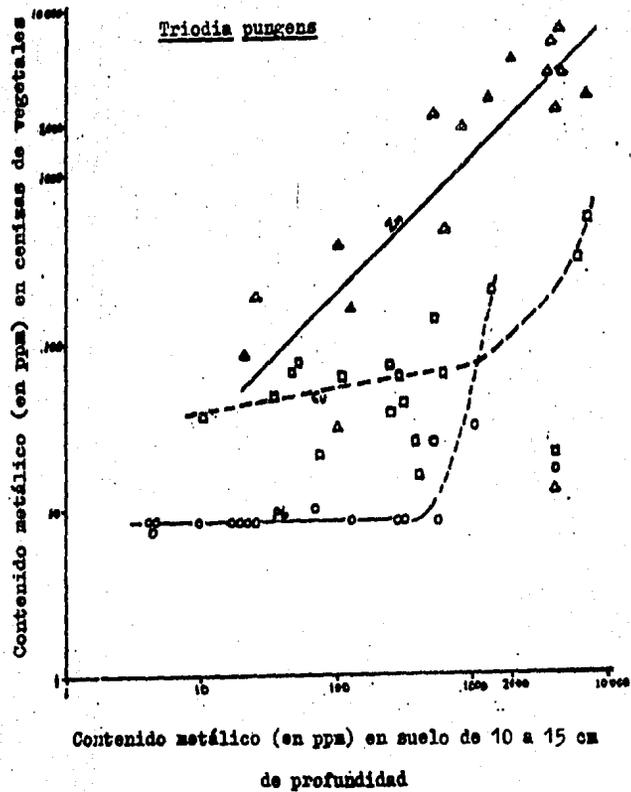
b) Hierro. Forma el núcleo del citocromo en la planta y al pasar de Fe^{+2} a Fe^{+3} , induce la óxido-reducción en el final del proceso de la respiración y en la fotosíntesis forma parte de la ferridoxina.

En algunos suelos se presenta abundantemente (Oxisoles). Es absorbido por las plantas como ion divalente (Fe^{+2}) o trivalente (Fe^{+3}) y su absorción es deficiente en presencia de depósitos de Cu, Mn, Zn y Ni.

La deficiencia de Fe en las plantas produce un color amarillento (clorosis) en las hojas jóvenes (Brooks, 1972; Salisbury et al., 1978; Garcidueñas, 1981).

c) Manganeseo. Las plantas requieren bajos contenidos de Mn para su crecimiento. Activa enzimas relacionadas con la síntesis

Figura 1



de ácidos grasos, nucleótidos y de la respiración. En el suelo, la disponibilidad del Mn es afectada por factores químicos y biológicos. Los suelos con $\text{pH} > 6$ favorecen la oxidación del ion Mn^{+2} , y las condiciones de óxido-reducción en suelos ácidos favorecen la reducción del ion Mn^{+4} a Mn^{+2} , siendo esta última la forma asimilable por las plantas.

La deficiencia del Mn, produce moteado en las hojas jóvenes y clorosis en las demás hojas (Bughardt, 1956; Brooks, 1972; Salisbury et al., 1978; Garcidueñas, 1981).

d) Cobre. Son diversas las funciones de este elemento en la nutrición vegetal. Tiene un importante papel en el metabolismo de las raíces relacionado con la utilización del amonio por las plantas y forma parte de diversas enzimas, en especial, la citocromo oxidasa que permite la oxidación respiratoria final.

La deficiencia de Cu produce tonalidades verde oscuras y enrollamiento o deformaciones de las hojas jóvenes, exhibiendo frecuentemente manchas de necrosis y una reducción en el crecimiento de las plantas (Brooks, 1972; Salisbury et al., 1978; Garcidueñas, 1981).

e) Zinc. Es necesario en diversos sistemas enzimáticos que regulan el metabolismo de las plantas, por ejemplo, en el equilibrio entre el dióxido de carbono, agua y ácido carbónico. También está relacionado con la síntesis de reguladores del crecimiento vegetal.

Este elemento se encuentra concentrado en mayor proporción en la superficie del suelo, manifestándose una disminución gradual, con la profundidad.

Las plantas absorben este elemento en su forma divalente (Zn^{+2}), habiendo una mayor concentración en las hojas jóvenes.

La disponibilidad del Zn es mínima en suelos con valores de pH de 5 a 7, siendo mayor en suelos ácidos, encontrándose deficiencia de éste en suelos de turba y calcáreos.

La deficiencia de Zn, se manifiesta en la reducción del número de cloroplastos (Hewitt, 1953) y disminución del crecimiento de las plantas (Brooks, 1972; Salisbury et al., 1978; Garcidueñas, 1981).

f) Boro. Tiene diversas funciones en las plantas, la mayoría de las cuales están relacionadas con el crecimiento celular, metabolismo y la formación de la pared celular.

La fijación del B por las plantas, está estrechamente relacionado con el contenido arcilloso y el pH del suelo, incrementándose en suelos alcalinos. Tanto los minerales constituidos por partículas finas como la materia orgánica fijan el B. Existe una mayor solubilidad del B en forma de ácido bórico (H_3BO_3), siendo ésta la forma asimilable por las plantas.

En los suelos, la mayor parte de este elemento se presenta en el mineral turmalina, que es un complejo de aluminio y borosilicato, encontrándose en menor proporción en minerales de pegmatita y granito, siendo este último uno de los minerales menos alterados por el intemperismo.

Uno de los primeros síntomas de deficiencia es el decremento de la elongación radicular y posteriormente, la desintegración de los tejidos internos (Brooks, 1972; Salisbury et al., 1978; Garcidueñas, 1981).

g) Molibdeno. Es un micronutriente necesario para la vida tanto de los microorganismos, como de las plantas superiores y animales. *Azotobacter* requiere de este elemento para la fijación de N_2 .

En los suelos se encuentra comunmente como molibdatos (MoO_4^{2-}) y sulfuros (MoS_2^{2-}). La disponibilidad del Mo aumenta a pH alto.

Los síntomas de deficiencia en las plantas consisten en clorosis en las hojas viejas extendiéndose hacia las hojas jóvenes, o enrollamiento de éstas (Brooks, 1972; Salisbury et al., 1978, Garcidueñas, 1981).

h) Azufre. Es un constituyente de proteínas en plantas y de algunas fitohormonas, no excediendo del 2%. Induce la síntesis proteínica, favorece el desarrollo de los nódulos de las raíces en las leguminosas y consecuentemente, la fijación del N. Asimismo, está asociado a la formación de la clorofila.

Este elemento es más abundante en la superficie del suelo que en el subsuelo, debido a que se encuentra en mayor cantidad en la materia orgánica.

La transformación del S orgánico es un proceso microbiano; si el suelo está bien aireado, el S orgánico es oxidado a sulfatos y las plantas pueden absorberlo, pero si el suelo carece de aireación, el S orgánico puede ser transformado en ácido sulfúrico y otros compuestos sulfurosos.

Las plantas toman del suelo y de la lluvia el S en forma divalente (SO_4^{2-}). Es un micronutriente esencial, que se distribuye a través de toda la planta. También puede ser absorbido directamente de la atmósfera por las hojas como sulfitos (SO_2^{2-}) (Brooks, 1972; Salisbury et al., Garcidueñas, 1981).

i) Cloro. El ion cloruro es un micronutriente absorbido por las plantas en mayores cantidades que los otros microelementos, siendo su función principal estimular la fotosíntesis.

Se encuentra ampliamente distribuido sobre la corteza terrestre, siendo la lluvia el principal factor de dispersión, el

cual proviene del mar, por lo que su dispersión en el medio terrestre no es uniforme, observándose una mayor concentración de este elemento en la lluvia cercana a las costas.

El Cl se encuentra presente en el suelo, como ion cloruro (Cl⁻), siendo una parte estructural de las moléculas orgánicas.

La deficiencia de este elemento se manifiesta inicialmente por la presencia de manchas de color rojizo obscuro en las hojas que posteriormente, exhiben síntomas cloróticos. Además, las raíces no crecen en longitud, comprimiéndose cerca de las puntas (Brooks, 1972; Salisbury et al., 1978; Garcidueñas, 1981).

j) Sodio. No es un micronutriente esencial para las plantas, existiendo una relación inversa entre el Na⁺ y el K⁺. Este elemento es absorbido por las plantas junto con otros elementos químicos que existen en el agua del sustrato (Brooks, 1972; Salisbury et al., 1978; Garcidueñas, 1981).

k) Fósforo. Este elemento es esencial para las plantas, porque forma parte de los ácidos nucleicos, coenzimas y transportadores de energía.

El P se encuentra en el suelo en pequeñas concentraciones en forma de fosfato orgánico como PO₄⁻³ en solución. En los suelos alcalinos se encuentran presentes los fosfatos de calcio y en suelos ácidos los fosfatos de Fe y Al. Frecuentemente no hay correlación entre el P del suelo y la respuesta de la planta, ésto se debe a que la cantidad de P disponible decrece cuando el pH es ácido.

La deficiencia de P provoca crecimiento lento, o bien, enanismo en las plantas y las hojas se pueden presentar con una coloración muy oscura además de áreas rojizas (Brooks, 1972; Salisbury et al., 1978; Garcidueñas, 1981).

l) Potasio. La concentración de este elemento varía mucho en el suelo. Así, aunque existan pequeñas concentraciones de este elemento en el sustrato, la planta puede absorberlo en cantidades altas, por lo que se supone que existe una absorción selectiva.

Las plantas que presentan deficiencia de este elemento exhiben hojas con coloración verde claro, necrosis y deformaciones (Brooks, 1972; Salisbury et al., 1978, Garcidueñas, 1981).

m) Calcio. El Ca es un elemento esencial para las plantas, sin embargo puede ser sustituido parcialmente por el Sr. Se encuentra en la pared celular dando rigidez a la célula, observándose que su concentración aumenta con la edad. Asimismo, es cofactor enzimático en la hidrólisis del ATP y de los fosfolípidos.

Las plantas que exhiben deficiencias de este elemento presentan hojas duras y a veces con coloración café rojiza

(Brooks, 1972; Salisbury et al., 1978; Garcidueñas, 1981).

En el proceso metabólico de las cactáceas se forman diversos ácidos orgánicos. El más abundante es el ácido oxálico, que se encuentra bajo la forma de sales de calcio, generalmente en inclusiones octaédricas-cuadráticas. El oxalato de calcio, una vez formado ya no se disuelve, por lo que se va acumulando en la epidermis e hipodermis de las cactáceas (Bravo, 1978).

n) Magnesio. Este elemento es muy importante en las plantas, ya que forma parte del núcleo de la clorofila. Los iones de Mg activan muchas reacciones enzimáticas, sobre todo las que producen una transferencia de fosfatos (metabolismo de energía).

El Mg se pierde fácilmente, por lo que es un problema en suelos tropicales ya que son constantemente lixiviados.

Los síntomas de deficiencia de este elemento en las plantas se manifiesta con moteado en hojas jóvenes y en las viejas clorosis uniforme (Brooks, 1972; Salisbury et al., 1978; Weier et al., 1979; Garcidueñas, 1981).

2.3 Relación existente entre los elementos de importancia biológica y la tabla periódica.

Se han realizado estudios respecto a la interrelación existente entre los elementos esenciales de los organismos y su posición en la tabla periódica de Mendeleiev.

La figura 3 representa la tabla periódica de los elementos modificada por Frev-Wyssling (1935), donde se indica los que son de importancia esencial para los seres vivos. Thatcher (1934), examinando la referida tabla, encontró que los elementos de los primeros cuatro períodos, tienen una función esencial en la nutrición vegetal y que por el contrario, los elementos pesados, con excepción del Mo, no son necesarios para las plantas.

La mayoría de los elementos esenciales, ya sean macro o microelementos, ocupan lugares cercanos a la línea trazada del carbono al potasio y del carbono al fierro, llamada "línea de los nutrientes". Con excepción del hidrogeno, esta regla es válida.

Los elementos que se encuentran alejados de dicha línea se consideran tóxicos, aumentando su toxicidad a medida que se alejan de ésta.

En las series potasio- rubidio-cesio, calcio-estroncio-bario y zinc-cadmio-mercurio, el primer elemento de cada serie es indispensable en la nutrición vegetal, pero el último es tóxico. Este hecho muestra que generalmente la toxicidad de los elementos aumenta con el incremento del número atómico. Sin embargo, en el lado derecho de la tabla periódica existen excepciones a esta regla. Por ejemplo, el arsenico es más tóxico que el antimonio o

Figura 3

Los elementos biológicos en la Tabla Periódica

1			(H)							He		
2	He	Li	Be	(B)	(C)	(N)	(O)	F	Ne			
3	Na	Na	(Mg)	(Al)	(Si)	(P)	(S)	(Cl)	Ar			
4	Ar	(K)	(Ca)	Sc	Ti	V	Cr	(Mn)	(Fe)	Co	Ni	
		(Cu)	(Zn)	(Ga)	Ge	As	Se	Br	Kr			
5	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc		Ru	Rh	Pd
		Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe			
6	Xe	Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re		Os	Ir	Pt
		Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn			
7	Rn	Fr	Ra	Ac-Dm								



1 Elementos básicos; 2 Otros elementos esenciales; 3 Elementos presentes solamente en ciertos organismos.

el bismuto y el tungsteno es menos tóxico que el cromo.

La figura 4 muestra la relación entre los elementos esenciales para los organismos y el sistema periódico, adaptada por Webb y Fearon (1937). De acuerdo con ellos, los elementos invariables presentes en los organismos, se encuentran en la parte superior de esta tabla, delimitados por la línea punteada con excepción del Li, Be, He, Ne y Ar.

Los elementos que pueden presentarse o no en los organismos son aquellos que se localizan entre las dos líneas: punteada y continua. Leuthardt (1941), explicó la regularidad anteriormente citada, basado en la suposición de que las plantas pueden acumular elementos de un grupo o subgrupo con pesos atómicos similares, así la planta no puede distinguir entre el elemento cuyo número atómico es n y el elemento siguiente ($n+1$), siendo el resultado un arreglo continuo entre los elementos.

o

Figura 4

Los tres grupos de elementos biológicos en la Tabla Periódica

1		H								He		
2	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne			
3	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar			
4	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn		Fe	Co	Ni
		Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr			
5	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc		Ru	Rh	Pd
		Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe			
6	Xe	Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re		Os	Ir	Pt
		Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn			
7	Rn	Fr	Ra	Ac-Cm								

CAPITULO III

DISTRIBUCION Y MIGRACION DE LOS ELEMENTOS EN EL SUELO

La prospección mineralógica se basa en la localización de "anomalías geoquímicas", es decir, áreas donde se indica la presencia de acumulación de minerales. Las anomalías se pueden formar a diferentes profundidades del suelo por procesos ígneos y metamórficos, o bien, en la superficie por agentes externos, por ejemplo: la erosión y la transportación superficial.

Quando las anomalías geoquímicas son profundas se denominan "primarias" pudiendo ser resultado de: 1) la composición local en relación con la estructura original de la corteza, definiéndose como una "provincia geoquímica" en la cual hay acumulación de minerales; 2) impregnación de las rocas por fluidos mineralizados y 3) dispersión de elementos volátiles transportados en forma gaseosa (Hawkes, 1957).

Las anomalías geoquímicas también se pueden presentar en la superficie del suelo, denominándose "secundarias", las cuales se forman del material residual a partir del intemperismo de rocas y minerales *in situ*, o del material dispersado a partir de depósitos minerales, debiéndose esto a diferentes fenómenos, como son: la gravedad, el movimiento del agua o las glaciaciones.

La movilidad de un elemento o la tendencia de éste a migrar en la superficie, determina las características de las anomalías geoquímicas. El agua es el principal agente de transporte para los productos intemperizados y su movilidad está estrechamente relacionada con los elementos que se encuentran en solución, pudiendo ser modificada por factores biológicos. Los factores físicos que afectan la movilidad de los elementos son entre otros: la concentración de iones hidrógeno, la solubilidad de las sales y la coprecipitación.

La biósfera es un importante agente en la migración de los minerales y la concentración de la mayoría de los elementos que forman depósitos, algunos de los cuales tienen alta importancia económica.

3.1) Dispersión primaria.

El proceso que gobierna la migración de los elementos en la corteza terrestre difiere mucho de los procesos principales que operan sobre la superficie de ésta. En un medio profundo el proceso geoquímico está controlado por la relativa estabilidad de los minerales bajo condiciones generalmente altas de presión y temperatura.

La composición del material parental (roca madre) es el

resultado de la influencia variable del contenido mineralógico en un suelo, dependiendo de las condiciones existentes durante la formación de éste, observándose frecuentemente que la concentración de metales es mayor en la roca madre que en las capas del suelo.

Generalmente los minerales incluidos en las rocas contienen en orden decreciente los siguientes elementos: O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg y Ti. En términos de abundancia, el H también se considera como un constituyente importante de las rocas. Sin embargo, su concentración relativa es difícil de cuantificar. Los elementos raros se encuentran en algunos minerales de rocas ígneas y metamórficas como constituyentes mayores, principalmente Zr, Eu, Sm y Lu (Hawkes, 1957).

3.2 Dispersión secundaria.

El ambiente físico y químico de la superficie terrestre difiere respecto al que prevalece en la profundidad.

Dispersión secundaria es la incorporación de minerales en la superficie terrestre.

Los minerales que son estables en condiciones de profundidad, cuando afloran a la superficie, sufren procesos de transformación en su nuevo ambiente, debido a las condiciones físicas, químicas y biológicas que se establecen, principalmente con la desintegración inicial de la roca primaria y con la deposición de rocas sedimentarias. Como resultado, se observa un cambio radical en los hábitos de movimiento de los elementos. Así, por ejemplo, el cobalto que originalmente es inmóvil, debido a la incorporación de minerales propios de altas temperaturas, se torna relativamente móvil cuando se encuentra en la superficie (Hawkes, 1957).

CAPITULO IV

RELACION ENTRE LOS ELEMENTOS METALICOS ANALIZADOS POR MEDIO DE LA PROSPECCION MINERALOGICA, EN SUELOS Y PLANTAS

En este capítulo se discuten datos concernientes a la concentración de los elementos analizados en rocas ígneas, suelos y plantas y su toxicidad en diferentes especies vegetales (Brooks, 1972).

Plata. Warren y Devault (1950) realizaron estudios en Columbia Británica, Canadá. En cenizas de diferentes especies de árboles y de *Equisetum* (Equissetaceae) localizados en zonas auríferas y detectaron las siguientes concentraciones de Ag:

rocas ígneas	350.0 ppm
suelos	300.0 ppm
cenizas de plantas	1.0 ppm
toxicidad en las plantas	severa

La concentración de Ag en las cenizas de plantas es 300 veces menor que en el suelo y 350 veces menor que en las rocas.

En esta misma área, dichos investigadores, observaron la presencia de este elemento tanto en árboles como en plantas pequeñas, en una concentración de 1.0 a 1.4 ppm.

Arsénico. Berbenni (1959), Minguzzi y Naldoni (1950), Talipov et al. (1968), Warren y Devault (1959) realizaron estudios en cenizas de plantas procedentes de Tamdytau, Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, registrando las siguientes concentraciones de As:

rocas ígneas	2.0 ppm
suelos	5.0 ppm
cenizas de plantas	4.0 ppm
toxicidad para las plantas	moderada

Esto indica que en las cenizas de plantas hay una concentración de As, casi igual que en los suelos pero mayor que en las rocas. Asimismo, observaron los referidos autores que hay una correlación directa entre el contenido de As y Au en las plantas y suelos.

Oro. Lovanov et al. (1966) analizaron cenizas de plantas y suelos de Kazakhstan, Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas. Por medio de "activación neutrónica" observaron las siguientes concentraciones de Au:

rocas ígneas	0.001 ppm
suelos	0.002 ppm
cenizas de plantas	0.005 ppm
toxicidad en plantas	pequeña

La presencia de este elemento fué determinada en gramíneas, hojas y ramas pequeñas de arbustos. Las especies analizadas fueron: *Salsola rigida*, *S. arbuscula*, *Girgenhonia* sp. (Chenopodiaceae), *Haplophyllum robustum* (Compositae), y *Cryptodiscus didymus* (Umbelliferae) y observaron que la concentración de Au en las cenizas de las plantas es mayor que la existente en suelos y rocas.

Boro. Buyalov y Shvyryayeva (1961) en la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, detectaron las siguientes concentraciones de B:

rocas ígneas	13.0 ppm
suelos	10.0 ppm
cenizas de plantas	700.0 ppm
toxicidad en plantas	moderada

Observamos aquí, que la concentración en las cenizas de las plantas es 53.8 veces mayor que en las rocas y 70 veces mayor que en el suelo, aunque los efectos sobre estas plantas fueron moderados.

Estos investigadores detectaron la presencia de B en las siguientes especies vegetales: *Sulzeria nitraria* (Rubiaceae) y *Limonium sufruticosum* (Plumbaginaceae). Detectaron que asociaciones de *Eurotia ceratoides* (Rubiaceae) son bioindicadoras de depósitos de carbonatos-sulfatos, donde el B que contiene el suelo se encuentra en tales concentraciones que causa en las plantas deformaciones y susceptibilidad a enfermedades.

Cobalto. Duvigneaud (1959) estudiando suelos ricos en Cu en el Alto Katanga, Africa, observó concentraciones anormales de Co en rocas, suelos y plantas, siendo éstas:

rocas ígneas	18.0 ppm
suelos	10.0 ppm
cenizas en plantas	9.0 ppm
toxicidad en plantas	severa

Las cenizas de las plantas presentan casi la misma concentración que en los suelos y la mitad de la encontrada en las rocas.

El referido autor, detectó que en la mayoría de la vegetación en esta región es cuprífita, excepto *Crotalaria cobalticola* (Leguminosae) y *Silene cobalticola*

(Caryophyllaceae), características de suelos con Co, cuyo contenido en sus cenizas llega a ser de 17700 ppm.

Cromo. Lyon et al. (1968) en Nueva Zelanda, reportaron las siguientes concentraciones de Cr en el sustrato y en la flora de serpentina:

rocas ígneas	117.0 ppm
suelos	200.0 ppm
cenizas de plantas	9.0 ppm
toxicidad en plantas	severa

En este caso se puede apreciar, que la concentración del Cr en las plantas es muy baja en comparación con las concentraciones de las rocas y suelos, no obstante, la toxicidad producida es severa. Los investigadores detectaron que *Leptosperma scoparium* (Myrtaceae) acumula altas concentraciones de Cr y que *Cassinia vauvilliersii* (Compositae) es particularmente útil en la prospección mineralógica.

Cobre. Nicolls et al. (1965) realizaron estudios en el área del río Dugald en Australia y observaron las siguientes concentraciones de Cu:

rocas ígneas	70.0 ppm
suelos	20.0 ppm
cenizas de plantas	180.0 ppm
toxicidad en plantas	severa

Determinaron que las siguientes especies vegetales: *Scaevola densevestita* (Goodeniaceae), *Ptilotus obovatus* (Amaranthaceae) y *Cassia desolata* (Leguminosae), crecen en sustratos calcáreos con altas concentraciones de Cu, detectándose una mayor cantidad en las plantas que en su sustrato; además observaron que *Tephrosia* sp. (Leguminosae) y *Polycarpha glabra* (Caryophyllaceae) son buenas indicadoras de suelos con alto contenido de Cu (2 000.0 ppm).

Hierro. Warren, Devault e Irish (1952) en Canadá estudiaron las diversas acumulaciones de Fe en diferentes especies vegetales sometidas a distintas condiciones climáticas y geológicas, detectando que la concentración de este elemento era la siguiente:

rocas ígneas	4.65%
suelos	1 a 5%
cenizas de plantas	6 700 ppm
toxicidad en plantas	pequeña

Observaron que la concentración de Fe es extremadamente menor en las plantas que en el suelo y rocas. Estudiaron también

diferentes especies de *Pinus* (principalmente tallos), y sugirieron que en las zonas donde existe un alto contenido de Fe, puede ser factible la presencia de Au y Ag.

Mercurio. Warren, Devault y Barakso (1966) en Canadá determinaron que la concentración de Hg en rocas, suelos y cenizas de plantas era la siguiente:

rocas igneas	0.06 ppm
suelos	0.01 ppm
cenizas de plantas	0.01 ppm
toxicidad en plantas	severa

La concentración del Hg en las cenizas de plantas es igual a la del suelo y en las rocas es seis veces mayor. Además, observaron que cuando la concentración excede de 10.0 ppm en las cenizas de las plantas, es probable que exista una mineralización de este elemento en dicha área.

Manganeso. Bloss y Steiner (1960) en base a estudios de suelos y robles del Estado de Tennessee, Estados Unidos de América, obtuvieron las siguientes concentraciones de Mn:

rocas igneas	1000.0 ppm
suelos	650.0 ppm
cenizas de plantas	4800.0 ppm
toxicidad en plantas	moderada

La concentración del Mn en las cenizas de plantas es seis veces mayor que en el suelo y 4.8 veces mayor que en las rocas. Detectaron simultáneamente con este elemento la presencia de Fe, Ba y Ni.

Molibdeno. Malyuga (1959) determinó el contenido de Mo en plantas y suelos de los depósitos de azufre de Kadzharán, Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, correlacionando la presencia de este elemento con la topografía y obtuvo los siguientes resultados:

rocas igneas	1.7 ppm
suelos	2.5 ppm
cenizas de plantas	13.0 ppm
toxicidad en plantas	moderada

La concentración del Mo en las cenizas de plantas es 5.5 veces mayor que en el suelo y 12 veces mayor que en las rocas, asimismo observó este investigador que existe una correlación positiva en planta-suelo para el Cu y el Mo. Además elaboró mapas a partir de las concentraciones encontradas en las plantas y suelos, lo que permitió establecer los límites del depósito.

Niobio. Tyvtina et al. (1959) realizaron estudios de prospección biogeoquímica en el Área central de Timan Kami, Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas donde la mineralización de metales raros como: Ce, Sa, Eu y Lu en el suelo, está asociada con el contenido elevado de Nb. Este elemento se determinó en series de 10 a 40 plantas para cada especie estudiada y los investigadores obtuvieron los siguientes resultados:

rocas ígneas	20.0 ppm
suelos	15.0 ppm
cenizas de plantas	0.3 ppm
toxicidad en plantas	poca

La concentración del Nb en las cenizas de las plantas es 5 veces menor que en el suelo y casi 7 veces menor que en las rocas. Asimismo observaron altos contenidos de este elemento en *Rubus arcticus* (Rosaceae), *Vaccinium myrtillus* (Ericaceae), *Chamaenerium angustifolium* (Onograceae), *Betula pubescens* y *B. verrucata* (Betulaceae). Observaron contenidos bajos de Nb en *Sphagnum* sp., *Salix* sp. (Salicaceae), *Picea obovata* (Pinaceae) y *Ribes nigrum* (Grossulariaceae).

Níquel. Leutwin y Pfeiffer (1954) realizaron análisis para la detección de Ni, además de Cu y Zn, en un Área níquel-ferrosa de la República Federal Alemana, en plantas, suelos y humus, indicando las siguientes concentraciones de Ni:

rocas ígneas	100.0 ppm
suelos	40.0 ppm
cenizas de plantas	65.0 ppm
toxicidad en plantas	severa

La concentración de Ni es mayor en las cenizas de plantas que en los suelos y menor que con relación a las rocas.

Estos investigadores sugieren que el método biogeoquímico puede usarse como un método de prospección para este elemento. En otros estudios realizados, obtuvieron los siguientes resultados: 300.0 ppm en suelos, 500.0 ppm en cenizas de la corteza de *Pinus sylvestris* (Pinaceae), 600.0 ppm en cenizas de hojas de *Betula verrucosa* (Betulaceae) y 1 000.0 ppm en la corteza de *Picea abies* (Pinaceae).

Plomo. Nicols y Brooks (1969) de Nueva Zelanda determinaron la presencia de Pb por medio de análisis químicos en la vegetación de la zona minera de Tui, te Aroha. Obtuvieron los siguientes resultados:

rocas ígneas	16.0 ppm
suelos	10.0 ppm
cenizas de plantas	70.0 ppm
toxicidad en plantas	severa

La concentración de Pb es mayor en las cenizas de plantas

que en el suelo y las rocas. Estos investigadores también determinaron la presencia de Pb en ramas pequeñas de *Beilschmiedia tawa* (Lauraceae) y la presencia de Zn en hojas de *Schefflera digitata* (Sapotaceae), indicando que había una acumulación de Pb en estas plantas y una correlación entre el Pb y el Zn del suelo.

Antimonio. Flerova y Flerov (1964), Nikiferov y Fedorchuk (1959) realizaron análisis químicos en depósitos polimetálicos de Kosku, Suuktyube y Yablonovoe, de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, indicando las siguientes concentraciones de Sb:

rocas ígneas	0.3 ppm
suelos	0.5 ppm
cenizas de plantas	1.0 ppm
toxicidad en plantas	moderada

Esto indica que en las cenizas de las plantas la concentración de Sb es mayor que en los suelos y en las rocas. Esta información se obtuvo por análisis realizados en cenizas de: *Gypsophyla* sp. (Caryophyllaceae), *Astragalus* sp. (Leguminosae), *Euphrasia* sp. (Scrophulariaceae), *Rumex acetosa* (Polygonaceae) y *Centaurea montana* (Compositae). Encontraron además una proporción de 1.5 a 4% de Cu, Pb y Zn; con un incremento simultáneo de Sb, Ga y Ag, lo que indica que existen asociaciones entre estos elementos.

Estaño. Sarosiek y Klys (1962) en Polonia, demostraron que existían altas concentraciones de Sn en suelos agrícolas y en plantas, encontrando las siguientes cantidades:

rocas ígneas	32.0 ppm
suelos	10.0 ppm
cenizas de plantas	1.0 ppm
toxicidad en plantas	severa

La concentración de Sn en las plantas es 10 veces menor que en suelos y 32 veces menor que en rocas. Encontraron este elemento acumulado preferentemente en las siguientes plantas: *Calluna vulgaris* (Ericaceae), *Gnaphalium sylvaticum* (Compositae), *Sempervivum* sp. (Compositae), *Silene inflata* (Caryophyllaceae) y *Quercus sessilis* (Fagaceae). El contenido promedio de este elemento en las cenizas de las plantas fue de 46.0 ppm.

Estroncio. Koval'sky y Zarorina (1965) analizaron el contenido de Sr en plantas, suelos y rocas en Tadchikistan, Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas y observaron la siguiente acumulación:

rocas ígneas	350.0 ppm
suelos	300.0 ppm

cenizas de plantas	30.0 ppm
toxicidad en plantas	pequeña

La concentración de Sr en cenizas de plantas es 10 veces mayor que en suelos y casi 12 veces menor que en las rocas. En algunas especies vegetales como: *Echium italicum* (Boraginaceae), *Alhagi kirghisorum* (Leguminosae) y *Ampelopsis vitiflora* (Vitidaceae) detectaron una acumulación de Sr de 0.21 a 2.5% en peso seco y en todas las gramíneas contenían de 26.0 a 410.0 ppm de este elemento.

Zinc. Keith (1965) realizó el análisis del contenido de Zn y Pb en árboles de olmo, maple y roble y en suelos del Valle del Mississippi, Estados Unidos de América y obtuvo los siguientes resultados:

rocas igneas	80.0 ppm
suelos	50.0 ppm
cenizas de plantas	1400.0 ppm
toxicidad en plantas	moderada

Las concentraciones de Zn es casi 30 veces mayor en las cenizas de las plantas que en el suelo y casi 20 veces mayor que en las rocas.

Los análisis del material vegetal fueron útiles para la determinación de áreas mineralizadas y no mineralizadas. El investigador observó que los tallos contenían altas concentraciones de Zn y Pb demostrando que la vegetación es de gran utilidad para la prospección mineralógica.

Analizando los datos expuestos, observamos que existen elementos en muy pequeñas concentraciones capaces de producir diferentes grados de toxicidad en las plantas. Por ejemplo: Sb, Nb, Hq y Au. Por otra parte, algunos elementos que generalmente funcionan como macro o micronutrientes y que al acumularse en concentraciones excesivas en las plantas, son capaces de inducir el mismo efecto tóxico. Por ejemplo: Fe, Mn, Zn, Cu y B.

Existe una relación variable entre la concentración de los diversos elementos en las cenizas de las plantas y sus suelos. En algunos casos se observa una mayor concentración de ciertos elementos en las cenizas de las plantas que en los suelos. Por ejemplo: B, Zn, Sb, Cu, Au, Pb, Mn, Mo y Ni. Este fenómeno es posible debido a una forma de acumulación de iones por las raíces cuya concentración del fluido celular es más grande que en la solución del suelo, siendo un proceso metabólico que requiere un gasto de energía celular.

Se observa una relación inversa en donde la concentración de los elementos es mayor en los suelos que en las cenizas de las plantas. Por ejemplo: Cr, Nb, Sr, Sn y Fe. Este fenómeno es

posible debido a que no hay una gran acumulación de iones en las plantas influyendo el mecanismo de exclusión, por lo que existe una menor concentración de dichos elementos en los vegetales que en el suelo.

Finalmente se hace referencia de otros elementos que presentan una pequeña diferencia o que se encuentran en concentraciones iguales, tanto en suelos como en cenizas de plantas siendo el caso del Hg, As, Ag y Co. Esto es factible porque la difusión de los iones de la solución del suelo hacia las células de la zona pilífera se efectúa hasta que haya un equilibrio en las concentraciones de ambas partes.

CAPITULO V

GENERALIDADES DE SUELOS DE CLIMA SEMIARIDO

Los suelos se originan a partir de la acción de los factores formadores, influyendo en ello fenómenos bioclimáticos que condicionan las relaciones edafo-ecológicas. En las zonas de clima semiárido se observan por lo general perfiles de suelo poco desarrollados, encontrando zonas de acumulación que están en estrecha relación con el material basal. Los fenómenos de lixiviación están limitados en consecuencia de la reducida humedad y por las extremas temperaturas de estas regiones.

En las zonas de clima semiárido, se observa que los procesos de acumulación de materiales son predominantemente por intemperismo mecánico, más que por el efecto del intemperismo químico. Sin embargo, este último no se descarta completamente, desde el momento que exista una mínima precipitación pluvial. Como consecuencia del intemperismo hídrico de la roca, se disuelven principalmente los precipitados y las evaporitas (calizas, travertino, dolomitas, lutitas, yeso, etc.), debido a que la humedad cargada de ácido carbónico ataca químicamente la superficie de las rocas. Cuando son movilizados los productos alterados por acción de los vientos o gravedad, aparecen nuevas superficies intactas más profundas en las que se repite el fenómeno.

Cuando la vegetación es escasa la acción del viento se intensifica en climas secos, debido a que ella no interfiere en su actividad de transporte y erosión, actuando sobre las masas de fragmentos finos o polvos sueltos ejerciendo la labor de erosión, transporte y acumulación (Grande, 1967).

Los productos de las rocas alteradas, están en función del complejo geológico de la región, y cuando en los estratos dominan minerales simples, tales como: calcita, riolita, dolomita, basalto, yeso o anhídrita, las acumulaciones de éstos compuestos en el perfil del suelo alcanzan grandes proporciones.

5.1 Horizontes.

Horizonte es una capa de suelo más o menos paralela a la superficie en la que ha actuado el intemperismo. El espesor y características de las capas depende de un gran número de factores, como son: composición mineral, textura, estructura, posición del nivel freático, clima y topografía (Grande, 1967; Buol, 1983).

Otros fenómenos muy importantes que van a influir en las propiedades específicas dentro del horizonte y dentro del suelo en general es el movimiento descendente del agua (lixiviación),

así como el movimiento ascendente (eluviación).

5.1.1 Horizonte A

Es un horizonte orgánico mineralizado, donde se acumula la materia orgánica y en él hay movilidad de elementos. Esta zona retiene parte del agua en sus poros y en el humus que contiene. El agua es liberada por evaporación y en parte es absorbida por las plantas que la utilizan en su metabolismo.

La concentración de iones hidrógeno (pH) en el suelo está relacionada con su evolución y con el intemperismo de los materiales, influyendo así mismo en la estabilidad de los minerales y regulando las fases de las sustancias más fácilmente solubles.

Los procesos que dan lugar a una migración de elementos actúan en dos direcciones: una, hacia el interior del perfil en el momento de la precipitación, arrastrando así las sales disueltas en el agua y las partículas en suspensión (iluviación); y la segunda, cuando el agua que no ha percolado a la profundidad sufre movimientos de ascenso debido a la evaporación por las condiciones climáticas (eluviación). Esto conduce a formar acumulaciones de sales y partículas finas en los horizontes superficiales como aflorencias; en ocasiones hay también transporte de minerales arcillosos a la superficie (Grande, 1967; Buol, 1983).

5.1.2 Horizonte B

En suelos bien desarrollados se presenta en forma definida el horizonte B que se ubica abajo del horizonte A en el cual se acumulan minerales arcillosos asociados con sales minerales simples (Grande, 1967; Buol, 1983).

No necesariamente los suelos de las regiones áridas o semiáridas presentan este horizonte. Son áreas en las que el material arcilloso es escaso y a veces no se define la zona de concentración iluvial de silicatos, sino que aparecen en este horizonte acumulaciones de materiales solubles provenientes del horizonte A.

Cuando el perfil empieza su desarrollo, se localizan horizontes transicionales AC, que tienen las propiedades secundarias de ambos, pero sin la dominancia de las propiedades características de A o de C.

5.1.3 Horizonte C.

Este horizonte es de naturaleza semejante a la roca madre de la cual proviene el suelo y está poco afectado por los procesos de alteración.

5.2 Alteración de minerales.

5.2.1 Alteración de minerales primarios

Además de la solubilización de minerales, uno de los cambios más importantes en los materiales basales durante el desarrollo del perfil del suelo es la disminución del tamaño de las fracciones. Esta disminución está directamente relacionada con los fenómenos físicos que comprenden cambios térmicos de expansión y contracción en los materiales, así como también reacciones químicas que involucran la fractura de las celdas unitarias ocasionando cambios en los planos de las estructuras cristalinas y la inclusión de iones y moléculas orgánicas que contribuyen a la distorsión de las redes cristalinas.

Los minerales primarios son aquellos que conservan la naturaleza y las propiedades de la roca que ha dado lugar al suelo y se encuentran relacionados con la textura del mismo (Jackson, 1964).

Los minerales primarios tales como el cuarzo y feldespatos se encuentran en mayor proporción en las fracciones gruesas (arenas y limos), debido a su dominancia en la litósfera (Coroy, 1964). Otros minerales de origen primario son: piroxena y anfíbola, olivinos y algunos ferromagnesianos.

5.2.2 Alteración de minerales secundarios.

El proceso de alteración de minerales secundarios en el suelo puede compararse a una reacción en que las sustancias reaccionantes constituyen las fracciones más gruesas y los productos finales de la reacción están representados por las arcillas. De este modo, en el proceso de alteración del suelo intervienen tres tipos de materiales, que son:

- a) los minerales primarios, de naturaleza inherente al material basal.
- b) los minerales secundarios, formados a partir de los primarios, tales como minerales arcillosos y
- c) los óxidos, carbonatos y sulfatos no combinados, tales como: sesquióxidos de hierro, aluminio-silice, calizas y yeso.

En suelos con acumulación de sales las sustancias son solubles, mientras que los productos finales son parcialmente solubles. Algunas de las sustancias disueltas pueden ser removidas por aguas de percolación y reaccionar, por ejemplo, con la sílice insoluble, mientras que otras sustancias permanecen en su sitio y reaccionan con otro u otros elementos.

En esta forma los cationes solubles como: Na^+ , K^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2} , pueden ser adsorbidos por reacciones de intercambio entre

los minerales arcillosos, pueden incluirse dentro de la estructura de los minerales primarios o bien, combinarse con los productos de esos minerales.

Los minerales que se encuentran en las zonas áridas, están determinados por las condiciones del medio, particularmente por el estado ácido-base, composición de la solución del suelo y concentraciones iónicas, dando lugar a diferentes reacciones en los distintos horizontes.

Los minerales secundarios, encontrados en suelos de zonas áridas donde existe acumulación de sales están en la proporción 2:1 (Jackson, 1964). Pueden ser: micas, vermiculita, clorita, montmorillonita y material interestratificado en las capas de silicatos, aunque es posible que se encuentren minerales arcillosos en la proporción de 1:1, como la caolinita (Buol, 1983).

5.3 Clima

El clima como factor formador del suelo determina en gran parte el grado, naturaleza y velocidad de la intemperización. Los dos factores: precipitación y temperatura ejercen una influencia decisiva en las reacciones químicas y procesos físicos de los que depende esencialmente el desarrollo del perfil.

En zonas áridas, el material basal ejerce mayor influencia en las propiedades del suelo que el clima, debido principalmente a la escasez e irregularidad de las precipitaciones, por lo que las reacciones químicas están limitadas a ciertas épocas y esto ocasiona la baja formación de minerales secundarios, dominando las arenas, fracciones gruesas y generalmente material poco alterado (Rzedowsky, 1983).

5.4 Material basal

Dentro de los procesos de formación del suelo a partir de un material basal dado, están aquellos que determinan la disgregación de las rocas sólidas de la corteza terrestre. Las rocas ígneas mantienen su composición original como rocas cristalinas. Las sedimentarias y metamórficas se originan por la alteración de las rocas preexistentes.

La intemperización precede a la acumulación de materiales en el proceso genético del suelo, originada a partir de aluviones o sedimentos no alterados por el metamorfismo (Hawkes, 1957).

5.5 Topografía

La topografía se refiere a la configuración de la superficie del terreno, influyendo en la acumulación o transporte de los productos de intemperización. En términos generales, las pérdidas

de material se producen en las tierras altas con relieve convexo, mientras que el material transportado tiende a acumularse en las partes bajas y regiones con relieve cóncavo. Los depósitos formados, son una manifestación de la acción de los agentes de transporte que han intervenido (gravedad, viento y corrientes de agua).

La topografía actúa en dos direcciones como factor de formación del suelo: a) en forma directa, ocasionando la erosión y reduciendo el espesor de los suelos de pendiente pronunciada, contribuyendo a formar suelos profundos en las partes bajas y b) actúa en forma indirecta y se refiere a la cantidad de agua que influye en el desarrollo del perfil, pudiendo modificar en gran parte el efecto de la precipitación (Hawkes, 1957).

5.6 Vegetación

La vegetación se considera como una resultante de la interacción del suelo con el clima. Esta interacción es interdependiente, es decir, un suelo bajo determinadas condiciones climáticas presenta una vegetación característica, pero esta vegetación a su vez, influye en el desarrollo del suelo.

En zonas áridas y semiáridas, particularmente en zonas de relleno con períodos prolongados de sedimentación fluviolacustre, en fondos de antiguas lagunas y lugares de acumulación de sales, se desarrollan plantas que se han adaptado a las condiciones del medio siendo de tipo halófito, en suelos yesosos se encuentran plantas gipsófilas. También existen plantas capaces de acumular grandes concentraciones de algún elemento si éste se haya fácilmente disponible en el suelo (Mason, 1960) y esta facultad de los vegetales se ha empleado para localizar áreas de acumulación de minerales.

CAPITULO VI

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS CACTACEAS

Las cactáceas, así como las demás plantas superiores adaptadas a vivir en zonas áridas y semiáridas presentan un complejo proceso metabólico originando la formación de diversos compuestos orgánicos y la acumulación de agua y sales minerales, siendo principalmente los siguientes:

a) El agua. Es uno de los principales componentes de estas plantas, constituyendo hasta el 80% del peso total.

b) Sales minerales. Análisis realizados en cenizas de cactáceas, demuestran que existe un gran contenido de sales minerales, estando esto en relación con la alta salinidad característica de suelos de zonas áridas y semiáridas, con la textura, el espacio poroso, la conductividad, la capacidad de intercambio catiónico y la humedad, influyendo así mismo el metabolismo de las plantas.

En el proceso metabólico se forman diversos ácidos orgánicos, siendo el más abundante el ácido oxálico (que da lugar al oxalato cálcico, el cual se encuentra en forma de cristales o agregados). Abundan también los cristales de silicio.

c) Carbohidratos. Se presentan en las cactáceas en forma de monosacáridos, disacáridos o polisacáridos en frutos, flores, tallos y raíces. Estos se encuentran generalmente como gomas, mucilagos, pectinas, glucósidos y taninos.

Las gomas se forman como respuesta a algún daño físico que sufre la planta. Los mucilagos son sustancias que se encuentran en las cámaras subestomáticas y que en contacto con el agua forman un coloide viscoso, siendo un importante mecanismo de retención de agua.

Los néctares son una mezcla de sacáridos producidos por los nectarios los cuales pueden ubicarse en la flor, o bien, ser extraflorales, siendo importantes para atraer los agentes polinizadores.

La celulosa es un componente primordial que forma la pared celular de las cactáceas.

d) Lípidos. Las cactáceas presentan diferentes tipos de ácidos grasos caracterizándose por no ser muy abundantes, sin embargo las semillas de *Opuntia* spp. poseen abundante cantidad de aceites.

También se pueden presentar ceras, que funcionan como capas

protectoras para evitar la pérdida de humedad.

e) Pigmentos. La clorofila es el principal pigmento de las cactáceas, también presentan dos grupos de carotenos: el beta-caroteno o carotina, que es un importante precursor de la vitamina A, y la xantofila, la cual se deriva de los carotenos.

Las flavoproteínas son pigmentos que contienen nitrógeno, siendo las beta-cianinas las que dan las coloraciones rojas o purpúreas, así como las betaxantinas dan las coloraciones amarillas. Las coloraciones anaranjadas se deben a la mezcla de las betaxantinas y copigmentos.

f) Proteínas. Uno de los principales compuestos de las cactáceas son las proteínas. Se han realizado estudios principalmente en *Opuntia* sp.; encontrándose que las pencas jóvenes de éstas contenían del 11 al 23% de proteína en materia seca (Fernandez, 1949) y en sus semillas hay aproximadamente 9.5% (López et al., 1977).

g) Alcaloides. Son compuestos nitrógenados los cuales son muy numerosos en las diferentes especies de cactáceas. Numerosos trabajos, entre ellos, los de Djerassi (1958), demostraron que estas sustancias no se encuentran distribuidas uniformemente en toda la planta, pues se observan grandes concentraciones en la epidermis y menores cantidades en la corteza y médula.

CAPITULO VII

DESCRIPCION GENERAL DEL AREA EN ESTUDIO

7.1) Localización y límites. El área en estudio se encuentra situada en la localidad "Las Cabras", Municipio Villa de Reyes, en el Estado de San Luis Potosí. Se limita al norte con el Municipio de San Luis Potosí, al oeste con el Municipio de Venado, al este con los Municipios Carro de San Pedro y Santa María del Río y al sur con el Estado de Guanajuato, (mapa 1).

7.2) Fisiografía. La zona de trabajo queda comprendida en el área fisiográfica correspondiente a la parte sur de la Altiplanicie Mexicana o Mesa Central (García, 1969).

7.3) Geología. El área en estudio se encuentra ubicada dentro de una cuenca sedimentaria con una superficie de más de 455 000 Km² de sedimentos marinos del Jurásico Superior, Cretácico Inferior, Cretácico Medio y Cretácico Superior. Esta región fue afectada por vulcanismo del Terciario y como resultado de ello se encuentran las amplias llanuras interrumpidas por sierras, principalmente formadas por rocas ígneas ácidas, aunque también las hay de cenizas y de rocas metamórficas. observándose específicamente en Las Cabras la presencia de rocas ígneas basálticas y riolitas (DETENAL, 1985), (mapa 2).

7.4) Topografía. La superficie de la zona de estudio es plana a ligeramente ondulada y con pendientes menores al 8% (DETENAL, 1985), (mapa 3).

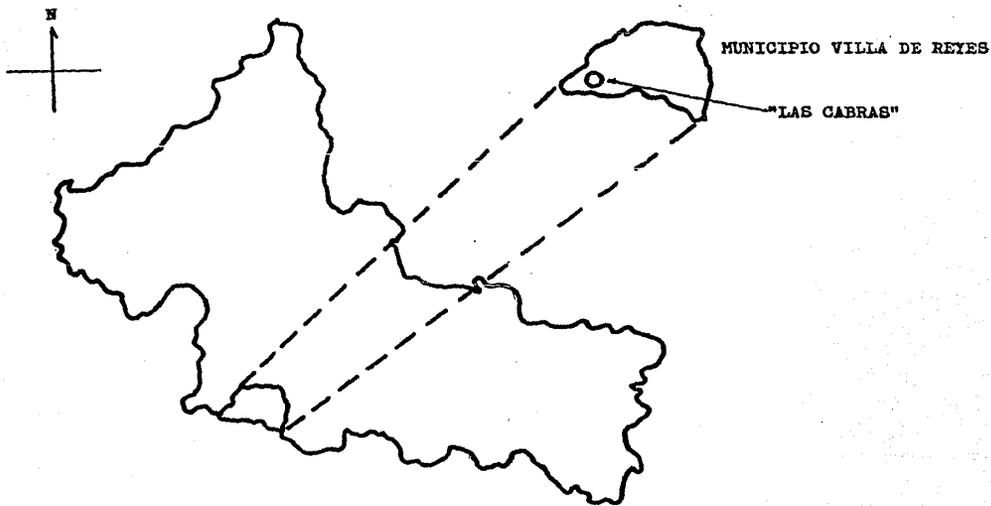
7.5) Clima. En el área de estudio impera un clima correspondiente a BS_{kw} (semiseco templado), con lluvias en verano, con una precipitación media anual entre los 400 y 500 mm y una temperatura media anual de 16 a 19°C. El verano es cálido con condición de canícula y una pequeña temporada menos lluviosa, dentro de la estación de lluvia llamada sequía de medio verano (García, 1964; DETENAL, 1985), (mapa 4).

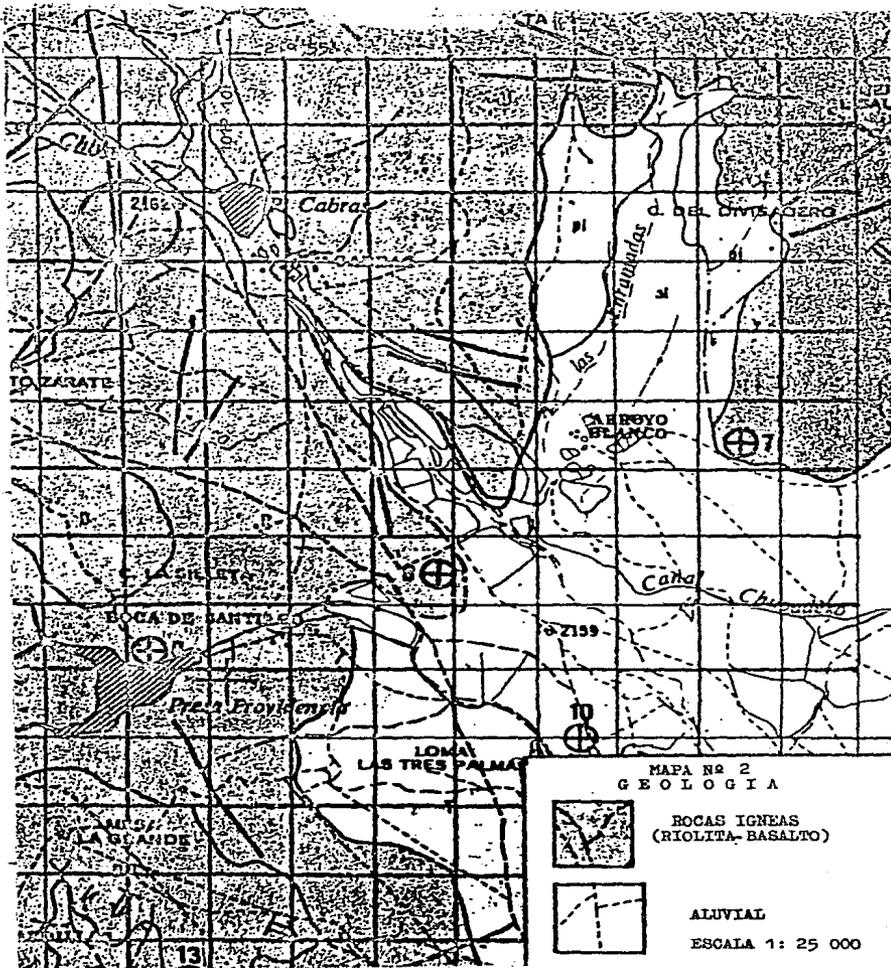
7.6) Vegetación. Se compone de nopaleras, matorral subinerme e izotal; observándose las siguientes especies: *Opuntia rastrera*, *O. leucotricha*, *O. cochineria*, *O. matuda*, *Ferocactus hyxtrisa*, *Cylindropuntia pallida*, *Hyrttilocactus geometrizans*, *Hambillaria vagaspina*, *Bursera fagaroides*, *Prosopis* sp., *Acacia* sp. y *Yucca* sp., entre otras (Rzedowski, 1983), (mapa 5).

7.7) Suelo. Pertenece al orden de los Aridisoles, los cuales se caracterizan por ser suelos poco intemperizados que se derivan de rocas calcáreas o yeso, loess y matorrales ígneos; son salinos o alcalinos, con un porcentaje bajo de materia orgánica y de nitrógeno (Aguilera, 1979). Además, el régimen climático en el que se forman los Aridisoles tienen una evapotranspiración

potencial que sobrepasa a las precipitaciones durante la mayor parte del año (Buol, 1964). Como resultado de ello, los suelos heredan gran parte de la morfología de los materiales originales (roca madre) (Buol, 1964), (mapa 6).

MAPA N° 1
LOCALIZACION DEL AREA EN ESTUDIO
SAN LUIS POTOSI



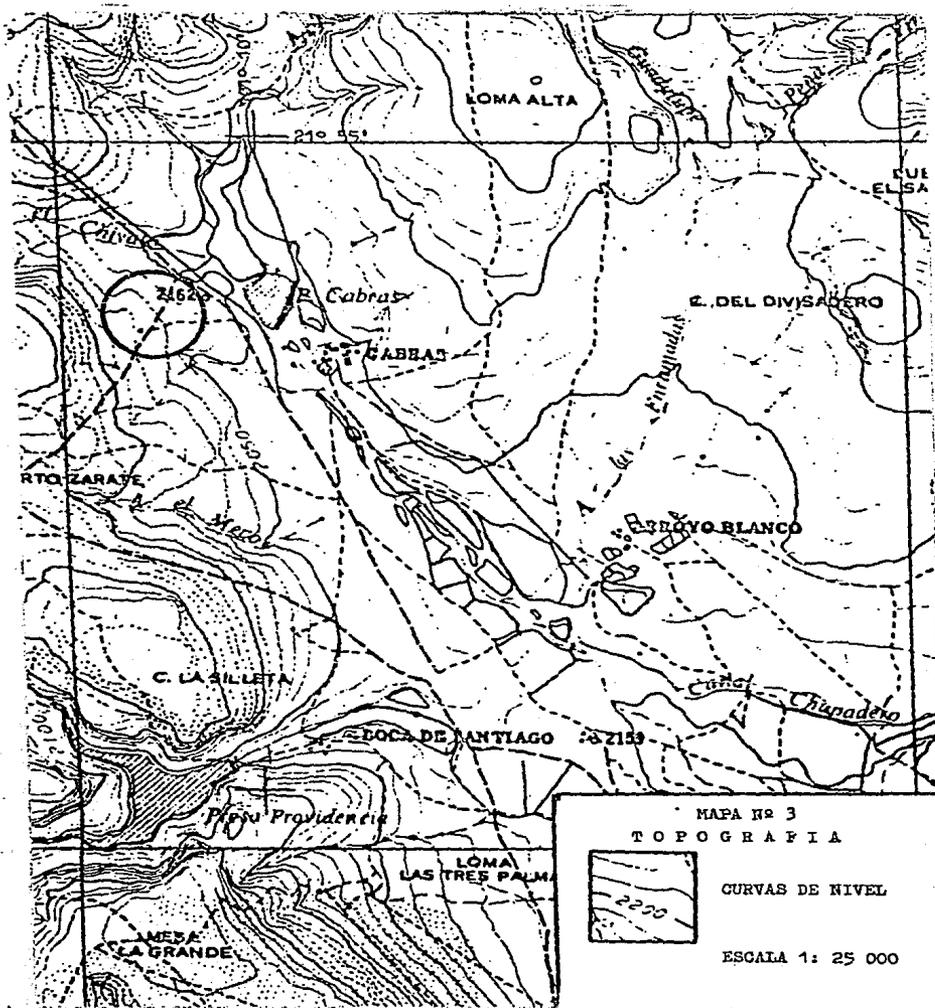


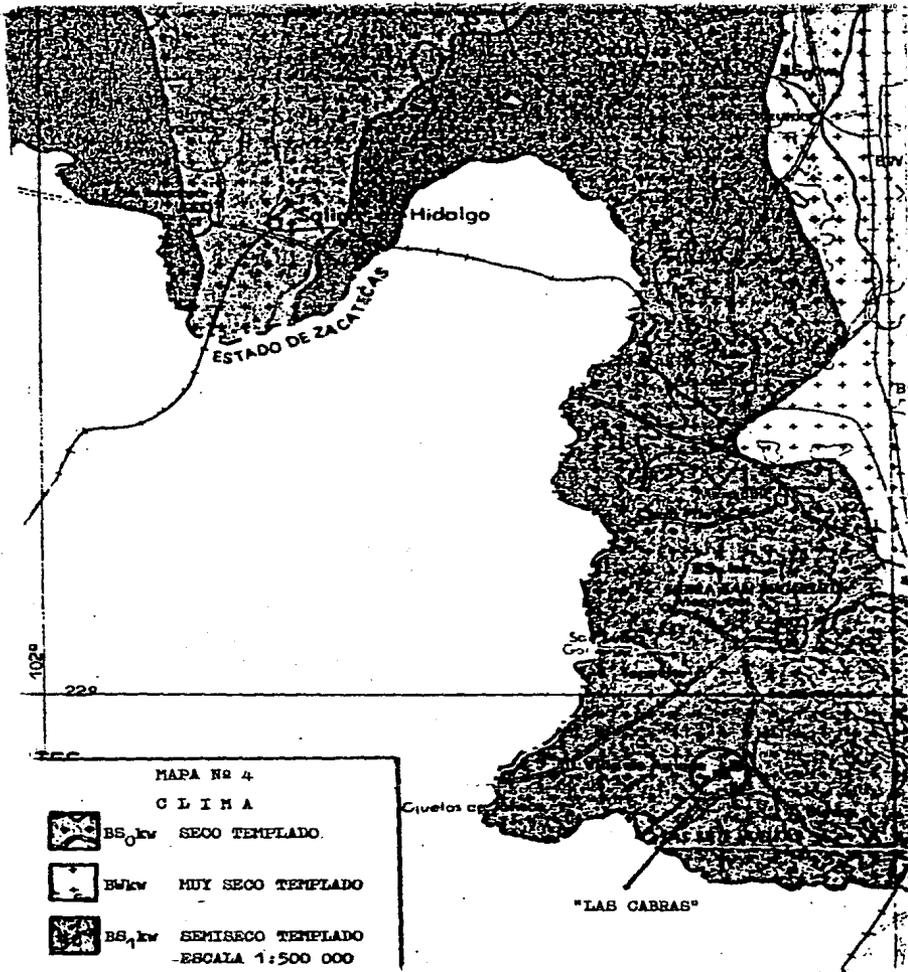
MAPA Nº 2
GEOLOGIA

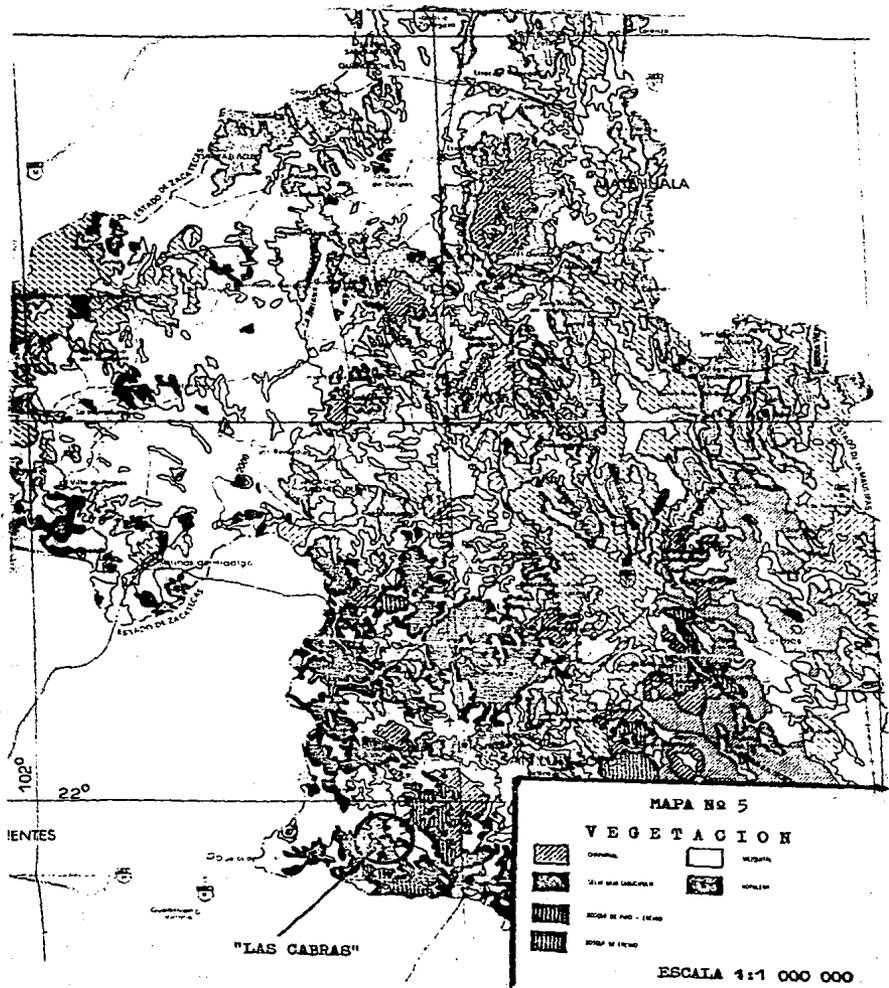
ROCAS IGNEAS
(RIOLITA-BASALTO)

ALUVIAL

ESCALA 1: 25 000

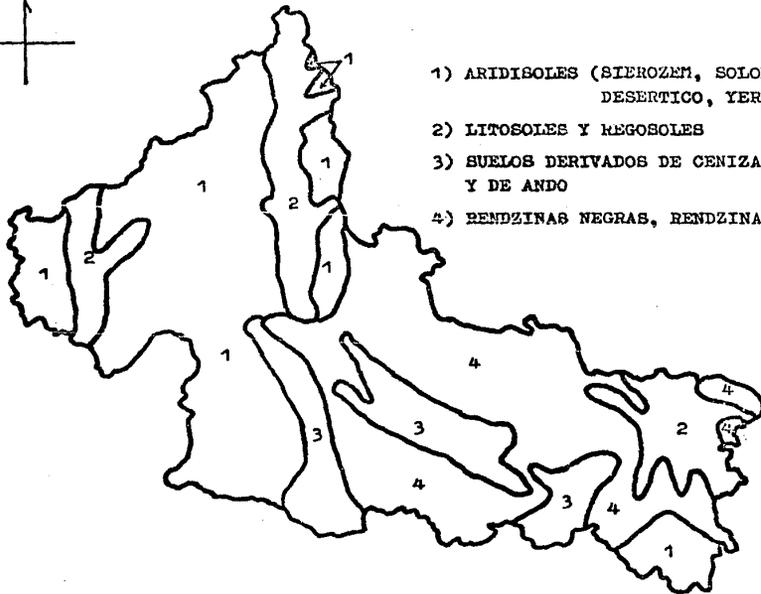
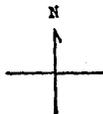






MAPA Nº 6

SUELO



- 1) ARIDISOLES (SIEROZEM, SOLONETZ, CHESNUT, DESERTICO, YERMO SOLES)
- 2) LITOSOLES Y REGOSOLES
- 3) SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS Y DE ANDO
- 4) RENDZINAS NEGRAS, RENDZINAS ROJAS

CAPITULO VIII

DESCRIPCION TAXONOMICA DE LA ESPECIE *Mammillaria vagaspina* Craig.

El género *Mammillaria* según Scheinvar (1982), reúne especies terrestres, globosas, globoso-deprimidas, cortas o ligeramente cilíndricas, con la base redondeada, cónica o alargada, de la cual salen raíces napiformes crasas o fibrosas; crecen aisladas o cespitosas por multiplicación del meristemo apical o por formación de yemas vegetativas que emergen cerca de la base del cuerpo o de su parte mediana; con jugo acuoso, lechoso o semilechoso, este último puede estar presente solamente durante algunos meses del año, en todo el tallo o sólo en la base de la planta; tubérculos bien individualizados como mamilas, suculentos, dispuestos en series de espirales de Fibonacci, generalmente regulares, constantes para cada especie en los individuos adultos, cilíndricos, cónicos o con paredes aplanadas, anguladas, en sus axilas suele haber lana y cerdas, a veces cáducas con la edad; aréolas dispuestas en los tubérculos hacia su ápice o bien en el ápice, sin surco longitudinal hacia la axila, generalmente con lana cáduca con la edad y espinas de forma, tamaño y color variables, lisas o plumosas a veces diferenciadas en radiales y centrales, habiendo a veces una o más espinas centrales ganchudas; flores diurnas hasta de 2.5 (3) cm de largo, emergen una de cada axila de los tubérculos, generalmente numerosas, formando una o más círculos cerca del ápice, o bien, en algunas especies emergen de la parte lateral de la planta, campanuladas o infundibuliformes; pericarpelo glabro (pero a veces puede haber una escama), tubo muy corto, segmentos del perianto petaloideos, de colores variados; estambres inciertos en la base del tubo; grano del polen tricolpado, esférico a prolato, superficie equinulada-punctibaculada o verrucosa, colpos con o sin cordón o membrana, éstos lisos o con ornamentación similar a la superficie del grano; fruto cilíndrico o cónico, sin aréolas, indehiscente, de colores variados, generalmente con restos florales persistentes, comestibles; semilla piriforme a elipsoide, taza del hilo subbasal oblicua o lateral, de 1 a 2 mm de largo, testa ondulada o faveolada marrón anaranjada o negra, embrión ovoido o cónico, cotiledones reducidos, acumbentes, perisperma presente o ausente.

El género *Mammillaria*, presenta su centro de distribución en México, extendiéndose hasta al norte de Utah y Nevada, E.U.A.; encontrándose dos especies en las Antillas y otras pocas en Centro y Sudamérica.

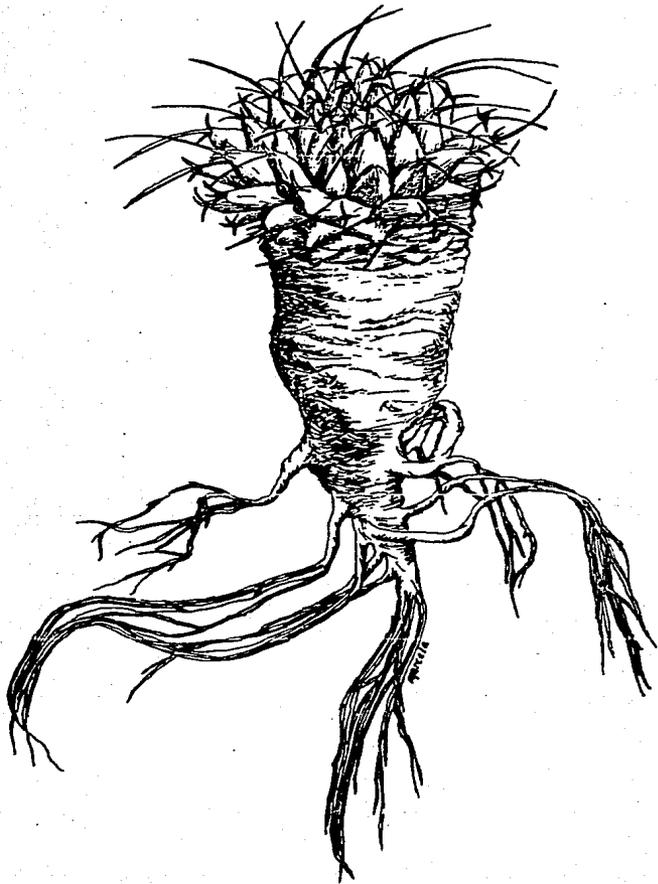
Hasta la fecha han sido descritas más de 300 especies y para México, Bravo (1937) reconoce 206 especies.

Mammillaria vagaspina Craig, (fig. 5), presenta un cuerpo simple o cespitoso desde la base, subglobosa, con el ápice hundido, con lana y espinas aplicadas sobre él, diámetro aproximado de 7.5 a 25.0 cm, al cortar el tallo y en contacto con el aire toma el

color de rosa, largo aproximado de 5.0 a 12.0 cm; tubérculos arreglados en 8 y 13 espirales, piramidales, mas o menos angulosos, algunas veces aplanados dorsalmente, color verde claro, verde oscuro, rojo-violáceo, violáceo-amarillento, amarillento-anaranjado y amarillento; ancho aproximado de 0.63 a 1.17 cm, con una altura aproximada de 1.1 a 1.4 cm; la parte inferior de la planta y tubérculos con jugo lechoso. Axilas con lana blanquizca o grisácea; aréola subapical en forma ovalada y en ocasiones en forma de diamante, sin lana; espinas radiales 3 (1, 2, 4), de 0.1 a 1.0 cm de longitud, las laterales más largas, aciculares, comúnmente rectas a ligeramente recurvadas, lisas, duras ascendentes, cuando son 2 horizontales, cuando son 3 la inferior es la más corta, cuando son 4 las dos superiores son más cortas y están en la parte inferior de la aréola; espinas centrales siempre presentes, 2 (1 o 3), muy irregulares en longitud, de 0.4 a 2.9 cm de longitud, aciculares, muy tortuosas, algunas veces anguladas, lisas rígidas pero flexibles, sólo las más largas encorvadas, dirigidas hacia abajo, todas blanquizcas y generalmente el ápice negro. Flores infundibuliformes, aproximadamente de 0.8 a 1.1 cm de diámetro; segmentos exteriores del perianto rosa pálido, con la base blanquecina, de color rosado con estria mediana y ápice marrón, márgenes rosa pálido, lanceolados, punta aguda, márgenes enteros; filamentos rosa pálido, anteras amarillo-marrón; estilo rosado; lóbulos del estigma 4, amarillo-marrón con estria mediana, rosados ventralmente. Frutos bayas, rojo encendido, encorvados, claviformes, longitud de 0.8 a 1.2 cm y diámetro de 0.3 a 0.5 cm. Semillas marrón claro con taza del hilo lateral subasal y testa ondulada, reticulada.

Mamillaria vagaspina, presenta una distribución geográfica muy amplia, desde la zona Árida Queretana-Hidalguense hasta el sur de la zona Árida Chihuahuense, en San Luis Potosí, Matehuala y posiblemente también se encuentra en Zacatecas.

Mammillaria vagaspina



CAPITULO IX

GENERALIDADES DE LA TECNICA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X

La fluorescencia de rayos X consiste en la obtención de espectros de emisión considerando la estructura del átomo como una estructura esférica (modelo de Bohr), en la cual los electrones se encuentran ligados al núcleo debido a una interacción electrostática. En 1913 Niels Bohr obtuvo un esquema general para explicar los orígenes de las líneas espectrales: "La cuantización de los niveles de energía de los átomos". Los electrones sólo pueden existir en ciertos estados estacionarios o cuánticos, cada estado tiene un valor definido de energía y esta energía puede variar únicamente por "saltos", donde cada salto corresponde a una transición de un estado cuántico a otro.

La energía de un electrón se caracteriza en primer lugar por el número cuántico principal denotado por "n", donde $n = 1, 2, 3, \dots$. El número cuántico "n" define la capa u órbita electrónica a partir de la más cercana al núcleo. Estos estados se denotan convencionalmente con letras mayúsculas: K ($n=1$), L ($n=2$), M ($n=3$), etc.. Cada una de estas capas de electrones está caracterizada por un valor de energía bien determinado, al que se le ha llamado "energía de amarre" del electrón. La energía de amarre de un electrón es la mínima cantidad de energía que se requiere para liberar a éste de su estado de amarre al núcleo.

Quando se remueve totalmente un electrón de la estructura atómica (cuando pasa a un estado no ligado), se crea una vacante en tal estructura, que es inmediatamente llenada (menos de 10^{-18} seg.) por otro electrón. Tal transición implica una pérdida de energía bien definida del sistema atómico. El principio de conservación de la energía conduce a que esta energía sea liberada como radiación electromagnética $E = E_i - E_f$, donde E_i y E_f son las energías de los niveles inicial y final de la transición. La radiación liberada se le llama rayo X.

Los procedimientos utilizados para el estudio de los espectros obtenidos al inducir rayos X en una muestra, han desarrollado consigo dos técnicas: a) el análisis dispersivo (Compton) de longitud de onda, que es el más antiguo y aún usado y b) la espectroscopía de energía de rayos X, que es una herramienta muy poderosa en el campo de análisis de cantidades muy pequeñas (trazas) de elementos. La espectroscopía de energía de rayos X es un método mucho más rápido, eficiente y sensitivo. Este método está ligado al uso de detectores semiconductores de silicio y germanio.

Entre las técnicas de mayor importancia tomando en cuenta su sensibilidad (que se define como la mínima cantidad de muestra detectable por el aparato), está la fluorescencia de rayos X utilizando electrones o protones para excitar la muestra.

La fig. 6 representa las transiciones posibles para un átomo de uranio (número atómico $Z=92$). Las transiciones que resultan a la capa K forman la serie K; la serie L resulta de las transiciones a la capa L y así sucesivamente. Si la transición a la capa K proviene de la capa L el rayo X corresponde a un K alfa, si fué de la capa M se trata entonces de un K beta. K alfa y K beta están compuestos por K alfa₁, K alfa₂, K beta₁, y K beta₂ que son de energía ligeramente diferente.

Para un elemento dado, la energía de los rayos X aumenta (su longitud de onda disminuye) de la serie K, ya que las transiciones deben efectuarse de las capas más lejanas a la vacante creada en los niveles sucesivamente más cercanos al núcleo. Para la misma línea espectral la energía aumenta con el número atómico, porque la carga nuclear que liga a los electrones y la diferencia de energía entre las órbitas se incrementa.

La interacción entre radiación y volumen sensible del detector es un paso en el cual la información de los rayos X generados se traduce a pulsos eléctricos manipulables, donde la energía del rayo X característico del elemento que lo emite se convierte en la altura (voltaje) del pulso producido y la cantidad del elemento en el blanco será proporcional al número de pulsos. De lo anterior se desprende la importancia que tiene para el experimento contar con equipo electrónico adecuado para el manejo de estos pulsos. La fig. 7 muestra la disposición del equipo electrónico.

El análisis cualitativo de una muestra es sencillo y directo. Este tipo de análisis tiene por objeto el identificar la presencia de elementos en la muestra, sin importar la cantidad absoluta de estos elementos. Para obtener la información basta la interpretación de un espectro registrado en el analizador multicanal. La interpretación se basa en la relación lineal que hay entre el número de canal y la energía de los rayos X característicos.

La energía de un pico puede obtenerse rápidamente leyendo en el video del multicanal el número de canal del pico, o comparando su posición con los espectros de muestras patrones donde se exponen las principales líneas de emisión de los diferentes elementos. Esto permite la identificación inequívoca de los elementos presentes. Puede ocurrir que la posición de un pico de rayos X característico coincida con otros picos de otros elementos, sin embargo, una manera de distinguir a cual elemento corresponde el pico es por la presencia de otras líneas características del mismo elemento y su intensidad.

Las técnicas espectrográficas utilizadas para el análisis de las muestras, fueron:

- 1.- Análisis por fluorescencia de rayos X con bombardeo de protones (PIXE), utilizando un acelerador Van de Graff de 700 KeV (kilo electron volt), para la aceleración de los protones en el

FIG. 6 TRANSICIONES POSIBLES PARA UN ATOMO DE URANIO

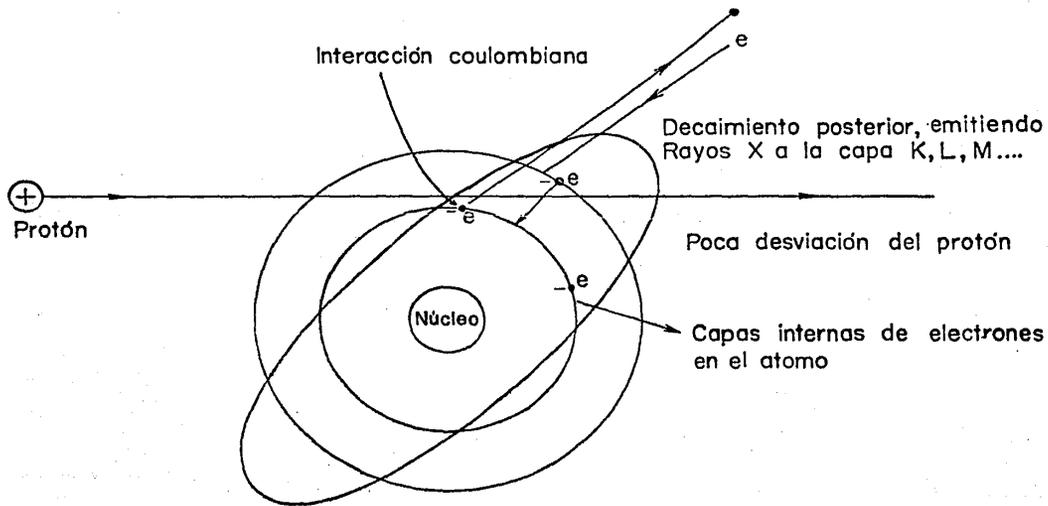


FIG. 7 DISPOSICION DEL EQUIPO ELECTRONICO

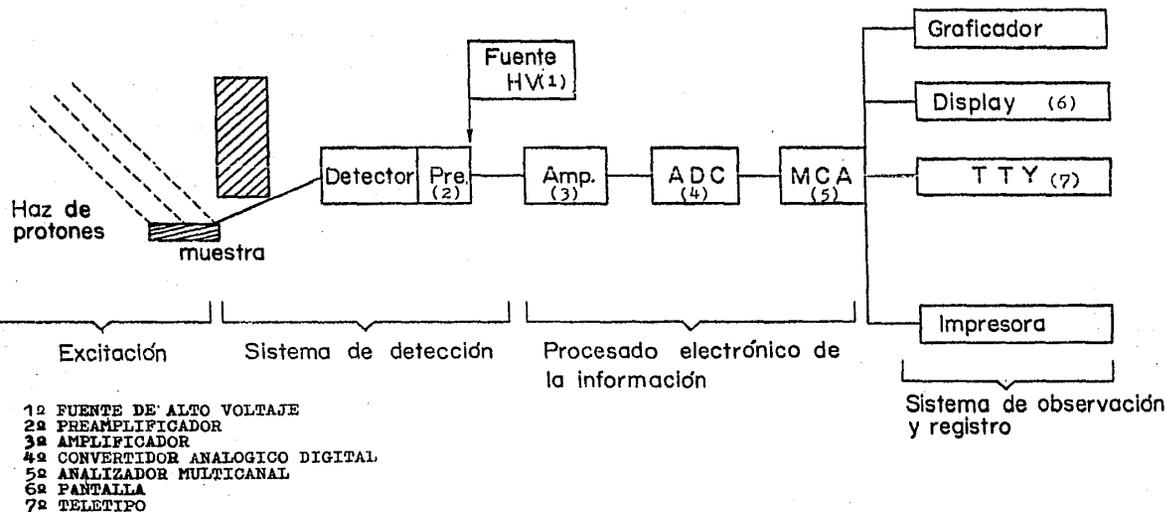
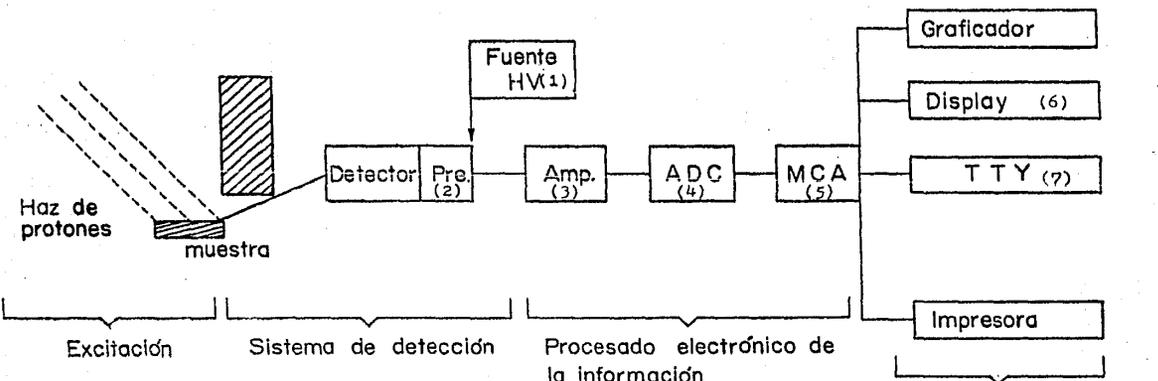


FIG. 7 DISPOSICION DEL EQUIPO ELECTRONICO



- 1# FUENTE DE ALTO VOLTAJE
- 2# PREAMPLIFICADOR
- 3# AMPLIFICADOR
- 4# CONVERTIDOR ANALOGICO DIGITAL
- 5# ANALIZADOR MULTICANAL
- 6# PANTALLA
- 7# TELETIPO

Dpto. de Física Experimental.

2.- Análisis por fluorescencia de rayos X con bombardeo de electrones, en el Lab. de Rayos X.

3.- Detección con el analizador elemental KEVEX, incorporado al microscopio electrónico de barrido JSM-35C, en el Lab. de Microscopía Electrónica de Barrido.

Los dos primeros métodos obedecen al mismo principio arriba expuesto y el tercero se basa en la difracción de rayos X.

METODOLOGIA

La metodología constó de:

- 1) Trabajo de campo.
- 2) Trabajo de laboratorio.
- 3) Trabajo de gabinete.

1) El trabajo de campo incluyó las siguientes fases:

1.1) Selección del área de estudio.

Se eligió la localidad "Las Cabras" en el municipio Villa de Reyes, del Estado de San Luis Potosí, por ser una zona con vegetación poco perturbada, existiendo en los alrededores minas de Si y Hg (DETENAL, 1981) y se observó en esta área cactáceas que presentaban cambios de coloración en el tallo, arrugamiento y necrosis en los tubérculos, lo cual sugirió la posibilidad de que estas plantas fueran bioindicadoras de la presencia de minerales en el suelo.

1.2) Especie seleccionada.

Se seleccionó la *Mammillaria vagospina* Craig, muy abundante en el área de estudio, presentando en sus poblaciones individuos verdes, y otros con diferentes coloraciones en sus tubérculos variando desde el rojo al púrpura, amarillo y anaranjado, o bien, necrosados. Estas plantas son relativamente pequeñas y pueden ser colectadas enteras, sin grandes dificultades. Las anteriores características fueron importantes para su elección con respecto a otras especies que se encontraban en la misma área, como por ejemplo nopales y magueyes que también presentaban cambios de coloración en sus tallos.

1.3) Colecta del material vegetal y edáfico.

1.3.1) Muestreo de la vegetación.

Debido a que los métodos de muestreo utilizados en ecología para muchas de las familias de las fanerógamas no se adaptan al muestreo de *Mammillaria* y en general plantas globosas, puesto que su distribución no es uniforme variando ésta de acuerdo a las condiciones microclimáticas, por ejemplo, abajo de arbustos que le dan sombra y humedad, se decidió efectuar un muestreo por cuadrantes en una superficie total de 2 500 m² (50X50 m). Esta área se dividió a su vez en 10 cuadrantes de 5X5 m y finalmente éstos se subdividieron en pequeños cuadrantes de 1X1 m.

Para la colecta de las cactáceas se observaron los siguientes lineamientos:

a) se eligieron plantas maduras, esto es, que presentaban flores o frutos, y en el caso de no presentar órganos reproductores, que tuvieran un diámetro mínimo de 8 cm.

b) se colectaron cactáceas que presentaban modificaciones en la coloración de los tubérculos (rojizos y/o amarillentos), y plantas sin alteraciones que se consideraron como testigos.

c) se colectaron tanto cactáceas aisladas como cespitosas, siendo estas últimas cuando de un mismo tallo se forman varias cabezas. Ambas formas son muy frecuentes en esta especie.

d) las cactáceas fueron fotografiadas en el campo

Las plantas fueron registradas de acuerdo a una numeración, con la cual se conoce el cuadrante de su ubicación, el mapeo de su posición en el cuadrante y el color de sus tubérculos, y se transportaron al Laboratorio de Cactología para la determinación taxonómica de la especie. Posteriormente algunas se transplantaron y otras se utilizaron para análisis espectrográficos.

1.3.2) Muestreo de suelos.

a) de cada ejemplar de *Mamillaria vagaspina* colectada, se tomaron muestras de suelo. La cantidad que se muestreo estuvo en función de la profundidad de las raíces de las cactáceas. Este material se utilizó para posteriores análisis espectrográficos.

b) excavación de perfiles y colecta de muestras para los análisis físico-químicos del suelo hasta la roca madre (aproximadamente hasta los 60 cm de profundidad). Se hicieron cinco perfiles colectando un total de 29 muestras, cuyas profundidades fueron: perfil 1: 0-60 cm; perfil 2: 0-50 cm; perfil 3: 0-70 cm; perfil 4: 0-60 cm y perfil 5: 0-50 cm.

Las muestras se colectaron en bolsas de plástico debidamente etiquetadas, con aproximadamente 2 Kg de suelo para cada una de ellas, y se transportaron al Laboratorio de Edafología para la determinación de sus propiedades físico-químicas.

2) El trabajo de laboratorio abarcó los siguientes puntos:

Las cactáceas estudiadas se transplantaron a macetas que contenían suelo del área de trabajo.

2.1) Análisis edafológicos.

Se analizaron 29 muestras de suelos tomadas cada 10 cm de profundidad correspondientes a un total de 5 perfiles, con profundidades de : 0-50 cm (2), 0-60 cm (2) y 0-70 cm (1).

2.1.1) Los análisis físicos de laboratorio fueron los siguientes:

El suelo una vez secado al aire se tamizó en un tamiz #10 con abertura de malla de 2.0 mm.

- a) Color. Se determinó por medio de las tablas de Munsell.
- b) Textura. Por el método de Bouyoucos (1951).
- c) Densidad aparente. Pesando un volumen de suelo en una probeta de 10 ml (Baver, 1956).
- d) Densidad real. Por el método del picnómetro (Jackson, 1958).

2.1.2) Análisis químicos.

a) pH. Por medio del potenciómetro Beckman Corning con electrodos de vidrio y calomel. Se usó una relación suelo-agua destilada 1:2.5 y una relación suelo-KCl (1N) pH 7.0 1:2.5.

b) Porcentaje de materia orgánica. Se siguió el método de Walkley, modificado por Walkley y Black (1957).

c) Capacidad de intercambio catiónico total. Método de centrifugación empleando solución 1 N pH 7 de cloruro de calcio (Jackson, 1958).

d) El análisis cuantitativo de Ca^{+2} y Mg^{+2} , se hizo por el método volumétrico de versenato (Jackson, 1958).

e) El contenido de alofano se detectó agregando al suelo NaF, pH 7.4 y fenoftaleína como indicador, según el método de de Fields y Perrot (1966).

f) El análisis de Na^{+} y K^{+} , se hizo obteniendo alíquotas por el lavado con el acetato de amonio 1N pH 7.0, cuantificando en el flamómetro Corning 400 (Jackson, 1958).

2.3) Preparación del material vegetal y edáfico para los análisis espectrográficos.

2.3.1) Se utilizó el analizador elemental KEVEX, incorporado al microscopio electrónico de barrido JMS-35. La preparación de las muestras consistió en:

A) Preparación del material vegetal.

a) Deshidratación.

Se colocaron diferentes plantas en una secadora FELISA del Laboratorio de Edafología a una temperatura aproximada de 80°C, hasta obtener un peso constante, indicándose con esto, que

el material estaba completamente deshidratado. Para esto se pesó cada planta en una balanza granataria del mismo laboratorio.

b) Selección de las estructuras para los análisis.

La selección consistió en tomar pequeños fragmentos de los tubérculos y espinas de la especie en estudio, guardándose cuidadosamente este material en frascos de vidrio y anotando en éstos sus datos o clave respectiva.

c) Montaje de la muestra.

c.1) En el Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido se transfirió la muestra a un pequeño molde metálico circular, al cual se le incorpora diurex con pegamento en ambas caras, por ser un material cuya interferencia es mínima para el fondo del espectro.

c.2) Se recubre la muestra con una delgada capa de Al, Au, Ag o Pt, sometiéndola al analizador elemental, obteniendo una gráfica que indica con sus picos los metales y metaloides presentes en la muestra en estudio.

B) Preparación del material edáfico.

a) Secado de los suelos.

Se colocó el suelo de las plantas en la secadora FELISA del Laboratorio de Edafología a una temperatura aproximada de 80°C, hasta su secado completo, guardándolo cuidadosamente en frascos de vidrio con sus respectivos datos, o bien, su clave.

b) Montaje de la muestra.

b.1) En el Laboratorio de Microscopia Electrónica de Barrido se transfirió la muestra a un pequeño molde metálico circular, al cual se le incorpora diurex con pegamento en ambas caras.

b.2) Se recubre la muestra con una delgada capa de Al, Ag, Au o Pt, sometiéndola al analizador elemental, obteniendo una gráfica que indica con sus picos los metales y metaloides presentes en la muestra en estudio.

2.3.2) Se realizó el análisis por Fluorescencia de rayos X inducidos por bombardeo de ELECTRONES. La preparación de la muestra consistió en:

A) Preparación del material vegetal.

a) Deshidratación.

Se colocaron diferentes individuos de la especie seleccionada en una secadora FELISA del Laboratorio de Edafología, a una temperatura aproximada de 80°C, hasta peso

constante, indicando esto, que el material estaba completamente deshidratado.

b) Reducción de las plantas deshidratadas a cenizas.

Las plantas deshidratadas, tanto las previamente molidas como las enteras fueron reducidas a cenizas. Para esto se colocaron en un crisol sometido a llama directa o calcinadas por medio de una mufla LINDBERG a una temperatura de 500°C del Laboratorio de Química. Las cenizas obtenidas fueron depositadas cuidadosamente en bolsas enceradas y/o de plástico anotando sus datos o clave respectiva.

c) Tamizado de la muestra.

En el Laboratorio de Rayos X se tamizó el material en un tamiz # 200 con abertura de malla de 0.074 mm.

d) Montaje de la muestra.

Las muestras tamizadas y reducidas a polvo o a cenizas fueron transferidas a una pastilla metálica circular que se encuentra anexa al espectrómetro de rayos X con anticatodo de Cr, PHILLIPS PW 1040.

e) Análisis elemental.

Se lleva a efecto el análisis elemental obteniéndose una gráfica cuyos picos indican los metales y metaloides presentes en el material de estudio, (graf. 14).

B) Preparación del material edáfico.

a) Secado de los suelos.

Se colocó el suelo de las plantas en la secadora FELISA en el Laboratorio de Edafología a una temperatura aproximada de 80°C, hasta que éste se encuentre completamente seco, colocándose en bolsas enceradas y cada una de estas en bolsas de plástico como medida preventiva de contaminación, anotando en ellas sus datos o clave respectiva.

b) Tamizado de suelos.

Los suelos previamente deshidratados fueron tamizados usándose el mismo número de malla que para las muestras de cactáceas.

c) Montaje de la muestra.

La muestra tamizada se transfiere a una pastilla metálica circular que se encuentra anexa al espectrómetro de rayos-X con anticatodo de Cr, PHILLIPS PW 1040.

d) Análisis elemental.

Se lleva a efecto el análisis elemental obteniéndose una gráfica cuyos picos indican los metales y metaloides presentes en el material en estudio, (graf. 15).

2.3.3) Se realizó el análisis por fluorescencia de rayos X inducido por bombardeo de PROTONES. (Proton induce X emission. P.I.X.E). La preparación de la muestra consistió en:

A) Preparación del material vegetal.

a) Deshidratación.

Se colocaron diferentes plantas de la especie seleccionada en una secadora FELISA del Lab. de Edafología, a una temperatura aproximada de 80°C, hasta peso constante, indicando esto que el material estaba completamente deshidratado.

b) Reducción de las plantas.

Las plantas deshidratadas, tanto las previamente molidas como las enteras fueron reducidas a cenizas. Para esto se colocaron en un crisol sometido a llama directa o calcinadas por medio de una mufla LINDBERG a una temperatura de 500°C del Lab. de Química. Las cenizas obtenidas fueron depositadas cuidadosamente en bolsas enceradas y/o de plástico, anotando sus datos o clave respectiva.

c) Montaje de la muestra.

En el Dpto. de Física Experimental se transfirieron las cenizas de las muestras a un pequeño molde metálico, al cual se le incorporo diurex por ser un material cuya interferencia es mínima para el fondo del espectro.

d) Análisis elemental.

Se lleva a efecto el análisis elemental obteniéndose una gráfica cuyos picos indican los metales y metaloides presentes en el material de estudio. Con el método PIXE, puede obtenerse el espectro completo de los elementos si se cuenta con una energía de bombardeo de 1 Mev a 3 Mev, (grafs. de la 1 a la 6).

B) Preparación del material edáfico.

a) Secado de los suelos.

Se colocó el suelo de la cactácea en una secadora FELISA en el Lab. de Edafología a una temperatura aproximada de 80°C hasta su secado completo, colocándose en bolsas enceradas y cada una de éstas en bolsas de plástico, como medida preventiva de contaminación, anotando en ellas sus datos o clave respectiva.

b) Montaje de la muestra.

Se siguió el mismo procedimiento que para las muestras de cenizas de las cactáceas.

c) Análisis elemental.

Se lleva a efecto el análisis elemental obteniéndose una gráfica cuyos picos indican los metales y metaloides presentes en el material edáfico, (grafs. de la 7 a la 13).

El número total de plantas analizadas por los diferentes métodos físicos fueron:

Cuatro plantas verdes, con tres muestras de su suelo.

Dos plantas con baja coloración rojiza.

Dos plantas con mediana coloración rojiza.

Cuatro plantas con alta coloración rojiza y una muestra de su suelo.

3) El trabajo de gabinete constó de las siguientes fases:

3.1) Obtención de las características edafológicas.

Se realizaron los cálculos matemáticos para la obtención de las diferentes características fisico-químicas de los 5 perfiles de suelo.

3.2) Determinación del material vegetal.

En el Laboratorio de Cactología se identificaron las cactáceas basándonos en la descripción de Craig.

3.3) Ejemplares de herbario.

En el Laboratorio de Cactología se prepararon ejemplares de *Mamillaria vagaspina* Craig para hojas de herbario.

3.4) Metodología para los análisis estadísticos.

La realización de estos análisis se llevaron a efecto inicialmente en una computadora Burroughs y posteriormente utilizando un teletipo terminal, usando el programa "Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales" (SPSS), efectuándose:

a) una matriz básica de datos de cada una de las variables (pags. 56 y 57), que posteriormente se usó en los análisis estadísticos. Con la información de la distribución, variabilidad y tendencias centrales se tiene la información necesaria para seleccionar las técnicas estadísticas subsecuentes.

b) se calculó para cada característica el valor mínimo y máximo, la media, desviación estandar, varianza, moda, mediana y error estandar de las diferentes características edáficas de los suelos, así como también las diversas características taxonómicas y contenido mineral de ambos.

c) se elaboraron correlaciones lineales, con la finalidad de obtener valores numéricos que indiquen que tan cercana es la relación existente entre las diferentes variables, tanto de los suelos como de las plantas analizadas.

d) se llevaron a efecto análisis estadísticos de todas las variables de las plantas considerando como variable independiente las diferentes intensidades de coloración, siendo éstas: 1) sin cambios de coloración (testigos); 2) baja intensidad de coloración; 3) mediana intensidad de coloración y 4) alta intensidad de coloración.

e) se elaboró una matriz de sombreado diferencial de Sokal (fig. 8), que abarcó la totalidad de las características edafológicas, restringiéndose únicamente a las capas de 0-10 cm de profundidad de los cinco perfiles estudiados, conjuntamente con las variables taxonómicas y el contenido elemental de las plantas; obteniéndose a partir de esto los rangos de similitud para cada una de las variables, (tablas de la B a la 13).

f) se elaboraron dendrogramas, los cuales indican la tendencia para formar conjuntos de acuerdo con la similitud existente entre cada una de las variables. Los dendrogramas que se realizaron fueron de los perfiles analizados, comprendiendo las características químicas y físicas correspondientes a la profundidad de 0-10 cm (fig. 9). A partir de la información obtenida de los anteriores dendrogramas, se elaboraron otros, para encontrar la relación existente entre ellos y las características de las plantas con diferentes intensidades de coloración, estableciéndose de manera objetiva la relación suelo-planta (fig. 10).

En lo que concierne a los análisis estadísticos de los resultados edafológicos para los diferentes perfiles, comprendiendo únicamente la profundidad de 0-10 cm, se obtuvieron los dendrogramas correspondientes, integrándose los siguientes grupos:

Grupo I perfiles 1 y 2

Grupo II perfil 3

Grupo III perfiles 4 y 5

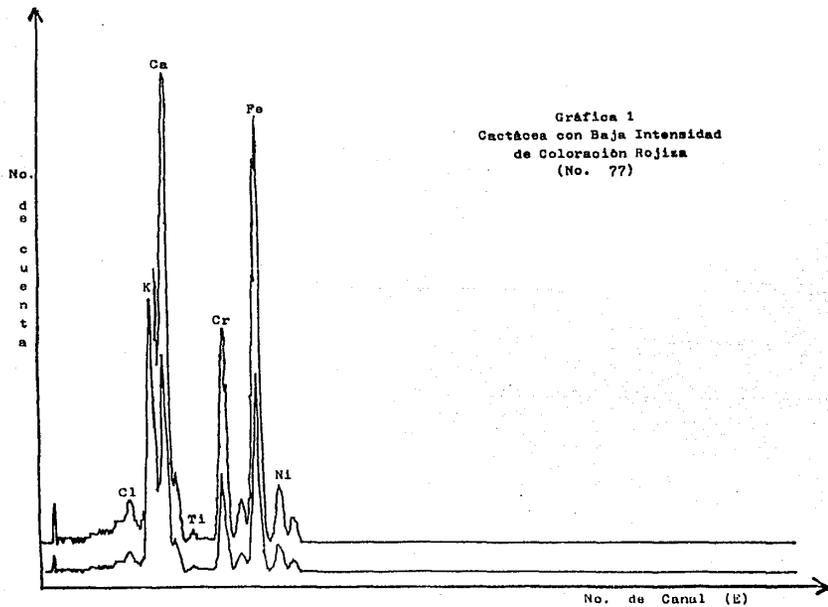
Con la finalidad de establecer una correlación directa, entre los perfiles y las plantas, se eligieron los Grupos I y III, puesto que el II se comportó con una mayor diferencia con relación a los otros dos, los cuales están constituidos cada uno

de ellos por un par de perfiles.

Para el tratamiento estadístico de las plantas, se consideró como variable independiente la intensidad de la coloración, que se relacionó con las demás variables, obteniéndose de esta manera cuatro grupos principales, siendo éstos los siguientes:

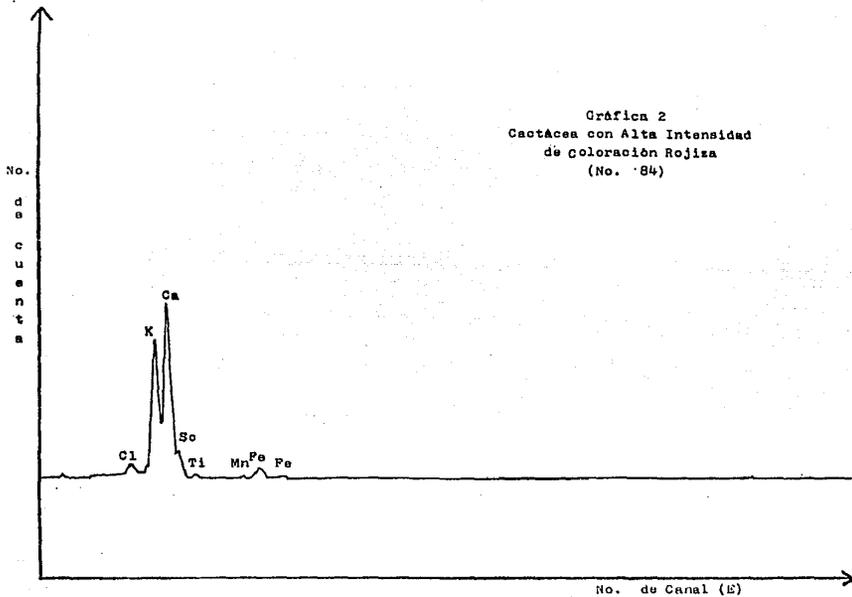
- Grupo 1 plantas verdes
- Grupo 2 plantas con baja coloración rojiza
- Grupo 3 plantas con mediana coloración rojiza
- Grupo 4 plantas con alta coloración rojiza

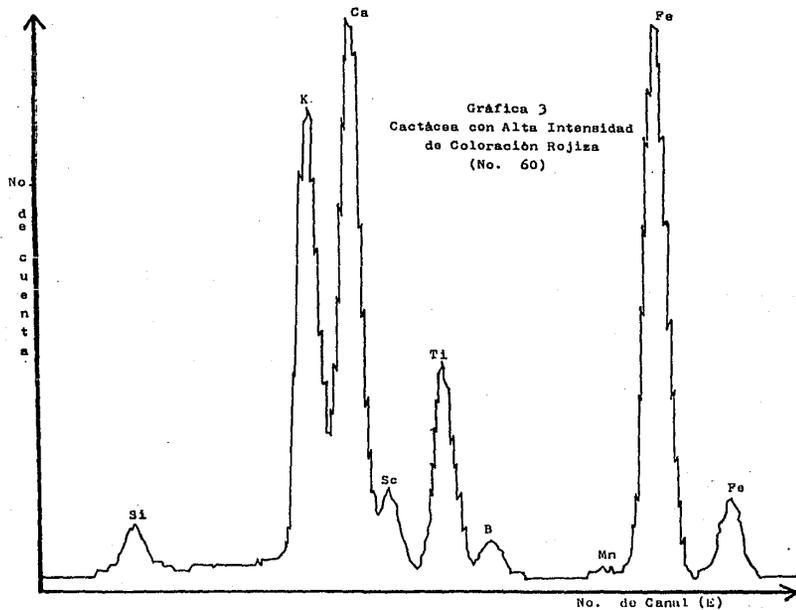
RESULTADOS

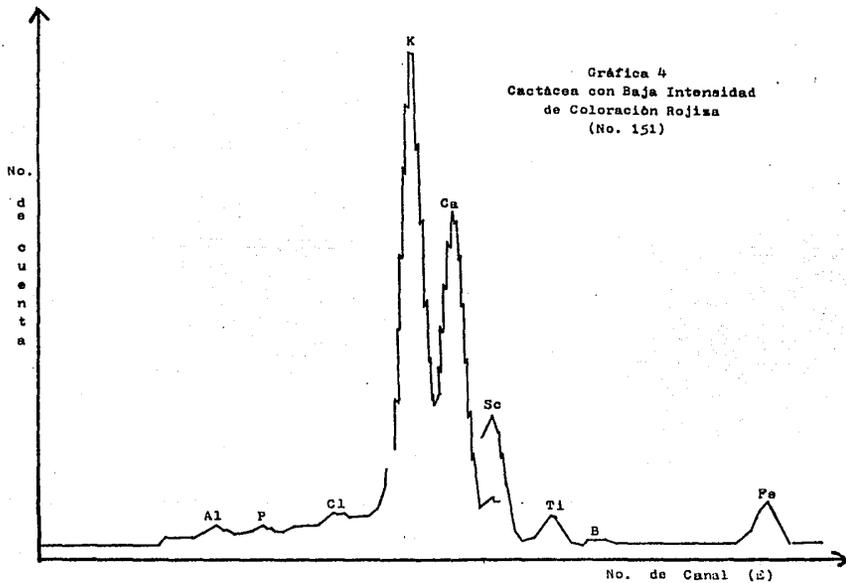


Gráfica 1
Cactácea con Baja Intensidad
de Coloración Rojiza
(No. 77)

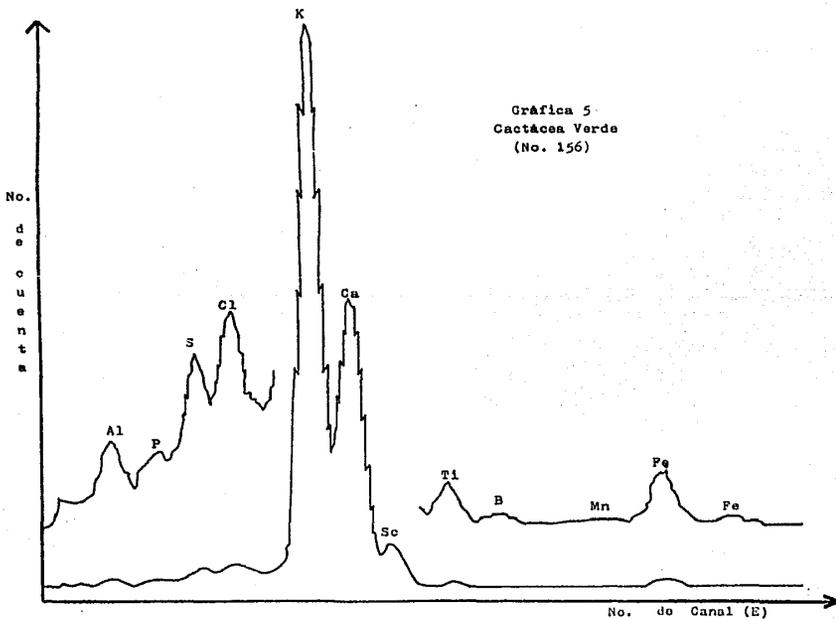
Gráfica 2
Caotacea con Alta Intensidad
de Coloración Rojiza
(No. 84)



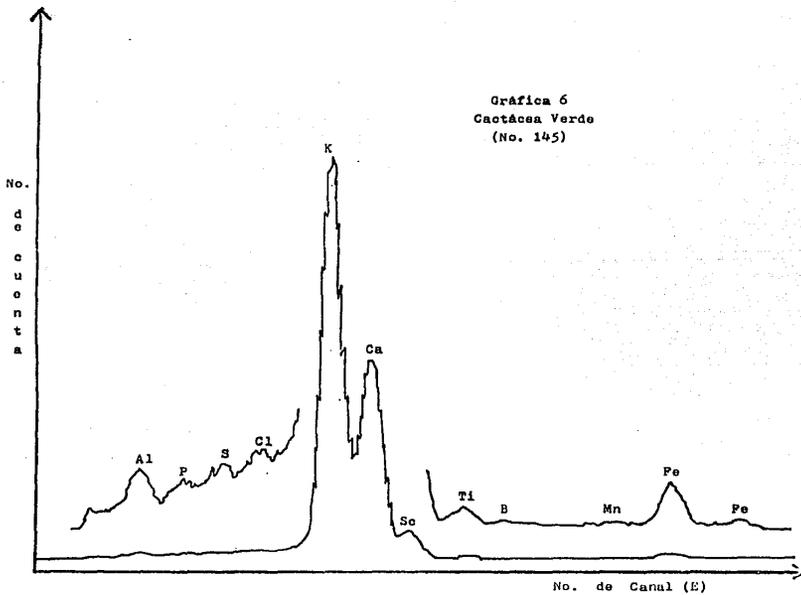




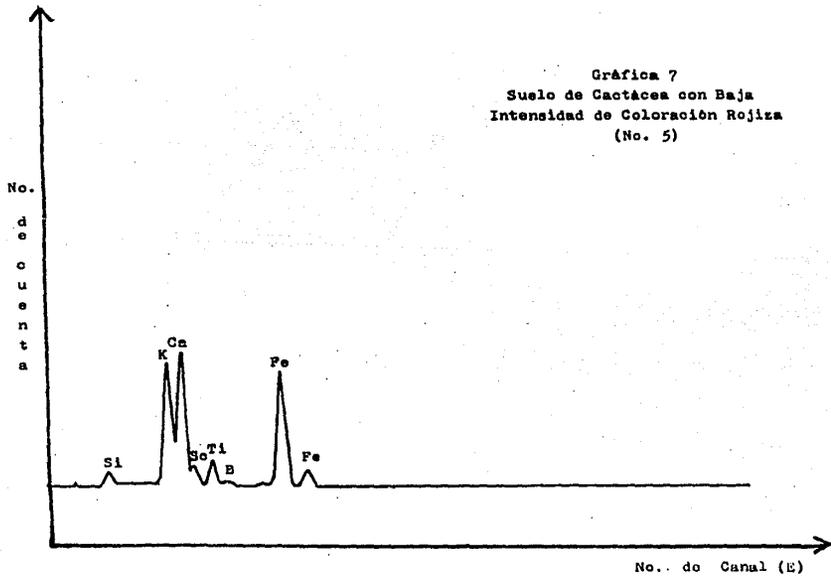
Gráfica 5
Cactacea Verde
(No. 156)



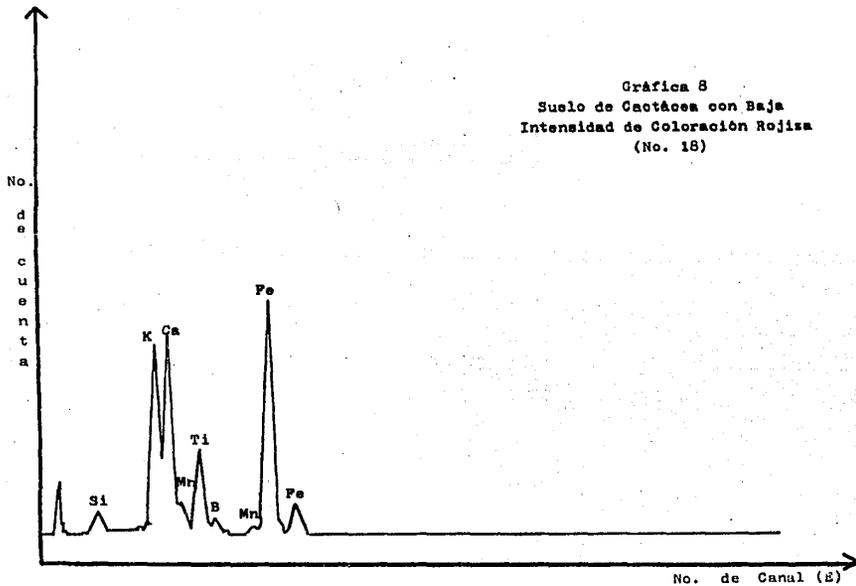
Gráfica 6
Cactácea Verde
(No. 145)



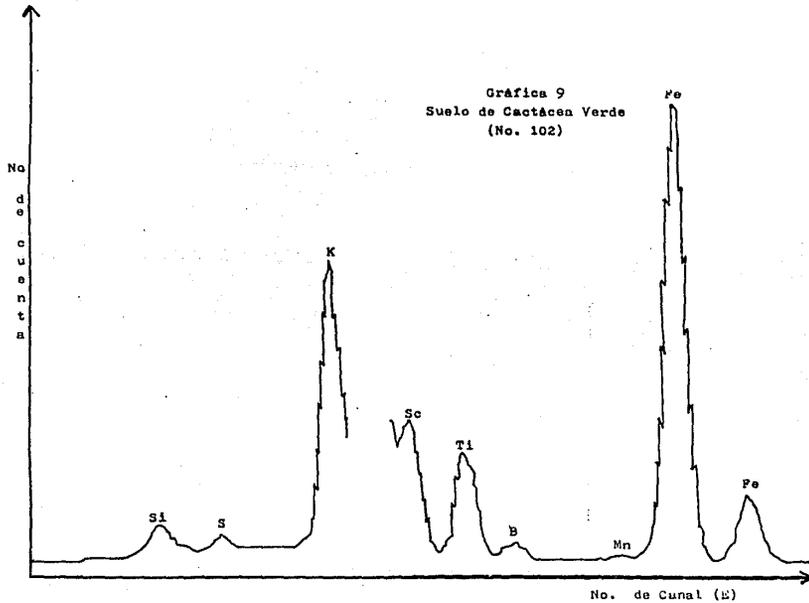
Gráfica 7
Suelo de Cactácea con Baja
Intensidad de Coloración Rojiza
(No. 5)

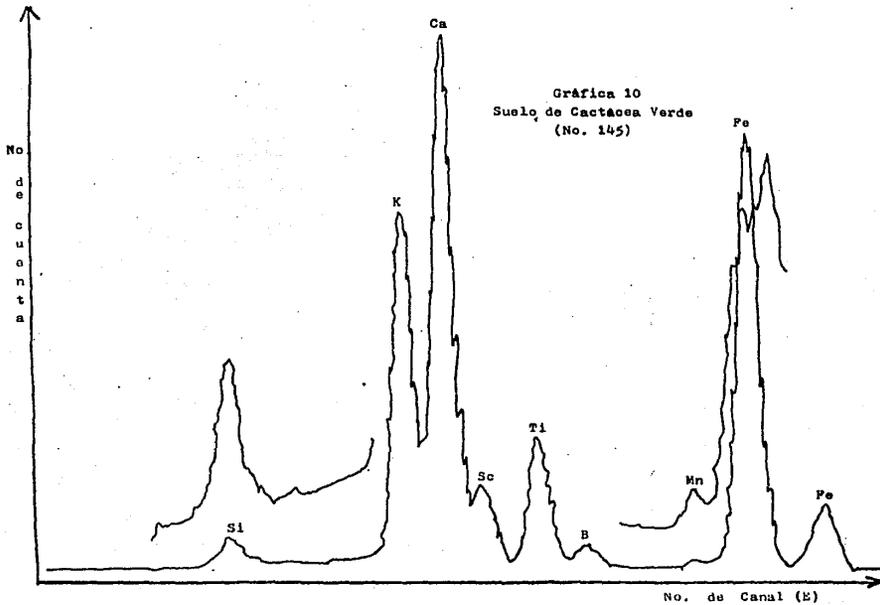


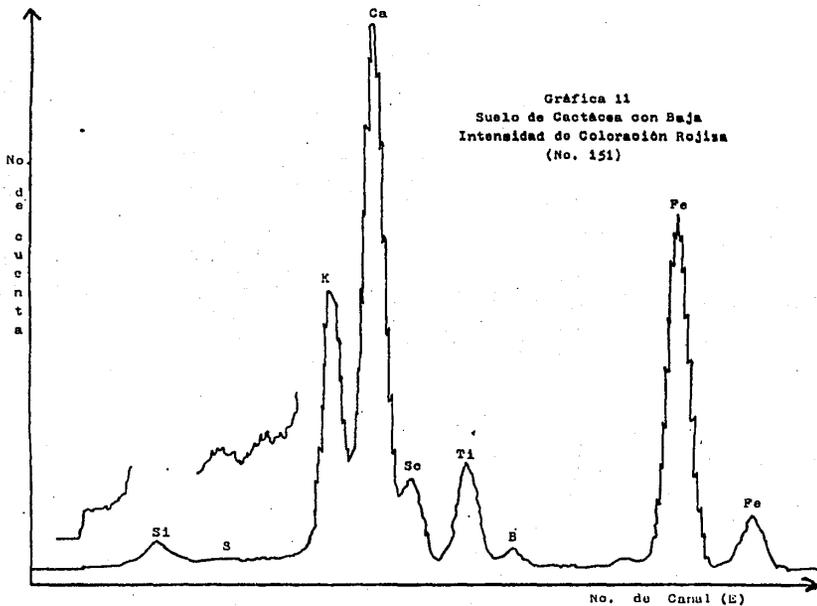
Gráfica 8
Suelo de Cactáceas con Baja
Intensidad de Coloración Rojiza
(No. 18)

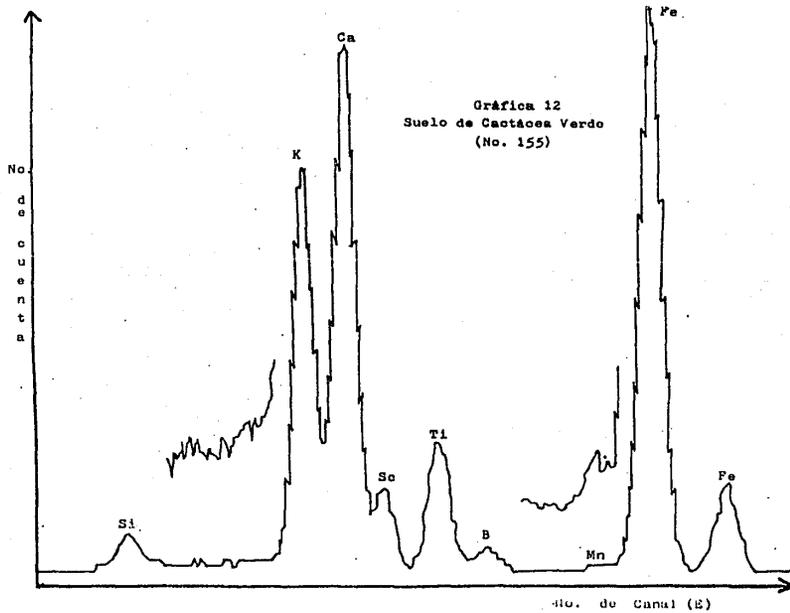


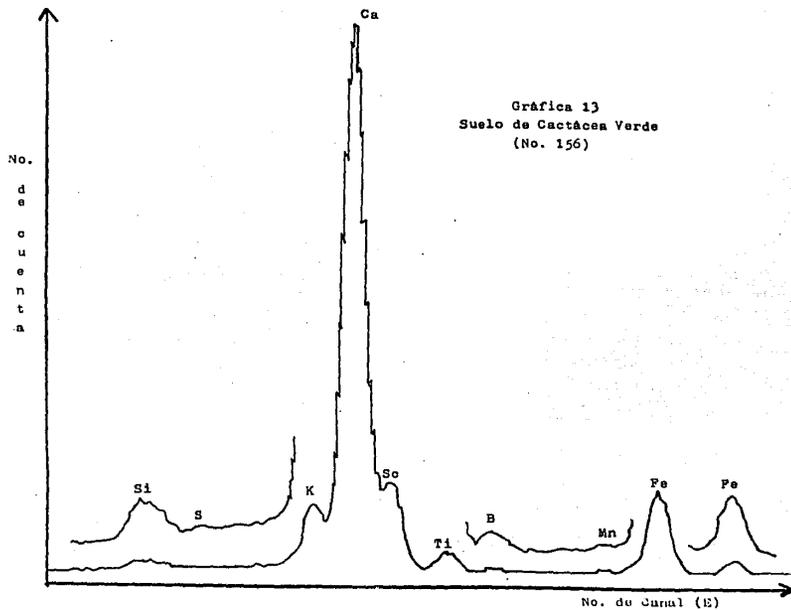
Gráfica 9
Suelo de Caotácea Verde
(No. 102)











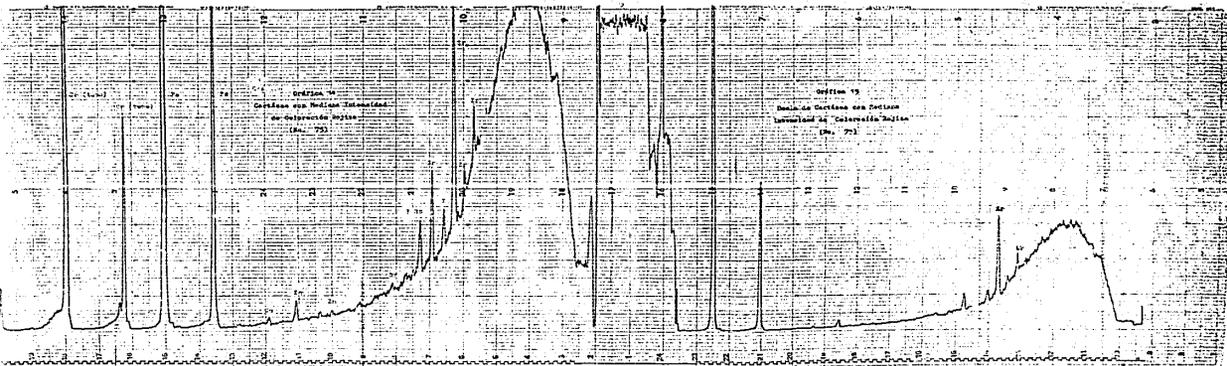


TABLA 2
 CONTENIDO ELEMENTAL DETECTADO EN PLANTAS POR LOS METODOS ESPECTROGRAFICOS UTILIZADOS

METODO	COLORACION DE LA PLANTA	CONTENIDO ELEMENTAL	
KEVEX	ROJIZA	Ca, K, Fe, Si, Cl,	S, Na, Mg
PIXE	"	Ca, K, Fe, Si, Cl, B,	Ni, Cr
F. de r. X	"	Ca, Fe,	Co, Ti, Zn, Zr, Sr, Ba, As, Br, Rb, Cs
PIXE	VERDE	Ca, K, Fe, Cl, B, Ti,	S, Sc, Mn, Al
F. de r. X	"	Fe,	Co, Ti, Zn, Zr, Sr, Ba, Br, Rb

TABLA 3
 CONTENIDO ELEMENTAL DETECTADO EN SUELOS DE LAS PLANTAS POR LOS METODOS ESPECTROGRAFICOS UTILIZADOS

METODO	SUELO DE LA PLANTA	CONTENIDO ELEMENTAL
KEVEX	SUELO DE LA PLANTA ROJIZA	Na, Si
PIXE	" " " " "	K, Ca, Fe, Ti, Sc, Mn, B
F. de r. X	" " " " "	Ca, Fe, Ti, Co, Zn, Ir, Sr, Ba, As, Rb, Y, Nb, Mo?
PIXE	SUELO DE LA PLANTA VERDE	Si, K, Ca, Fe, Ti, Sc, Mo, B, S

TABLA 4

ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS ELEMENTOS PRESENTES EN LOS SUELOS DE LAS PLANTAS CON COLORACION ROJIZA Y EN PLANTAS VERDES

HUESTRA	SUELO DE LA PLANTA	METODO	ALTA	MEDIANA	BAJA
67	ROJIZA	F. de r.X	Fe, Zr, Ti	Sr, Rb, Ba, Ca, Mo?	In, Ca, Wb
75	"	" " " "	Fe, Zr	ii, Sr, Rb	In, Ca, Br, Y
61	"	P.I.Y.E.	Fe, Ca, K	Ti	Si, Sc, Mn, B, S?
155	"	"	Fe, Ca, K	Ti	Si, Sc, Mn, B
101	VERDE	"	Fe, K		Si, Sc, S, Ti
142	"	"	Fe, Ca	Ti, K	Si, Sc, Mn, B, S?
145	"	"	Fe, Ca	Ti, K	Si, Sc, Mn, B, S
156	"	"	Ca	Fe	Si, Mn, B, S, Ti, K

TABLA 5
 ABUNDANCIA RELATIVA DE LOS ELEMENTOS PRESENTES EN LAS PLANTAS CON COLORACION ROJIZA Y EN PLANTAS VERDES

MUESTRA	COLORACION DE LA PLANTA	METODO	ALTA	MEDIANA	BAJA
8	ROJIZA	F. de r. I	Fe	Br, Sr, Ti, Zr,	Ca, Cu, In Ra
24	"	"	Fe	Br, Ti, Ca	Cu, Zn, Sr
54	"	"	Fe, Ti	Ca	Zn, Br, Ir, Sr
67	"	"	Fe	Br, Sr	Ca, Cu, Zn, Ti
75	"	"	Fe	Br, Sr	Ca, In, Ti, Ir
77	"	"	Zr	Sr, Ti, Rb, Y	Ca, Cu, Zn, Ti, Co, Br
84	"	"	Fe, Ca, K	Br, Zr, Nb	Ca, Cu, Zn, Ti, As, Sr?
61	"	P. I. X. E	Fe, Ca, K	Ti	Sc, Si, Mn, B, S?
77	"	"	Fe, Ca,	Cr	Cl, Ni
91	VERDE	F. de r. I	Fe	Br, Sr	Cu, Zn, Ti, Rb, Ir, Ba
142	"	P. I. X. E	Ca, K	Ti, Fe	Cl, P, Al, S
145	"	"	K	Ca	Fe, Ti, Cl, Sc, P, Al, Mn, S, S
156	"	"	K	Ca	Fe, Ti, Cl, P, Al

TABLA 6

RESULTADOS DE LOS ANALISIS ESTADISTICOS CON BASE A LAS DIFERENTES COLORACIONES QUE PRESENTARON LAS PLANTAS ANALIZADAS

CARACTERISTICA	PLANTAS VERDES	PLANTAS CON BAJA INTENSIDAD DE COLORACION	PLANTAS CON MEDIANA INTENSIDAD DE COLORACION	PLANTAS CON ALTA INTENSIDAD DE COLORACION
NECROSIS	-	SIN Y POCAS	MUCHA	POCAS
TOTALIDAD DE LA COLORACION	VERDE	VIOLACEA ROJIZA Y VIOLACEA AMARILLENTA	VIOLACEA AMARILLENTA	VIOLACEA ROJIZA Y VIOLACEA AMARILLENTA
FORMA DE VIDA	SOLITARIA	SOLITARIA Y CESPITOSA	SOLITARIA Y CESPITOSA	CESPITOSA
PRESENCIA DE LAHA	NO	SI	SI	NO
COLOR DE LA LAHA	-	GRISACEA	GRISACEA	-
DIAM. PROM. DE LA CACTACEA	7.08 cm	7.24 cm	9.15 cm	7.32 cm
ALT. PROM. DE LA CACTACEA	7.89 cm	5.75 cm	10.30 cm	4.55 cm
DIAM. PROM. DE LOS TUBERCULOS	0.99 cm	0.70 cm	0.76 cm	0.74 cm
ALT. PROM. DE LOS TUBERCULOS	1.39 cm	1.20 cm	1.59 cm	1.11 cm
No. TOTAL DE ESP. CENTRALES	2	2	2	2
No. TOTAL DE ESP. RADIALES	3	3	3	3
LONGS. PROM. DE ESP. CENTRALES	1.47 cm	1.09 cm	1.01 cm	1.52 cm
LONGS. PROM. DE ESP. RADIALES	0.43 cm	0.23 cm	0.32 cm	0.33 cm
LONGS. PROM. DE RAZI PRINCIPAL	7.15 cm	15.00 cm	5.00 cm	3.13 cm
LONGS. PROM. DE RAZI SEGUNDO	4.67 cm	-	8.60 cm	8.42 cm
Fe en CACTACEA	PRESENCIA	PRESENCIA	PRESENCIA	PRESENCIA
Sr * *	PRESENCIA (3)	AUSENCIA	PRESENCIA (1)	PRESENCIA
Rb en CACTACEA	PRESENCIA (3)	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA (3)
Zn * *	PRESENCIA (3)	PRESENCIA (1)	PRESENCIA	PRESENCIA (3)
As * *	PRESENCIA (3)	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA (3)
Tl * *	PRESENCIA	PRESENCIA	PRESENCIA	PRESENCIA
Ba * *	PRESENCIA (3)	PRESENCIA (1)	AUSENCIA	AUSENCIA (3)
Ir * *	PRESENCIA (3)	PRESENCIA (1)	PRESENCIA (1)	PRESENCIA (2)
Ca * *	PRESENCIA (3)	PRESENCIA	PRESENCIA (1)	PRESENCIA
Br * *	PRESENCIA (3)	PRESENCIA (1)	PRESENCIA	PRESENCIA (3)
Cu * *	AUSENCIA	PRESENCIA (1)	PRESENCIA	PRESENCIA (3)
Cl * *	PRESENCIA (3)	PRESENCIA (1)	PRESENCIA	PRESENCIA (3)
K * *	PRESENCIA (3)	PRESENCIA (1)	AUSENCIA	PRESENCIA (2)

Cr " "	AUSENCIA	PRESENCIA (1)	AUSENCIA	AUSENCIA
Mn " "	AUSENCIA	PRESENCIA (1)	AUSENCIA	AUSENCIA
Sc " "	PRESENCIA (3)	AUSENCIA	AUSENCIA	PRESENCIA (2)
Mn " "	PRESENCIA (3)	AUSENCIA	AUSENCIA	PRESENCIA (2)
P " "	PRESENCIA (3)	AUSENCIA	PRESENCIA	AUSENCIA
Si " "	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA	PRESENCIA (1)
Al " "	PRESENCIA (3)	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA
S " "	PRESENCIA (3)	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA
B " "	PRESENCIA (3)	AUSENCIA	AUSENCIA	PRESENCIA (1)
Fe EN SU SUELO	PRESENCIA	PRESENCIA	DESCONOCIDO	PRESENCIA
Sr " " "	AUSENCIA	PRESENCIA	DESCONOCIDO	PRESENCIA
Rb " " "	AUSENCIA	PRESENCIA	DESCONOCIDO	PRESENCIA
Zn " " "	AUSENCIA	PRESENCIA	DESCONOCIDO	PRESENCIA
As " " "	AUSENCIA	AUSENCIA	DESCONOCIDO	AUSENCIA
Ti " " "	PRESENCIA	PRESENCIA	DESCONOCIDO	PRESENCIA
Ba " " "	AUSENCIA	AUSENCIA	DESCONOCIDO	PRESENCIA
Zr " " "	AUSENCIA	PRESENCIA	DESCONOCIDO	PRESENCIA
Ca " " "	PRESENCIA	PRESENCIA	DESCONOCIDO	AUSENCIA
Br " " "	AUSENCIA	AUSENCIA	DESCONOCIDO	AUSENCIA
Cu " " "	AUSENCIA	PRESENCIA	DESCONOCIDO	PRESENCIA
Y " " "	AUSENCIA	PRESENCIA	DESCONOCIDO	AUSENCIA
Nb " " "	AUSENCIA	AUSENCIA	DESCONOCIDO	PRESENCIA
Co " " "	AUSENCIA	PRESENCIA	DESCONOCIDO	PRESENCIA
Bi " " "	PRESENCIA	AUSENCIA	DESCONOCIDO	PRESENCIA
K " " "	PRESENCIA	AUSENCIA	DESCONOCIDO	AUSENCIA
Sc " " "	PRESENCIA	AUSENCIA	DESCONOCIDO	AUSENCIA
B " " "	PRESENCIA	AUSENCIA	DESCONOCIDO	AUSENCIA
Mn " " "	PRESENCIA	AUSENCIA	DESCONOCIDO	AUSENCIA
S " " "	PRESENCIA	AUSENCIA	DESCONOCIDO	AUSENCIA

NOTA:

EL NUMERO TOTAL DE PLANTAS ANALIZADAS FUERON:

4 CACTACEAS VERDES, CON 3 MUESTRAS DE SU SUELO.

2 CACTACEAS CON BAJA INTENSIDAD DE COLORACION ROJIZA.

2 CACTACEAS CON MEDIANA INTENSIDAD DE COLORACION ROJIZA.

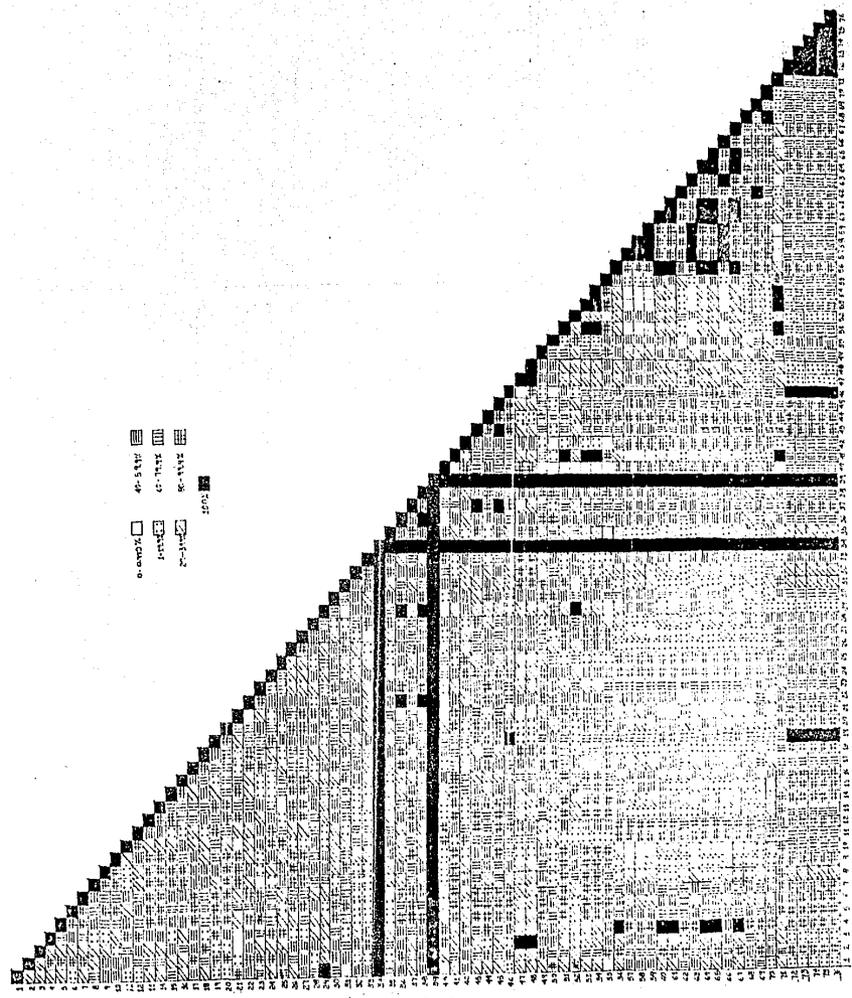
4 CACTACEAS CON ALTA INTENSIDAD DE COLORACION ROJIZA Y LAS 4 MUESTRAS DE SU SUELO RESPECTIVAS.

EL NUMERO ENTRE (), INDICA EL NUMERO DE MUESTRAS EN LAS QUE SE DETECTO LA PRESENCIA DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS QUIMICOS.

LISTA DE VARIABLES

1	COLOR SECO
2	COLOR HUMEDO
3	ALOFANO
4	TEXTURA
5	DENSIDAD APARENTE
6	DENSIDAD REAL
7	% ESPACIO POROSO
8	pH REAL
9	pH POTENCIAL
10	% ARENA
11	% LIMO
12	% ARCILLA
13	% MATERIA ORGANICA
14	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO TOTAL
15	Ca ⁺⁺
16	Mg ⁺⁺
17	Na ⁺
18	K ⁺
19	NECROSIS
20	TONALIDAD DE COLORACION
21	FORMA DE VIDA
22	PRESENCIA DE LANA
23	COLORACION DE LA LANA
24	DIAMETRO DE LA PLANTA
25	ALTURA DE LA PLANTA
26	DIAMETRO DE LOS TUBERCULOS
27	ALTURA DE LOS TUBERCULOS
28	No. TOTAL DE ESPINAS CENTRALES
29	No. TOTAL DE ESPINAS RADIALES
30	LONGITUD DE ESPINAS CENTRALES
31	LONGITUD DE ESPINAS RADIALES
32	LONGITUD DE LA RAZA PRINCIPAL
33	LONGITUD DE RAICES SECUNDARIAS
34	Fe EN PLANTA
35	Sr " "
36	Rb " "
37	Zn " "
38	As " "
39	Ti " "
40	Ba " "
41	Zr " "
42	Ca " "
43	Br " "
44	Cu " "
45	Cl " "
46	K " "
47	Cr " "
48	Ni " "
49	Sc " "
50	Mn " "

51	P	"	"
52	Si	"	"
53	Al	"	"
54	S	"	"
55	B	EN PLANTA	
56	Fe	EN SUELO	
57	Sr	"	"
58	Rb	"	"
59	Zn	"	"
60	As	"	"
61	Ti	"	"
62	Ba	"	"
63	Zr	"	"
64	Ca	"	"
65	Er	"	"
66	Cu	"	"
67	Sn	"	"
68	Y	"	"
69	Nb	"	"
70	Co	"	"
71	Si	"	"
72	K	"	"
73	Sc	"	"
74	B	"	"
75	Mn	"	"
76	S	"	"



4-1111
6-1111
8-1111
10-1111
12-1111
14-1111
16-1111
18-1111
20-1111
22-1111
24-1111
26-1111
28-1111
30-1111
32-1111
34-1111
36-1111
38-1111
40-1111
42-1111
44-1111
46-1111
48-1111
50-1111
52-1111
54-1111
56-1111
58-1111
60-1111
62-1111
64-1111
66-1111
68-1111
70-1111
72-1111
74-1111
76-1111
78-1111
80-1111
82-1111
84-1111
86-1111
88-1111
90-1111
92-1111
94-1111
96-1111
98-1111
100-1111

FRECUENCIAS DE SIMILITUD EN BASE A LA MATRIZ DE SOMBRADO DIFERENCIAL

TABLA 7

CLAVE: 0-0.99

VARIABLE	FRECUENCIA	VARIABLE	FRECUENCIA
55	6	38	1
71	6	41	1
40	5	44	1
57	5	47	1
58	5	48	1
59	5	49	1
63	5	50	1
66	5	51	1
21	3	53	1
31	2	54	1
52	2	56	1
22	1	60	1
23	1	61	1
25	1	64	1
33	1	65	1
35	1	68	1
36	1	70	1

TABLE B

CLAVE: 1-19.9

VAR.	FREC.	VAR.	FREC.	VAR.	FREC.
62	18	35	6	47	4
69	17	52	6	11	3
68	13	53	6	19	3
70	13	54	6	21	3
32	11	58	6	44	3
50	11	59	6	55	3
71	10	60	6	15	2
33	9	63	6	18	2
42	9	64	6	20	2
40	8	67	6	26	2
51	7	29	5	27	2
57	7	48	5	49	2
61	7	23	4	6	1
65	7	24	4	8	1
66	7	25	4	9	1
72	7	28	4	10	1
73	7	30	4	12	1
74	7	31	4	16	1
75	7	41	4	36	1
76	7	46	4	38	1

TABLA 9

CLAVE: 20-39.9

VAR.	FREC.	VAR.	FREC.	VAR.	FREC.
52	20	49	8	24	4
47	19	51	8	27	4
48	18	54	8	50	4
56	15	69	8	13	3
61	15	36	7	14	3
64	15	38	7	16	3
65	15	43	7	17	3
67	15	44	7	18	3
71	15	45	7	31	3
60	14	62	7	3	2
70	14	22	6	4	2
68	13	23	6	5	2
63	12	28	6	7	2
35	11	30	6	8	2
42	11	32	6	11	2
57	11	73	6	12	2
58	11	74	6	15	2
33	10	75	6	19	2
59	10	76	6	55	2
66	10	25	5	2	1
29	9	41	5	6	1
53	9	46	5	9	1
37	8	72	5	10	1
40	8	21	4	20	1

TABLA 10

CLAVE:  40-59.9

VAR.	FREC.	VAR.	FREC.	VAR.	FREC.
58	19	46	8	23	5
59	19	49	8	27	5
57	18	55	8	29	5
63	18	72	8	30	5
66	18	73	8	62	5
50	14	74	8	18	4
60	13	75	8	40	4
64	13	76	8	69	4
67	13	17	7	11	3
38	12	35	7	12	3
56	12	37	7	26	3
61	12	41	7	8	2
65	12	44	7	9	2
28	11	51	7	10	2
36	11	54	7	13	2
47	10	68	7	14	2
52	10	70	7	15	2
32	9	71	7	16	2
42	9	25	6	19	2
45	9	33	6	31	2
48	9	53	6	6	1
43	8	22	5	20	1
				24	1

TABLA 11

CLAVE: III 60-79.9

VAR.	FREC.	VAR.	FREC.	VAR.	FREC.
72	27	30	7	63	5
73	27	60	7	66	5
74	27	61	7	19	4
75	27	64	7	21	4
76	27	67	7	22	4
69	17	18	6	23	4
62	15	25	6	27	4
43	13	40	6	32	4
45	13	52	6	42	4
70	13	65	6	47	4
46	12	16	5	48	4
68	12	20	5	12	3
31	11	26	5	15	3
37	11	28	5	33	3
53	11	29	5	8	2
51	10	35	5	9	2
54	10	36	5	10	2
71	10	38	5	17	2
49	9	41	5	5	1
50	9	44	5	7	1
55	9	57	5	11	1
56	8	58	5	13	1
24	7	59	5	14	1

TABLE 12

CLAVE:

⊕

 80-99.9

VAR.	FREC.	VAR.	FREC.	VAR.	FREC.
55	24	66	13	40	5
72	20	27	11	42	5
73	19	45	11	15	4
74	19	63	11	17	4
75	19	20	10	22	4
76	19	37	10	47	4
68	18	43	10	48	4
69	18	56	10	7	3
70	18	26	9	10	3
44	17	50	8	16	3
49	16	57	8	33	3
67	16	58	8	35	3
41	15	59	8	52	3
54	15	14	7	6	2
64	15	19	7	9	2
65	15	30	7	12	2
51	14	36	7	18	2
53	14	38	7	25	2
71	14	13	6	4	1
46	13	21	6	5	1
60	13	31	6	16	1
61	13	23	5	28	1
62	13	24	5	29	1
				32	1

TABLA 13

CLAVE:  100

VAR.	FREC.	VAR.	FREC.	VAR.	FREC.
39	38	38	3	35	1
34	33	43	3	37	1
67	8	46	3		
76	8	47	3		
65	7	51	3		
75	7	56	3		
64	6	58	3		
66	6	69	3		
71	6	70	3		
74	6	36	2		
54	5	40	2		
61	5	41	2		
63	5	42	2		
73	5	44	2		
45	4	49	2		
48	4	50	2		
52	4	55	2		
53	4	57	2		
59	4	62	2		
60	4	68	2		
72	4	29	1		

RESULTADOS EDAFOLÓGICOS

TABLA 14

COLOR SECO	COLOR HUMEDO	BENS. AP. g/ml	BENS. REAL g/ml	ESPACIO POROSO I	pH REAL 1:2.5	pH POT. 1:2.5	ALOFANO	TEXTURA	MATERIA ORGÁNICA I	C. I. C. T. mg/100g suelo	Ca ⁺⁺ mg/100g suelo	Mg ⁺⁺ mg/100g suelo	K ⁺ mg/100g suelo	K ⁺ mg/100g suelo
10YR 5/3 PASADO	10YR 2/2 PASADO MUY OSCURO	0.823	2.06	60.04	4.8	4.3	I	MISAJON ARCILLO- ARENOSO IARE. IARC. ILM. 55.2 27.2 17.6	2.55	30.0	12.0	14.4	1.74	1.26
10YR 5/2 PASADO GRISACEO	10YR 3/2 PASADO GRISACEO MUY OSCURO	0.924	2.32	60.17	5.0	4.3	I	MISAJON ARCILLO- ARENOSO IARE. IARC. ILM. 49.2 29.2 21.6	2.40	31.0	21.6	8.0	1.91	0.67
10YR 6/2 PASADO MUY OSCURO	10YR 2/2 PASADO MUY OSCURO	0.722	2.24	58.39	5.6	4.6	I	MISAJON ARCILLO- ARENOSO IARE. IARC. ILM. 47.6 28.4 24.0	1.58	29.8	20.4	5.5	2.40	0.55
10YR 5/5 PASADO	10YR 2/2 PASADO MUY OSCURO	0.976	2.22	56.05	6.9	6.0	II	MISAJON ARCILLO- ARENOSO IARE. IARC. ILM. 49.6 29.2 21.2	1.47	31.8	18.0	9.6	2.40	0.61
10YR 6/3 PASADO PALIDO	10YR 3/2 PASADO GRISACEO MUY OSCURO	0.985	2.17	54.60	7.2	6.4	II	MISAJON ARCILLO- ARENOSO IARE. IARC. ILM. 44.6 31.2 24.0	1.08	28.9	24.0	1.2	2.47	0.61
10YR 6/3 PASADO PALIDO	10YR 2/2 PASADO MUY OSCURO	1.090	2.17	53.91	8.4	7.6		MISAJON ARCILLO- ARENOSO IARE. IARC. ILM. 55.6 20.4 24.0	0.83	31.1	27.5	1.2	2.70	0.83

TABLA 15

PERFIL 2 ca	COLOR SECO	COLOR HUMEDO	DENS. AP. g/ml	DENS. REAL g/ml	ESPACIO POROSO l	pH REAL 1:2.5	pH POT. 1:2.5	ALOFANO	TEXTURA	MATERIA ORGANICA l	C. I. C. T. mg/100g suelo	Ca ²⁺ mg/100g suelo	Mg ²⁺ mg/100g suelo	Na ⁺ mg/100g suelo	K ⁺ mg/100g suelo
0-10	7.5YR 4/2 PARDO- PARDO OSCURO	5YR 2.5/2 PARDO ROJIZO OSCURO	1.145	2.11	45.73	6.0	5.0	1	MIGAJON ARENOSO TARE. TARC. ILIN. 54.2 17.2 28.6	2.30	28.5	17.2	12.0	1.08	0.87
10-20	7.5YR 3/2 PARDO OSCURO	5YR 2.5/1 NEGRO	1.050	2.09	49.76	6.2	5.1	1	MIGAJON ARCILLO- ARENOSO TARE. TARC. ILIN. 54.2 23.2 22.6	2.30	34.2	15.9	19.0	1.10	1.05
20-30	7.5YR 3/2 PARDO OSCURO	5YR 2.5/1 NEGRO	1.077	2.09	48.48	7.3	6.1	1	MIGAJON ARCILLO- ARENOSO TARE. TARC. ILIN. 48.8 29.2 22.0	2.27	35.4	18.0	15.5	1.23	1.15
30-40	7.5YR 3/3 PARDO OSCURO	5YR 2.5/1 NEGRO	1.031	2.22	53.55	7.2	6.4	TRAZAS	MIGAJON ARCILLO- ARENOSO TARE. TARC. ILIN. 48.8 29.2 22.0	1.50	33.4	12.0	18.0	1.02	1.15
40-50	7.5YR 3/2 PARDO OSCURO	5YR 2.5/1 NEGRO	1.002	2.31	56.62	7.7	7.3	TRAZAS	MIGAJON ARCILLO- ARENOSO TARE. TARC. ILIN. 48.8 29.2 22.0	0.97	33.5	13.2	18.4	1.56	1.32

TAULA 16

PERFIL 3 cm	COLOR SECO	COLOR HUMEDO	DENS. AP. g/ml	DENS. REAL g/ml	ESPACIO POROSO %	pH REAL 1:2,5	pH POT. 1:2,5	ALOFANO	TEXTURA	MATERIA ORGANICA %	C.f.C.T. mg/100g suelo	Ca ⁺⁺ mg/100g suelo	Hg ⁺⁺ mg/100g suelo	Na ⁺ mg/100g suelo	K ⁺ mg/100g suelo
0-10	10YR 5/3 PARGO	10YR 3/2 PARGO OSCURO	0.050	2.29	54.08	6.5	4.9	1	MEZAJON ARENOSO YARE. YARC. ULIM. 70.0 18.0 11.2	1.85	29.8	12.2	13.0	2.84	1.50
10-20	10YR 5/2 PARGO	10YR 3/3 PARGO OSCURO	1.010	2.27	55.57	6.5	7.2	-	ARCILLA-ARENOSO YARE. YARC. ULIM. 53.2 34.8 12.0	1.58	40.3	22.9	16.7	2.65	0.33
20-30	10YR 5/3 PARGO	10YR 4/3 PARGO- PARGO OSCURO	1.050	2.17	51.60	6.7	7.5	-	ARCILLA YARE. YARC. ULIM. 29.2 60.8 10.0	1.23	58.1	30.4	21.6	5.97	0.38
30-40	10YR 5/3 PARGO	10YR 4/3 PARGO- PARGO OSCURO	1.010	2.09	51.75	6.9	7.4	-	ARCILLA YARE. YARC. ULIM. 31.2 56.8 12.0	1.23	59.2	37.5	10.2	7.00	0.70
40-50	10YR 5/3 PARGO	10YR 4/3 PARGO- PARGO OSCURO	1.000	1.99	49.72	6.5	7.3	-	ARCILLA YARE. YARC. ULIM. 16.2 63.8 20.0	0.54	68.4	32.4	28.0	9.13	1.09
50-60	10YR 7/4 PARGO MUY PALIDO	10YR 4/4 PARGO OSCURO AMARILLENTO	0.990	1.93	48.62	6.4	7.4	-	ARCILLA YARE. YARC. ULIM. 25.2 46.8 28.0	0.72	56.0	31.5	14.2	9.20	1.15
60-70	10YR 7/4 PARGO MUY PALIDO	10YR 4/4 PARGO OSCURO AMARILLENTO	1.040	1.97	47.20	6.5	7.4	-	ARCILLA YARE. YARC. ULIM. 23.2 44.8 32.0	0.49	53.4	22.0	20.5	9.61	1.21

TABLA 17

PERFIL 4 ca	COLOR SECO	COLOR HUECO	DENS. AP. g/ml	DENS. REAL g/ml	ESPACIO POROSO I	pH REAL 1:2.5	pH POT. 1:2.5	ACOFANO	TEXTURA	MATERIA ORGANICA I	C.I.C.T. mg/100g suelo	Ca ⁺² mg/100g suelo	Hg ⁺² mg/100g suelo	Na ⁺ mg/100g suelo	K ⁺ mg/100g suelo
0-10	10YR 4/3 PARDO- PARDO OSCURO	10YR 3/2 PARDO GRISACEO MUY OSCURO	0.996	2.09	52.47	5.5	4.5		MIGAJON ARCILLO- ARENOSO 1ARE. 1ARC. 1LIM. 53.2 34.8 12.0	3.13	30.2	13.1	15.6	1.10	0.42
10-20	10YR 4/1 GRIS OSCURO	10YR 3/2 PARDO GRISACEO MUY OSCURO	1.054	2.16	50.70	6.2	5.0		ARCILLA- ARCILLO-ARENOSO 1ARE. 1ARC. 1LIM. 39.2 48.8 12.0	2.64	50.0	20.0	26.3	2.55	0.46
20-30	10YR 4/1 GRIS OSCURO	10YR 3/2 PARDO GRISACEO MUY OSCURO	1.082	1.95	44.54	7.6	6.5	TRAZAS	ARCILLA- ARCILLO-ARENOSO 1ARE. 1ARC. 1LIM. 35.6 52.8 11.6	2.36	48.3	28.8	15.5	2.23	0.61
30-40	10YR 4/1 GRIS OSCURO	10YR 3/2 PARDO GRISACEO MUY OSCURO	1.093	2.10	48.08	8.6	7.2	-	ARCILLA ARCILLO-ARENOSO 1ARE. 1ARC. 1LIM. 35.2 52.8 12.0	2.36	45.3	23.0	22.4	3.19	0.60
40-50	10YR 4/1 GRIS OSCURO	10YR 3/2 PARDO GRISACEO MUY OSCURO	0.991	2.01	50.66	8.6	7.2	-	ARCILLA 1ARE. 1ARC. 1LIM. 25.0 53.8 22.0	2.07	38.3	19.8	15.4	3.26	0.76
50-60	10YR 4/1 GRIS OSCURO	10YR 3/2 PARDO GRISACEO MUY OSCURO	0.992	1.96	49.50	8.6	7.4	-	ARCILLA 1ARE. 1ARC. 1LIM. 31.2 60.0 11.8	1.97	38.2	16.6	14.0	3.08	0.69

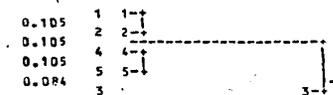
TABLA 18

PERFIL S Ca	COLOR SECO	COLOR HUMEDO	DENS. AP. g/ml	DENS. REAL g/ml	ESPACIO POROSO l	pH REAL 1:2.5	pH POT. 1:2.5	ALFAHAI	TEXTURA	MATERIA ORGANICA l	C.I.C.T. mg/100g suelo	Ca** mg/100g suelo	Mg** mg/100g suelo	Na* mg/100g suelo	K* mg/100g suelo
0-10	10YR 3/2 PARDO GRISACEO MUY OSCURO	10YR 2/1 NEGRO	0.611	1.94	88.60	7.8	7.2	I	MIGAJON ARCILLLO- ARENOSO TARC. 49.2 ULIN. 33.2 17.6	9.38	36.6	21.9	9.5	1.91	1.44
10-20	10YR 3/2 PARDO GRISACEO MUY OSCURO	10YR 2/2 PARDO MUY OSCURO	0.598	2.07	86.24	7.9	7.0	IIII	ARCILLA TARC. 35.6 ULIN. 43.2 21.2	4.77	37.8	24.3	12.0	1.79	1.15
20-30	10YR 5/2 PARDO GRISACEO	10YR 5/3 PARDO OSCURO	0.518	2.03	52.34	8.1	7.3	IIIII	ARCILLA TARC. 34.0 ULIN. 46.8 19.2	4.20	51.2	38.5	10.2	2.02	0.62
30-40	10YR 8/3 PARDO	10YR 4/3 PARDO- PARDO OSCURO	0.918	1.97	52.02	8.1	7.3	IIIII	ARCILLA TARC. 37.6 ULIN. 45.2 17.2	1.65	54.4	35.5	15.8	1.91	0.87
40-50	10YR 8/4 PARDO MUY PALIDO	10YR 5/4 PARDO AMARILLENTO	0.950	1.99	52.39	8.0	7.3	IIIII	ARCILLA-ARENOSA TARC. 45.6 ULIN. 39.2 15.3	1.23	53.3	40.0	9.4	2.02	0.78

FIG.9 DENDROGRAMAS DE LOS PERFILES DE SUELO

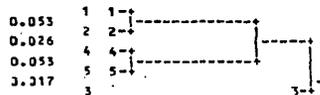
APLICACION DEL WEIGHTED MEAN WITHIN A UNA MATRIZ DE SIMILARIDADES

IMPRESION CON ESCALA HORIZONTAL POR VALOR A DOBLE ESPACIO.



APLICACION DEL MEAN WITHIN A UNA MATRIZ DE SIMILARIDADES

IMPRESION CON ESCALA HORIZONTAL POR VALOR A DOBLE ESPACIO.



APLICACION DEL MEAN WITHIN OFF DIAGONAL A UNA MATRIZ DE SIMILARIDADES

IMPRESION CON ESCALA HORIZONTAL POR VALOR A DOBLE ESPACIO.

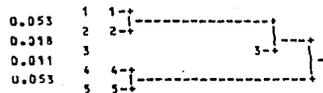
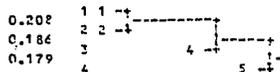


FIG.10 DENDROGRAMAS DE SUELO/PLANTA

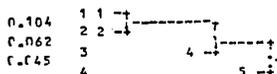
1) APLICACION DEL WEIGHTED MEAN WITHIN A UNA MATRIZ DE SIMILARIDADES

IMPRESION CON ESCALA HORIZONTAL POR VALOR A DOBLE ESPACIO.



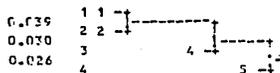
2) APLICACION DEL MEAN WITHIN A UNA MATRIZ DE SIMILARIDADES

IMPRESION CON ESCALA HORIZONTAL POR VALOR A DOBLE ESPACIO.



3) APLICACION DEL MEAN WITHIN OFF DIAGONAL A UNA MATRIZ DE SIMILARIDADES

IMPRESION CON ESCALA HORIZONTAL POR VALOR A DOBLE ESPACIO.



DISCUSION

En esta investigación se comprueba la importancia de la prospección mineralógica por medio de las plantas bioindicadoras, siendo este un nuevo método práctico y económico en la búsqueda de depósitos minerales, teniendo muchas posibilidades de seguirse utilizando en nuestro país.

La fase inicial consistió en seleccionar cactáceas que exhibían cambios fenotípicos evidentes, para dilucidar si eran producidos por elementos minerales que se encontraban en el suelo, y que a determinados niveles de concentración son tóxicos para estas plantas.

La determinación de los elementos que se encuentran en el suelo y en la *Mammillaria vagaspina* Craig, fué en el presente trabajo llevado a cabo por métodos de análisis físicos de alta sensibilidad, los cuales son indispensables para realizar investigaciones de prospección mineralógica por medio de plantas bioindicadoras.

La segunda fase, consistirá en el estudio minucioso de esta misma cactácea seleccionada como bioindicadora, en algunas zonas del país, con características biogeoclimáticas y edáficas semejantes al área inicial de estudio. De esta manera, cuando la *M. vagaspina* presente los mismos cambios morfológicos en otras localidades, se podrá inferir que son causados por la acumulación de los mismos metales que afectaron a las primeras.

La efectividad del reconocimiento de la especie bioindicadora, depende en gran parte del conocimiento taxonómico de la familia seleccionada y de una minuciosa observación de las alteraciones que las plantas puedan exhibir en el campo.

Con relación a los perfiles edáficos (tablas de la 14 a la 18), estos presentaron diferencias en su profundidad, excavándose todos ellos hasta encontrar la roca madre, observándose que dos llegaron a los 50 cm, otros dos a los 60 cm y por último otro que alcanzó los 70 cm de profundidad.

El color que predominó en los perfiles a través de las diferentes profundidades del suelo tanto en seco como en húmedo, es el pardo, indicando éste un proceso de pardificación, en el cual el elemento cromógeno es el complejo hierro-arcilla-humus, con óxidos de hierro.

La densidad aparente presentó valores cercanos a 1.00 g/ml variando de 0.92 a 1.04 g/ml, lo cual al relacionarlo con la textura se observó un mayor porcentaje de arena en las capas de 0-40 cm; y en las inferiores, una mayor proporción de arcilla, originándose una densidad aparente menor en las capas superiores y relativamente más alta en las inferiores.

Los valores promedio de la densidad real de todos los

perfiles, se encontraron próximos a 2.0 g/ml, debido al contenido de materia orgánica y también al material de origen volcánico y sedimentario, caracterizándose éste por un bajo intemperismo.

El espacio poroso, fluctuó entre valores de 56.1 a 54.4% para las capas superiores y de 51.0 a 47.2% para las inferiores, tratándose de un espacio poroso medio; resultado de la presencia de materia orgánica en las primeras capas (0-20 cm), como también debido al tipo de textura y a la actividad biológica del suelo.

El pH real varía de ligeramente ácido (6.1) a moderadamente alcalino (8.5) observándose un incremento gradual de éste a medida que aumenta la profundidad; relacionándose con la cantidad de materia orgánica en la superficie, el porcentaje de arcilla que se encuentra en las diferentes capas y a la roca madre que conforma la geología del área de estudio, siendo este pH el adecuado para el desarrollo de las cactáceas.

El pH potencial corrobora los valores obtenidos del pH real, ya que el pH potencial decrece en general una unidad con respecto al pH real variando de 5.1 a 7.4.

El alofano es variable, las determinaciones van desde bajo, medio a alto. El alofano indica la presencia de cenizas volcánicas, procedentes de las sierras de Guanajuato y San Luis Potosí que limitan a esta área.

La textura en los perfiles analizados fué de migajón arcillo-arenoso y de arcillo-arenoso para las tres capas superiores y en las siguientes, se observó una textura de migajón-arcilloso a arcilloso. La textura de las capas superiores indica que los procesos de intemperismo no son tan fuertes en comparación con lo que ocurre en las zonas tropicales y templadas, existiendo en la localidad de estudio una precipitación pluvial escasa. En cuanto a la presencia de arcillas en las capas inferiores, se debe a la intervención de los procesos formadores del suelo, incluyéndose entre estos el tiempo y el material geológico.

Comparando los porcentajes de materia orgánica de los perfiles estudiados, el valor máximo fue de 3.13%, el valor medio de 2.30% y el valor mínimo de 0.69%. Un resultado interesante es el del perfil 5, en el cual se observa un valor muy alto de 9.38%, debido a la presencia de los residuos orgánicos de *Opuntia* spp., *Agave* sp., *Prosopis* sp., *Acacia* sp. y *Mammillaria* spp. entre otros. El descenso de la cantidad de materia orgánica a través de los perfiles se debe a la incorporación gradual de ésta al suelo, siendo sin duda factores muy importantes de esto: los regímenes climáticos y la vegetación que se presenta en el área.

Se observó que la capacidad de intercambio catiónico total de los perfiles aumentó gradualmente desde 31.0 a 53.4 meq/100 g de suelo, variando estos valores desde moderadamente altos hasta altos en la medida en que se incrementa la profundidad, influyendo de manera fundamental la cantidad de materia orgánica

existente en la superficie del suelo y a la arcilla que se encuentra en mayor porcentaje en las capas inferiores, siendo ambas responsables de la retención de cationes.

En cuanto a los iones calcio, existe una predominancia de éste con relación a los otros cationes, siguiendo en orden decreciente el magnesio, sodio y potasio.

Las bases divalentes Ca^{++} y Mg^{++} fluctuaron entre los siguientes valores: de 15.3 a 27.2 meq/100 g de suelo para el primero y de 9.8 a 20.5 meq/100 g de suelo para el segundo. El ion magnesio encontrado en el suelo es un reflejo de la rocas ígneas detectadas en el sitio (riolitas y basaltos).

El ion monovalente Na, varió de 1.7 a 9.6 meq/100 g de suelo, éste aumenta con la profundidad de los perfiles estudiados. El K^+ se encuentra en bajas concentraciones, siendo éstas de 0.66 a 1.2 meq/100 g de suelo.

Como se puede observar, todos los resultados de los análisis edafológicos están muy coligados, indicando las características específicas de los diferentes suelos. Así, los valores de densidad aparente, densidad real y el porcentaje de espacio poroso, están en función de la textura, y éstas están a su vez asociadas a la cantidad de materia orgánica y a la presencia de elementos volcánicos y sedimentarios en el suelo.

En vista de que la localidad en estudio no presentó diferencias topográficas notables y el área de muestreo no es extensa, se considera que son suficientemente representativos los cinco perfiles muestreados, como se puede observar a través de los resultados obtenidos en los análisis edafológicos de la zona de estudio.

Estos análisis son importantes de conocer cuando se trata de investigar relaciones entre la planta bioindicadora y los minerales presentes en el suelo, debido a que éstas al absorber un determinado mineral son sensitivas y se ven influenciadas en su fenotipo, permitiendo a la vez estudiar la dinámica de los elementos en el suelo.

Se analizaron los resultados edáficos de los perfiles realizados en la zona de estudio, y al observar el tipo de textura, el porcentaje de espacio poroso con las densidades aparente y real, el drenaje, la permeabilidad, la cantidad de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico total que se asocia con la concentración de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ resultan ser todas estas propiedades adecuadas para el crecimiento de cactáceas.

Para poder interpretar si las alteraciones morfológicas que presentan las plantas correspondieron a efectos producidos por la presencia de elemento(s) químico(s) en el suelo, se efectuaron diferentes tipos de análisis físicos: con el analizador elemental KEVEX incorporado al microscopio electrónico de barrido JSM-35C,

análisis con rayos X y análisis PIXE, en plantas que presentaban cambios de coloración y necrosis así como también en plantas verdes; igualmente se hicieron los mismos estudios en los respectivos suelos donde crecen dichas plantas (tablas 2 y 3, figs. 11 y 12).

Utilizando el analizador elemental KEVEX en los tubérculos y espigas de plantas con coloración rojiza y el suelo, únicamente se pudieron determinar los elementos que se localizan en la superficie de las muestras, puesto que este aparato solo detecta lo que se encuentra recubierto por el Au, Ag, Al o Pt no penetrando los electrones en el interior de la muestra y por lo tanto no permite conocer su composición total. Por esta limitación se dejó de utilizar este método recurriendo a otros métodos analíticos.

El análisis de fluorescencia de rayos X con bombardeo de electrones realizado tanto en plantas completas que presentaban coloración rojiza y necrosis, así como en sus respectivos suelos se detectaron en ambos tipos de muestras los mismos elementos a excepción del Br y Co que se detectaron exclusivamente en plantas. En cambio, el Y, Nb y Mo solamente se detectó en el suelo y no en plantas.

Los elementos detectados por fluorescencia de rayos X con bombardeo de protones (PIXE) en plantas completas con coloración rojiza y necrosis, y en muestras de suelos donde se desarrollan, se observa que el Ca, Fe y K son comunes a ambos tipos de muestras. El Ti, Mn, Sc y B únicamente se detectaron en los suelos y el Ni, Cr, Si y Cl solamente en plantas.

Los elementos detectados por el análisis de fluorescencia de rayos X con bombardeo de electrones y por el método P.I.X.E. tanto en las plantas verdes testigos y en los suelos donde crecen, se observó que los elementos comunes fueron: Ca, K, Fe, P, B, Ti, Mn, Sc y S; y el Cl, Cu, Zn, Zr, Sr, Ba, Br, Rb y Al se encontraron presentes en las plantas, el Si únicamente se detectó en suelos.

Por la comparación de la presencia o ausencia de los elementos detectados en las plantas verdes con las plantas que presentaban alteraciones morfológicas y reuniendo los resultados de ambas técnicas analíticas, los elementos comunes a los dos grupos de plantas fueron: Fe, K, Rb, Ca, Cl, Ti, S, Cu, Zn, Zr, Sr, B, Ba y Br. Sin embargo, en las plantas con coloración rojiza y necrosis se encontraron además de los elementos ya mencionados, también los siguientes: As, Si, Ni, Cr, Co, Na y Mg; observándose que los elementos Al, P y Sc únicamente se detectaron en plantas verdes, en tres plantas aparecen Al y P y en dos se presenta el Sc, de un total de cuatro ejemplares verdes analizados.

En el sustrato de las plantas con coloración rojiza y necrosis en los tubérculos, se detectaron casi todos los elementos encontrados en el análisis de éstas, a excepción del Y, se detectó como probable la presencia del Nb y Mo en el suelo,

FIG. 11
 CONTENIDO ELEMENTAL DE LA *Mammillaria vacaspina* Craig SIN
 COLORACION ROJIZA Y SU SUELO

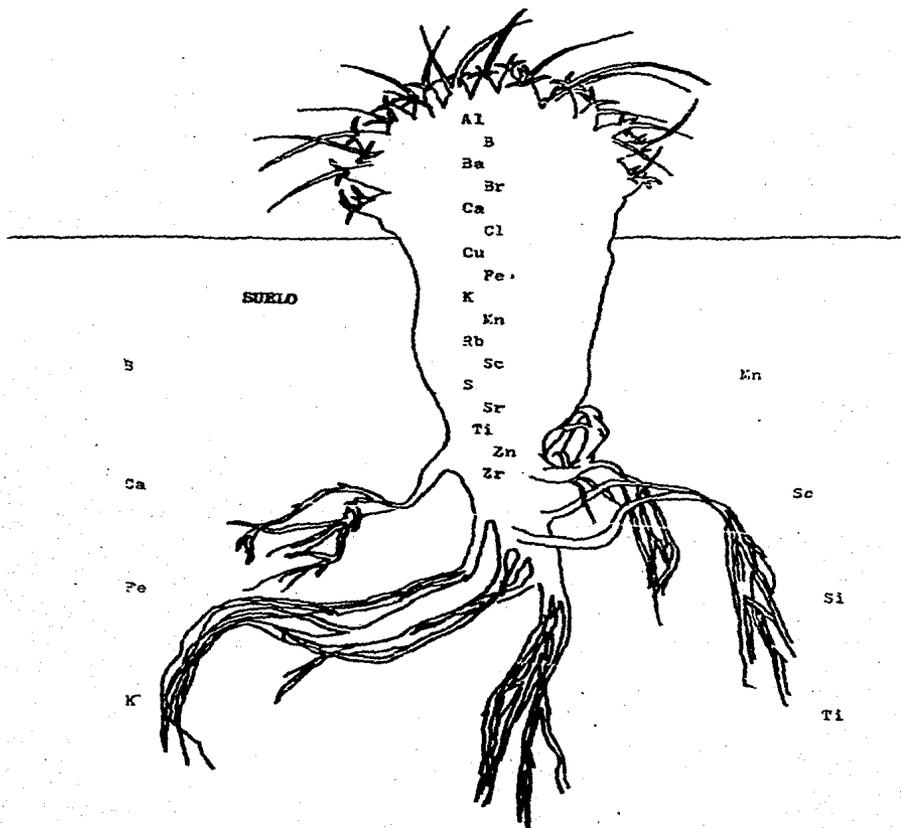
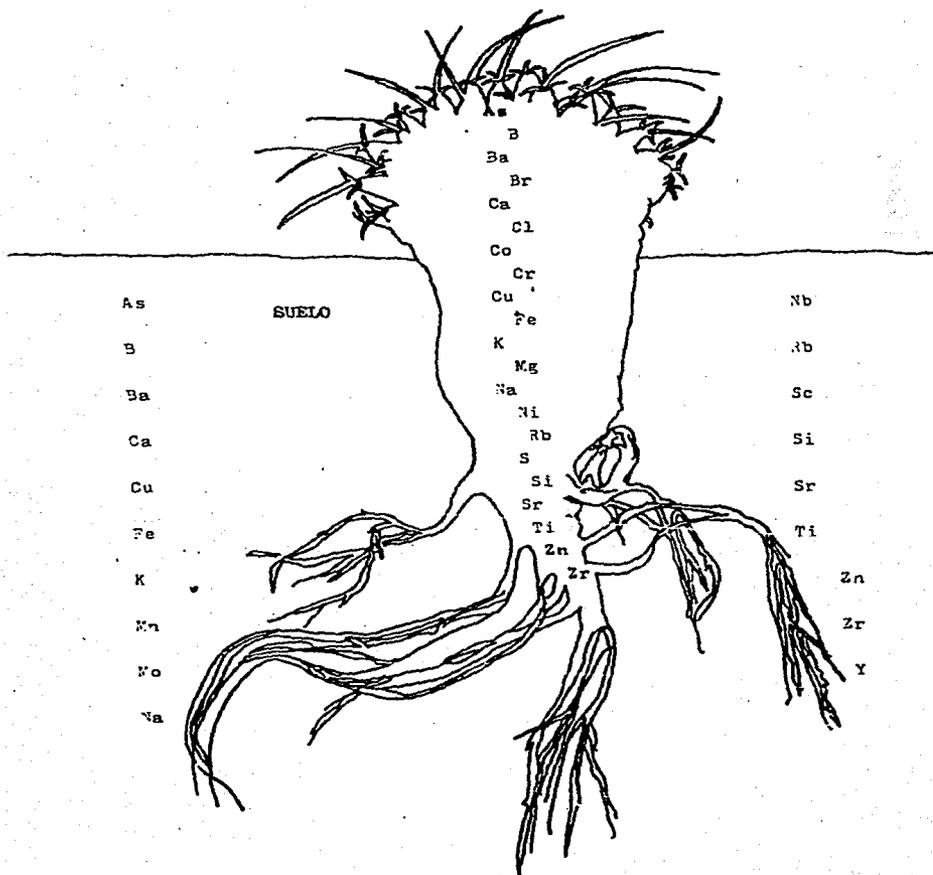


FIG. 12
 CONTENIDO ELEMENTAL DE LA *Mammillaria vagaspina* Craib, CON
 COLORACION ROJIZA Y SU SUELO



ELEMENTOS DETECTADOS EN LAS CACTACEAS SIN COLORACION
Y EN LAS QUE PRESENTABAN COLORACION ROJIZA

TABLA PERIODICA MODERNA DE LOS ELEMENTOS																		
GRUPO	METALES										NO METALES							
	IA	IIA	IIIB	IVB	V B	VI B	VII B	VIII	IB	II B	IIIA	IIIA	VA	VA	VIA	VIA	0	
PERIODO 1	1 H 1.00797																2 He 4.0026	
PERIODO 2	3 Li 6.941	4 Be 9.0122																8 O 15.999
PERIODO 3																		18 Ar 39.948
METALES DE TRANSICION																		
PERIODO 4																		
PERIODO 5																		
PERIODO 6																		
PERIODO 7																		

No. atómico	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Símbolo	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Massa atómica	22.989769	24.304	26.981538	28.0855	30.973762	32.06	35.453	39.948	39.0983	40.078	88.90585	47.88	50.9415	51.9961	54.938044	55.845	58.933195	58.933195	62.929598	63.546	68.9256	72.630	74.9216	75.923	79.904	79.904	85.4678	87.62	88.90585	90.9073	92.90638	95.94	97.9063	101.07	101.07	106.42	107.8682	112.411	112.411	118.905	118.905	127.46	127.46	132.905	132.905	137.47	137.47	144.9127	144.9127	150.36	150.36	157.25	157.25	162.50	162.50	167.259	167.259	173.045	173.045	178.07	178.07	183.84	183.84	188.9062	188.9062	194.987	194.987	200.974	200.974	206.974	206.974	212.011	212.011	218.07	218.07	223.019	223.019	227.0278	227.0278	232.0377	232.0377	237.0467	237.0467	242.0471	242.0471	247.0471	252.043	252.043	257.045	257.045	262.043	262.043	267.043	267.043	272.043	272.043	277.043	277.043	282.043	282.043	287.043	287.043	292.043	292.043	297.043	297.043	302.043	302.043	307.043	307.043	312.043	312.043	317.043	317.043	322.043	322.043	327.043	327.043	332.043	332.043	337.043	337.043	342.043	342.043	347.043	347.043	352.043	352.043	357.043	357.043	362.043	362.043	367.043	367.043	372.043	372.043	377.043	377.043	382.043	382.043	387.043	387.043	392.043	392.043	397.043	397.043	402.043	402.043	407.043	407.043	412.043	412.043	417.043	417.043	422.043	422.043	427.043	427.043	432.043	432.043	437.043	437.043	442.043	442.043	447.043	447.043	452.043	452.043	457.043	457.043	462.043	462.043	467.043	467.043	472.043	472.043	477.043	477.043	482.043	482.043	487.043	487.043	492.043	492.043	497.043	497.043	502.043	502.043	507.043	507.043	512.043	512.043	517.043	517.043	522.043	522.043	527.043	527.043	532.043	532.043	537.043	537.043	542.043	542.043	547.043	547.043	552.043	552.043	557.043	557.043	562.043	562.043	567.043	567.043	572.043	572.043	577.043	577.043	582.043	582.043	587.043	587.043	592.043	592.043	597.043	597.043	602.043	602.043	607.043	607.043	612.043	612.043	617.043	617.043	622.043	622.043	627.043	627.043	632.043	632.043	637.043	637.043	642.043	642.043	647.043	647.043	652.043	652.043	657.043	657.043	662.043	662.043	667.043	667.043	672.043	672.043	677.043	677.043	682.043	682.043	687.043	687.043	692.043	692.043	697.043	697.043	702.043	702.043	707.043	707.043	712.043	712.043	717.043	717.043	722.043	722.043	727.043	727.043	732.043	732.043	737.043	737.043	742.043	742.043	747.043	747.043	752.043	752.043	757.043	757.043	762.043	762.043	767.043	767.043	772.043	772.043	777.043	777.043	782.043	782.043	787.043	787.043	792.043	792.043	797.043	797.043	802.043	802.043	807.043	807.043	812.043	812.043	817.043	817.043	822.043	822.043	827.043	827.043	832.043	832.043	837.043	837.043	842.043	842.043	847.043	847.043	852.043	852.043	857.043	857.043	862.043	862.043	867.043	867.043	872.043	872.043	877.043	877.043	882.043	882.043	887.043	887.043	892.043	892.043	897.043	897.043	902.043	902.043	907.043	907.043	912.043	912.043	917.043	917.043	922.043	922.043	927.043	927.043	932.043	932.043	937.043	937.043	942.043	942.043	947.043	947.043	952.043	952.043	957.043	957.043	962.043	962.043	967.043	967.043	972.043	972.043	977.043	977.043	982.043	982.043	987.043	987.043	992.043	992.043	997.043	997.043	1002.043	1002.043
Serie	SERIE LANTANIDOS								SERIE ACTINIDOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Tierras raras	Tierras raras								Actinidos																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											

 CACTACEAS SIN COLORACION

 CACTACEAS CON COLORACION ROJIZA

 CACTACEAS CON COLORACION ROJIZA (7)

**ELEMENTOS DETECTADOS EN LOS SUELOS DE LAS CACTACEAS SIN COLORACION
ROJIZA Y EN LAS QUE PRESENTABAN COLORACION ROJIZA**

TABLA PERIODICA MODERNA DE LOS ELEMENTOS																			
		METALIS										NO METALES							
GRUPO	IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VB	VIIB	VIB	VII	VI	VB	IIIA	IVA	VVA	VI	VIA	VIA	0	
PERIODO 1	H 1.0079																	2 He 4.0026	
PERIODO 2	Li 6.941	Be 9.0122																	10 Ne 20.1797
PERIODO 3	Na 22.9898	Mg 24.3047										Al 26.9815	Si 28.0855	P 30.9738	S 32.065	Cl 35.453	Ar 39.948		
METALES DE TRANSICION																			
PERIODO 4			Sc 44.9559	Ti 47.88	V 50.9415	Cr 51.9961	Mn 54.938	Fe 55.845	Co 58.9332	Ni 58.6934	Cu 63.546	Zn 65.38	Ga 69.723	Ge 72.64	As 74.9216	Se 78.96	Br 79.904	Kr 83.80	
PERIODO 5				Y 88.9058	Zr 91.224	Nb 92.9064	Mo 95.94	Tc 98.9062	Ru 101.07	Rh 102.9055	Pd 106.42	Ag 107.8682	Cd 112.4118	In 114.818	Sn 118.710	Sb 121.757	Te 127.60	I 126.9055	Xe 131.29
PERIODO 6	Cs 132.9054	Ba 137.327		Hf 178.49	Ta 180.948	W 183.84	Re 186.207	Os 190.23	Ir 192.222	Pt 195.084	Au 196.967	Hg 200.59	Tl 204.384	Pb 207.2	Bi 208.9804	Po 209	At 210	Rn 222	
PERIODO 7	Fr 223	Ra 226		Ku 271	Hs 277														

No. atómico	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Serie	ACTINIDOS																																
Massa atómica	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354	227.0354



SUELOS DE CACTACEAS SIN COLORACION



SUELOS DE CACTACEAS CON COLORACION ROJIZA

obteniéndose a la vez otros elementos únicamente presentes en dichos vegetales, siendo: Br, Cl, Co, Ni, Cr, Mg y Na.

Comparando en conjunto, tanto las plantas verdes como las que presentan cambios morfológicos, con respecto a sus suelos, se observó que los elementos presentes únicamente en los vegetales fueron: Cl, Mg, Ni, Cr, Co y Al; y en el suelo exclusivamente la presencia de Y y posiblemente la del Nb y el Mo.

Con respecto a los elementos químicos, presentes en el suelo y la ausencia de éstos en las plantas verdes o en las que presentaban coloración rojiza y necrosis en los tubérculos, tal vez se debe a la baja concentración de estos elementos en las plantas analizadas y que la sensibilidad del aparato no los alcanza a detectar o que la planta utilizó el mecanismo de exclusión, no absorbiendo a tales elementos.

Los elementos que están presentes en las plantas y ausentes en sus respectivos suelos tal vez se deba a que exista una muy baja concentración en éstos, mientras que en la planta a medida que absorbe estos elementos los acumula, y entonces ya pueden ser detectados.

Se piensa que con base a estos resultados, los métodos por fluorescencia de rayos X (por bombardeo de electrones y bombardeo de protones) son complementarios para la detección de los elementos traza tanto en las plantas como en el suelo.

Es importante considerar para la prospección mineralógica por bioindicadores los efectos sobre las plantas de los distintos metales que se encuentren en la solución nutritiva a diferentes concentraciones, manifestándose tal efecto de muchas formas e incluso exhibiendo las plantas diversas sintomatologías en función a sus reacciones fisiológicas, las cuales no son siempre específicas para un elemento determinado.

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación con relación a lo expuesto en el capítulo IV, en el que se mencionan los minerales encontrados por medio de la prospección mineralógica en suelos y plantas, se cita una asociación entre el As y el Au en las plantas y suelos, sin embargo en el estudio efectuado se encontro únicamente el primer elemento en cenizas de plantas rojizas y hasta la fecha no se ha detectado Au. Diversos autores encontraron una asociación del Co con Cu en plantas y suelo, confirmando dicha relación en las cenizas de las plantas rojizas y los suelos de éstas, así como también en los suelos de las plantas verdes. Otros investigadores registraron la relación Fe, Au y Ag, y de acuerdo con los resultados obtenidos, solamente se detectó el Fe, tanto en plantas con coloración rojiza como en verdes incluyendo sus suelos; no encontrándose aún la asociación con el Au y Ag. Se ha señalado la relación del Mn con Fe, Ba y Ni, confirmando dicha relación del Mn con el Fe y Ba en las plantas verdes y suelos de éstas, no detectándose el Ni en este caso. En la relación entre el Mo y el Cu, se comprobó una asociación entre ambos elementos en plantas con coloración rojiza

y sus suelos, así como en plantas verdes. El Nb que lo reportaron relacionado con el Ce, Sm, Eu y Lu, únicamente se encontró como probable en el suelo de una planta con coloración rojiza, no observándose la asociación con los demás elementos. Con respecto a la relación del Ni con el Fe, se determinó dicha asociación en las cenizas de plantas rojizas. Por último la relación entre el Cu y el Sb, Pb, Ga, Ag y Zn solamente se pudo observar una asociación del Cu y Zn en las plantas verdes, rojizas y en los suelos de ambas.

Al analizar los espectros resultantes de la composición química de las plantas y de los suelos se elaboraron las tablas 4 y 5. El área comprendida bajo los picos de cada elemento detectado indica sus cantidades relativas; así para las plantas con coloración rojiza o necrosis, el Fe se encuentra en mayor cantidad; el Ti, Br, Sr y Zr en cantidades medianas y el Ca, Cu y Zn se encuentran en menores cantidades relativas.

Los suelos de plantas con coloración rojiza o necrosis presentaron el Fe, Ca, K y Zr en mayores cantidades relativas; el Ti y Sr se encontraron en medianas cantidades y el Si, Sc, Mn y B fueron encontrados en menores cantidades relativas.

En las plantas verdes se encontró el K en mayor cantidad; el Ca en medianas cantidades y el Cl, F, Al, Ti, Fe y B se encontraron en menores cantidades relativas.

Los suelos de las plantas verdes presentaron el Ca y el Fe en mayores cantidades; el Ti y K en cantidades relativas medianas y el B, Mn, Sc, Si y S se encontraron en menores cantidades.

En lo que concierne a los análisis estadísticos llevados a efecto por computadora tomando como referencia el color de las plantas, la computadora discriminó como características más importantes las siguientes: diferencias en tonalidad de coloración, presencia o ausencia de necrosis y diferentes elementos químicos encontrados ya sea en plantas o en sus suelos. Estas características sirvieron para agrupar por una parte las plantas verdes y por otra, las plantas con coloración rojiza y necrosadas.

En la matriz de sombreado diferencial se encontraron las características de las plantas verdes, como también plantas con baja, mediana e intensa coloración rojiza con sus respectivos suelos. Se observó que los coeficientes de correlación más elevados fueron los de Ti y Fe, existiendo a la vez altos coeficientes de correlación para los elementos: Sr, Rb, Zn, As, Ba, Zr, Ca, Br, Cu y Sn en el suelo.

En el análisis de los dendrogramas de suelo/planta (fig. 10), se observó un comportamiento muy interesante, encontrándose una estrecha afinidad entre los perfiles números uno y dos que están correlacionados con las plantas que presentaron mediana coloración e intensa coloración rojiza. El perfil número cuatro forma parte de este conjunto, pero no se observó una correlación

tan cercana como en los anteriores. El perfil número cinco que incluye las plantas verdes, presentó un comportamiento distinto a todos los demás formando un grupo aislado.

A pesar de los resultados anteriormente discutidos la información obtenida hasta el momento no es suficiente, debido a que los análisis espectrográficos que se lograron realizar fueron muy pocos, por motivos ajenos a nuestra voluntad. Sin embargo, los especialistas en el manejo de estos equipos, opinan que no es necesario el análisis de un gran número de repeticiones para la detección de los elementos de un mismo tipo de muestras, debido a la gran exactitud que proporcionan estas técnicas.

Se propone la realización de una mayor cantidad de análisis tanto por fluorescencia de rayos X con bombardeo de protones (PIXE), como también con bombardeo de electrones, que incluyan plantas completas, diferentes órganos de éstas y también cortes transversales desde la raíz hasta el ápice, con el fin de determinar las zonas de acumulación de los elementos en el vegetal y su translocación, correlacionándolos con los elementos existentes en el suelo.

Además se sugiere la realización de los análisis espectrográficos, para la detección de los elementos químicos que se encuentran a diferentes profundidades en los perfiles de suelo como también de la roca madre. Esto se recomienda, con la finalidad de conocer la distribución relativa de los elementos minerales presentes en el suelo, pudiéndose de esta manera observar la translocación de los diferentes elementos.

Asimismo se cree conveniente en el laboratorio, inducir cambios morfológicos en plantas verdes, lo cual se puede realizar utilizando plantas sembradas sobre un sustrato inerte, al cual se le suministrará soluciones que contengan los nutrientes necesarios, así como diferentes concentraciones de elementos minerales que fueron detectados por medio de los análisis de alta sensibilidad.

Es importante enfatizar que en este tipo de investigación, la colecta del material se lleve a cabo durante un lapso de tiempo en el cual queden registradas las variaciones climáticas del área de estudio, pues con ello se trata de descartar las interferencias que pudieran inducir cambios morfofisiológicos en la vegetación. En este estudio se muestreó en dos ocasiones en primavera, una ocasión en verano y otra en invierno.

Por último, se considera de importancia fundamental el desarrollo de análisis cuantitativos exactos de los minerales detectados, que pueden ser realizados por diferentes técnicas. Por ejemplo: absorción atómica, espectrometría de luz ultravioleta o por el método PIXE.

CONCLUSIONES

Consideramos que esta investigación demuestra que las cactáceas pueden ser bioindicadoras y auxiliares en la detección de elementos minerales del suelo.

Se lograron determinar las características fisiográficas de la localidad, así como de los perfiles colectados en el sitio "Las Cabras", en el Municipio Villa de Reyes, ubicado en el Estado de San Luis Potosí.

Los análisis edafológicos indicaron que los suelos de esta localidad presentaron en general las siguientes características:

1) la densidad aparente presentó valores cercanos a 1.0 g/ml y la densidad real próximos a 2.0 g/ml, obteniéndose un porcentaje de espacio poroso medio.

2) la textura fué de migajón arcillo-arenoso, arcillo-arenoso, migajón arcilloso y arcilloso. Las dos primeras texturas concuerdan con las que se encuentran en zonas áridas, donde la erosión fundamentalmente edáfica arrastra el material fino dejando el material de grano grueso; las dos últimas texturas se explican en esta zona en función de la geología volcánica-sedimentaria de la localidad.

3) el porcentaje de materia orgánica de 0-10 cm va de 9.85 a 1.85%. Se considera que los altos valores de 9.85 a 2.55% se debieron a la biomasa procedente de las cactáceas y del matorral espinoso. Asimismo se observó que la materia orgánica decrece conforme aumenta la profundidad de los perfiles.

4) los colores de estos suelos por su contenido de materia orgánica son de color pardo en general.

5) el pH real fué de ligeramente ácido (6.1) a moderadamente alcalino (8.5).

6) la C.I.C.T. aumentó gradualmente conforme se incrementaba la profundidad de los perfiles, correlacionándose esto con los incrementos en el porcentaje de arcilla.

En base a los análisis espectrográficos que se obtuvieron se concluye que las plantas con cambios de coloración y necrosis o bioindicadoras, señalan la presencia de los siguientes elementos muy tóxicos: As, Ni, Cr y Co, y otros tales como: Si, Na y Mg. De los elementos anteriormente mencionados, únicamente se detectó el As y el Si en el suelo de estas plantas. En cuanto a la composición química de las plantas verdes, no se detectaron los elementos arriba mencionados.

El elemento traza Fe, se encuentra en mayor abundancia relativa, tanto en las plantas con coloración rojiza y necrosadas, como en los suelos donde éstas se desarrollan.

Las plantas verdes presentaron altos contenidos de K, y en el suelo los contenidos predominantes fueron el Ca y el Fe.

En base a los análisis físicos y químicos del suelo, se infirió que se trata de un suelo en el cual no existen factores que restrinjan el crecimiento y desarrollo de la *Hammillaria vagaspina* Craig, que es sumamente abundante.

Los métodos de análisis físicos por fluorescencia de rayos X de bombardeo de electrones o protones, han demostrado ser de gran utilidad para el análisis de oligoelementos (microelementos o elementos traza).

La fluorescencia por rayos X tiene la ventaja de hacer determinaciones simultáneas para identificar los diversos elementos que contienen las muestras estudiadas.

Los métodos analíticos por bombardeo de electrones y por PIXE demostraron ser complementarios e importantes para la detección de los elementos presentes en bajas concentraciones tanto en el material vegetal como en el edáfico.

Se efectuaron análisis estadísticos, con base al programa S.P.S.S., para lo cual se emplearon las características físicas y químicas del suelo, así como para las variables taxonómicas de la *H. vagaspina* y se consideró el contenido mineral identificado por medio de los análisis espectrográficos en ambos materiales, lográndose obtener la distribución, variabilidad, tendencias centrales, correlaciones lineales, dendrogramas así como una matriz de similitud de sombreado diferencial que indica la similitud que existe entre las variables estudiadas de los suelos y de las plantas.

Para poder distinguir las plantas verdes de aquellas que tienen coloración rojiza y necrosis que consideramos como bioindicadoras, las variables relevantes en función de los análisis estadísticos, fueron: coloración rojiza y la presencia o ausencia de necrosis, correlacionándose estas con presencia de algunos elementos químicos encontrados tanto en planta como en suelo.

Los análisis de los dendrogramas suelo-planta, hicieron evidente que las plantas verdes formaron un grupo aislado del conjunto de las plantas con coloración rojiza o necrosis.

APENDICE 1

ESTADO NATURAL Y UTILIZACION DE LOS ELEMENTOS QUIMICOS DETECTADOS POR LOS ANALISIS ESPECTROGRAFICOS EN LAS MUESTRAS DE PLANTAS CON COLORACION ROJIZA (Pérez y Juárez, 1976).

ELEMENTO QUIMICO	ESTADO NATURAL	APLICACIONES
As	Se encuentra nativo en el oropimente As_2S_3 , en el realgar As_2S_2 , en la arsenalita As_2O_3 y en la pirita de Ni.	En la fabricación de perdigones de Pb para darle dureza y fusibilidad, en raticidas y medicamentos contra la sífilis y el cancer.
Co	En la esaltita $CoAs_2$, en la pirita de Co, y otros compuestos: cobaltita y eritrita.	En la fabricación de aceros supermagnéticos, en aleaciones, amalgamas y radiografías.
Cr	No existe libre en la naturaleza, pero sí en compuestos como: la crocosita, crocoita, espinela y crocetaita.	Para preparar el acero inoxidable. Para cromar objetos y piezas de automóviles.
Na	Se encuentra en el agua de mar disuelto en la sal, nunca está libre debido a su gran actividad. Forma las evaporitas.	Como agente reductor en compuestos orgánicos, bombas incendiarias. Sus compuestos tienen grandes aplicaciones como la sosa cáustica empleada en la fabricación de jabones.
Ni	En la niquelita $NiAs$, nativo en meteoritos, también se encuentra en cianuros.	Como catalizador. En la fabricación de Ag alemana, galvanoplastia y aleaciones.
Mg	Se encuentra en las aguas de mar, en la dolomita $(CaMg)CO_3$, en la carnalita $KClMgCl_2 \cdot 6H_2O$ y en la talnita.	Las aleaciones del Mg, se emplean en la aeronáutica. Las aleaciones anodizadas se vuelven anticorrosivas y se usan en fotografía o como deshidratantes.
Si	No existe libre en la naturaleza. Su forma más original es el cuarzo y otros compuestos tales como: silicatos, sícas y caolín.	En la fabricación de celdas fotoeléctricas, rectificadores de radar, manufactura de silicones, vidrio y cristal.

APENDICE 2

NOMENCLATURA DE LOS ELEMENTOS QUIMICOS MENCIONADOS EN LA TESIS

SIMBOLO QUIMICO	NOMBRE DEL ELEMENTO	VALENCIAS
Ag	plata	1
Al	aluminio	3
As	arsénico	3,5
At	astatinio	-1,1,3,5,7
Au	oro	1,3
B	bario	3
Ba	bario	2
Be	berilio	2
Bi	bismuto	3,4,5
Br	bromo	-1,1,5
C	carbono	2,4
Ca	calcio	2
Cd	cadmio	2
Ce	cerio	3,4
Co	cobalto	2,3
Cl	cloro	-3,1,3,5,7
Cr	cromo	2,3,6
Cs	cesio	1
Cu	cobre	1,2
Eu	europio	2,3
F	fluor	-1
Fe	fierro	2,3,6
Ga	galio	3,2

Ge	germanio	2,4
H	hidrógeno	1
Hg	mercurio	1,2
I	yodo	-1,1,5,7
K	potasio	1
Li	litio	1
Lu	lutecio	3
Mg	magnesio	2
Mn	manganeso	2,3,4,6,7
Mo	molibdeno	2,3,4,5,6
N	nitrógeno	1,2,3,4,5
Na	sodio	1
Nb	niobio	2,3,4,5
Ni	níquel	2,3
O	oxígeno	-2
P	fósforo	3,5
Pb	plomo	2,4
Ra	radio	2
Rb	rubidio	1
S	azufre	-2,-4,-6,-8
Sb	antimonio	3,4,5
Sc	escandio	3
Se	selenio	-2,4,6
Si	silicio	2,4
Sm	samario	2,3
Sn	estano	2,4
Sr	estroncio	2

Ti	titanio	2,3,4,6
U	uranio	3,4,5,6
Va	vanadio	2,3,4,5
W	tungsteno	3,4,5,6
Y	itrio	3
Zn	zinc	2
Zr	zirconio	4,6

BIBLIOGRAFIA

- Acosta, V. et al. 1975. Curso de Física Moderna. Harla México. p.p. 504.
- Aguilera, N.H. 1979. Atlas de la República Mexicana, los Grandes Grupos de Suelos. Porrúa. México. p.p. 11-116.
- Aspiazu, F.J. 1958. Análisis Cuantitativos de Irazas de Elementos por la Técnica PIXE. Tesis Profesional. UNAM. p.p. 1-92.
- Beiser, A. 1980. Conceptos de Física Moderna. McGraw-Hill. 2a. Ed. México. p.p. 463.
- Blanco, M.A. y S. de Blanco. 1958. "Fluorescencia de algunas cactáceas mexicanas." Cact. Suc. Mex. 3(3): 55-57.
- Bravo, H.H. 1978. Las Cactáceas de México. Vol. 1. UNAM. 2a. Ed. México. p.p. 719.
- Brooks, R.R. 1972. Geobotany and Biogeochemistry in Mineral Exploration. Harper and Row. New York. p.p. 287.
- Buol, S.W. et al. 1983. Génesis y Clasificación de Suelos. Trillas. México. p.p. 417.
- Cannon, H.L. 1960. "Botanical prospecting for ore deposits." Science. p.p. 132.
- Chamel, A. et al. 1979. "Study by spark source mass spectrometry of the mineral composition of isolated pear (*Pyrus communis*) leaf cuticle cultivar passecrasane." Commun Soil Sci. Plant. Anal. 10(10): 1311-1318.
- Davies, G.R. and R. Crawshaw. 1978. "A field study of the soil and herbage relationships for the trace elements cooper, molybdenum and cobalt." Exp. Husb. 0(34): 53-60 (recd. 1979).
- De Galiana, M.T. 1979. Ciencias y Técnicas. Larousse. México. p.p. 1056.
- Dominguez, R.I. 1980. "Estudios ecológicos del volcan Popocatepetl, Estado de México." Congreso Nac. de la Ciencia del Suelo. Tomo I. p.p. 411-417.
- Estrada, L. 1973. Luz y Microondas. ANUIES. México. p.p. 51.
- Ferrer, F.J. 1974. Atlas de Física. Joves. 8a. Ed. Barcelona. p.p. 42.
- Frank, A.K. et al. 1979. "Metals in agricultural soils of Ontario, Canada." Can. J. Soil Sci. 59(2): 99-104.

- García, E. 1964. Apuntes de Climatología. UNAM. México. p.p. 111.
- Garcidueñas, R.M. 1979. Fisiología Vegetal Aplicada. McGraw-Hill. 2a. Ed. México. p.p. 262.
- Hafez, A.R. et al. 1979. "The solubility and plant uptake of chromium from weated soils." Commun Soil Sci. Plant. Anal. 10(9): 1261-1270.
- Hawkes, H.E. 1957. "Principles of geochemical prospecting." U.S. Geol. Survey. Bull. 1000-F: 225-352.
- Hiriart, V.P. 1978. Ampliación y Optimización de una Técnica Microanalítica de Rayos X, de Utilidad en Aplicaciones Interdisciplinarias. Tesis Profesional. UNAM. México. p.p. 89.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1985. Síntesis Geográfica del Estado de San Luis Potosí. Secretaría de Programación y Presupuesto. México. p.p. 186.
- Jackson, M. 1964. Análisis Químico de los Suelos. Omega. 2a. Ed. México. p.p. 661.
- Jao-Onkim et al. 1975. Statistical Package for the Social Science (SPSS). McGraw-Hill. New York. p.p. 675.
- Jeol, L.D. Instructions Jeol JSM-35C. Scanning Microscope. Tokyo. p.p. 47.
- Kevex Corporation. "Kevex Micro-X 7000 Analytical Spectrometer." Instruction Manual. Kevex Corporation. Cal. p.p. 84.
- Leavit, S.W. et al. 1979. "Plant regulation of essential and non essential heavy metals." J. Appl. Ecol. 16(1): 203-212.
- Little, T.M. et al. 1979. Métodos Estadísticos para la Investigación en la Agricultura. Trillas. México. p.p. 268.
- López, G.J. et al. 1977. "Opuntia streptacantha Lemaire." Ecosistemas. Univ. Aut. Agraria Antonio Narro. 3(5): 545.
- Mark, R.S. et al. 1980. "Plant substrate correlations in bioindication studies on metals." Methodische und Theoretische Grundlagen der Bioindikation (Bioindikation 1). Martin-Luther Univ. Halle-Wittenberg. Wissenschaftliche Beiträge. p.p. 45-51.
- Mazlyak, P. 1976. Fisiología Vegetal. Nutrición y Metabolismo. Omega. Barcelona. p.p. 348.
- Paredes, J. et al. 1965. Estructura Atómica. ANUIES. México. p.p. 61.

- Paredes, J. et al. 1975. El Núcleo y su Desarrollo. ANUIES. México. p.p. 85.
- Pérez y Juárez, A. 1976. Compendio Descriptivo de los Elementos Químicos. Avante. México. p.p. 32.
- Reichen, L.E. et al. 1949. "Field method for the determination of zinc in plants." U.S. Geol. Survey Circ. 41.
- Reichen, L.E. et al. 1951. "Field method for the determination of molybdenum in plants." U.S. Geol. Survey Circ. 124.
- Rowley, G. 1976. The Illustrated Encyclopedia of Succulents. Salamander Books Limited. London. p.p. 256.
- Rzadowski, J. 1983. Vegetación de México. Limusa. México. p.p. 397.
- Salisbury, F. et al. 1978. Plant Physiology. Wadsworth Publishing Co. Inc. Cal. p.p. 425.
- Scheinvar, L. 1982. La Familia de las Cactáceas en el Valle de México. Tesis de Doctorado en Biología. UNAM. México. p.p. 725.
- Schubert, R. et al. 1980. Biindikation auf Subzellularer und Zellularer Ebene (Biindikation 2). Kongress-Und Tagungsberichte der Martin-Luther Univ. Halle-Wittenberg. Wissenschaftliche. Beiträge. p.p. 103.
- Schubert, R. et al. 1980. Biindikation auf der Ebene der Populationen und Biogeozönosen 1 (Biindikation 4). Kongress-Und Tagungsberichte der Martin-Luther Univ. Halle-Wittenberg. Wissenschaftliche. Beiträge. p.p. 107.
- Schubert, R. et al. 1980. Biindikation auf der Ebene der Populationen und Biogeozönosen 2 (Biindikation 5). Kongress-Und Tagungsberichte der Martin-Luther Univ. Halle-Wittenberg. Wissenschaftliche. Beiträge. p.p. 115.
- Secretaría de Programación y Presupuesto, Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. 1981. La Minería en México. México. p.p. 295.
- Sokal, R.R. et al. 1963. Principles of Numerical Taxonomy. Freeman and Co. S.F. p.p. 339.
- Tapia, C.L. 1976. Microanálisis Cuantitativo por Espectroscopia de Rayos X Inducidos con Protones. Tesis Profesional. UNAM. México. p.p. 89.
- Villaronga, M.M. 1973. Atlas del Atomo. Joves. Sa. Ed. Barcelona. p.p. 42.