

SISTEMA DE BIBLIOTECAS
Instituto de Investigación de Zona
Desérticas. UASLP

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS



Estudio sobre el Contenido de Cobre en Suelos
Derivados de Caliza y Basalto

TRABAJO RECEPTIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

QUIMICO

PRESENTA

JOSE RENE ROMO RAMIREZ

DONADO AL INSTITUTO DE
INVESTIGACION DE ZONAS
DESERTICAS POR EL AUTOR



ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

Alvaro Obregón No. 04

San Luis Potosí, S. L. P., Méx.

SR.
JOSE RENE ROMO RAMIREZ
P R E S E N T E.-

Por medio de la presente me permito comunicar a usted, que en sesión del H. Consejo Técnico de esta Escuela de Ciencias Químicas efectuada el 12 de Febrero de 1974 se acordó:

A C E P T A R :

El proyecto de Trabajo Recepcional que Ud. ha titulado:

• ESTUDIOS SOBRE EL CONTENIDO DE COBRE EN SUELOS DERIVADOS DE CALIZA Y BASALTO •

Para los efectos consiguientes pongo lo anterior de su conocimiento, protestando a usted las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

San Luis Potosí, S. L. P., 12 de Febrero de 1974


SECRETARIO DE LA ESCUELA DE
CIENCIAS QUIMICAS

ING. JUAN ANTONIO RODRIGUEZ R.
SECRETARIA

A mis padres:

René Romo Ríos
Socorro Ramírez de Romo
Con eterna gratitud.

A mis hermanos:

Ruth, Renato y Rafael

A mi esposa e hijas:

Carmen Castillo de Romo

Sagrario y Erika

Con amor

Al Quin. Ind. y M.C. Raúl Grande López

A mis Maestros y Amigos.

A mi Escuela.

A la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Al Instituto de Investigación de Zonas Desérticas.

C O N T E N I D O

- I.- INTRODUCCION
 - a).- Objetivos
- II.- GENERALIDADES
- III.- FUENTES DE COBRE EN EL SUELO
- IV.- INTEMPERIZACION DE LOS MINERALES QUE CONTIENEN COBRE
- V.- CONCENTRACION Y FORMAS EN QUE SE ENCUENTRA EL COBRE EN SUELOS --
AGRICOLAS.
- VI.- MUESTREO
 - a).- Mapa de la zona de muestreo
- VII.- METODO ANALITICO SELECCIONADO PARA COBRE
- VIII.- METODOS DE CORRELACION
- IX.- RESULTADOS
- X.- DISCUSION DE RESULTADOS
- XI.- CONCLUSIONES
- XII.- RESUMEN
- XIII.- BIBLIOGRAFIA

I N T R O D U C C I O N

El cobre es un microelemento considerándolo desde el punto de vista agrícola ya que las necesidades de él por los cultivos son del orden de los miligramos por litro pero siendo su presencia en el suelo de una importancia decisiva para el buen desarrollo de las plantas, ya que entra en funciones como la síntesis de la clorofila o en algunos cultivos, como el de la papa, donde actúa formando parte de una enzima respiratoria, también puede resultar tóxico cuando las cantidades de cobre en la solución del suelo son mayores a las requeridas por los cultivos aunque generalmente las toxicidades son raras, lo que mas se presenta son deficiencias.

La presencia del cobre en los suelos agrícolas se ve limitada principalmente por el tipo de roca de que provienen ya que mientras que en un suelo de origen ígneo el contenido de cobre será alto y los cultivos que sobre éstos suelos se desarrollan dispondrán de las cantidades necesarias para su nutrimento, en los suelos de origen sedimentario los contenidos de cobre serán pobres y los cultivos que sobre éstos suelos se desarrollan presentaran posibles deficiencias. Este mayor y menor contenido de cobre en estos dos suelos de distinto origen depende principalmente del tipo de mineral que constituyen las rocas que les dan origen, así en el basalto constituido por minerales ferromagnesianos el cobre está como elemento traza y en la roca caliza el contenido es menor ya que la incorporación del cobre como traza en este tipo de roca es muy limitada.

En vista de lo anterior y considerando dos suelos de distinto origen geológico, uno de origen ígneo, basalto, y el otro de origen sedimentario, caliza, se desarrolló el presente trabajo bajo-

los siguientes objetivos:

1).- Cuantear la cantidad de cobre como microelemento en esos dos tipos de suelos, utilizando para ello tres soluciones extractivas de ácidos minerales fuertes los cuales se preparan de unas concentraciones bajas para extraer solo las cantidades de cobre que son aprovechables por los cultivos. El método empleado fué colorimétrico utilizando un espectrofotómetro y con la 2-2' biquinolina en solución alcohólica como reactivo acomplejante.

2).- Ver que tipo de solución ácida extractiva es la mas recomendable para cuantear cobre en estos dos tipos de suelo.

3).- Conocer cuales son los factores limitantes en la aprovechabilidad del cobre para estos suelos.

4).- Contribuir al conocimiento de este microelemento cobre en los suelos de zonas áridas

G E N E R A L I D A D E S

Al cobre se le considera como un microelemento en la nutrición de las plantas así como al Boro, Zinc, Hierro, Manganeso y Molibdeno. Los microelementos se llaman así en virtud de la poca cantidad en que son requeridos por los vegetales pero que teniendo gran importancia -- en su desarrollo y nutrición son varias las funciones que desempeñan -- ya sea como nutrientes directos, como catalizadores o con otras funciones en la nutrición vegetal.

La deficiencia de los microelementos produce trastornos en -- la vida de las plantas y afecta las cosechas. Los síntomas por deficiencias de microelementos pueden ser visibles en la parte externa del vegetal, pero ocasionalmente no hay síntomas externos o bien se presentan mezclados unos con otros, lo cual dificulta su identificación, en cuyo caso solamente puede diagnosticarse mediante análisis del suelo -- de la planta o de ambos a la vez.

El hecho de que no se haya generalizado mucho el estudio de -- los microelementos y consecuentemente no se apliquen en la fertilización en forma intensiva, no obstante su importancia para aumentar las cosechas, se debe a que su comportamiento en el suelo es complejo y -- a que la interacción entre ellos es muy difícil de interpretar; por ejemplo: Un cultivo puede carecer de manganeso, corregirse la deficiencia (los síntomas) con la adición de él, pero sin hacerse sentir su influencia en la cantidad de cosecha; no obstante puede ser que la adición de manganeso y cobre simultáneamente (aunque no haya síntomas de deficiencia de éste último) aumente considerablemente la cosecha.

La respuesta de las plantas a la presencia de los microele --

mentos varía con las exigencias de las diversas plantas y con las condiciones del suelo. En este caso en particular mencionaremos algunas características principales del microelemento que nos ocupa: el cobre. El cobre por una parte parece estar íntimamente relacionado con la nutrición de los vegetales y por otra con ciertos caracteres del suelo. Como nutriente, el cobre está presente en la enzima polifenoloxidasas que actúa en los procesos de óxido-reducción, esta enzima se localiza en los cloro-plastos de las hojas de algunas plantas como por ejemplo: la espinaca, sin embargo también se encuentra en los tubérculos de la papa donde actúa como una enzima respiratoria.

Se cree que el cobre desempeña un papel importante en la síntesis de la clorofila, pues se ha observado un aumento de ésta, después de hacer aplicaciones de cobre.

La deficiencia de cobre es frecuente en suelos ácidos con alto contenido de materia orgánica, en los que predomina la arena, probablemente esto se debe a que en tales condiciones el ión cobre es altamente móvil y consecuentemente lixiviable, pues el contenido de dicho suelo es de menos de 0.02 ppm de cobre. En cambio en suelos orgánicos ligeramente ácidos o más bien moderadamente alcalinos el cobre forma combinaciones que son fuertemente retenidas por los complejos minerales y orgánicos.

El cobre existe en grandes cantidades en las rocas ígneas por lo cual la deficiencia en suelos provenientes de tales rocas no es frecuente. Entre los suelos minerales dicha deficiencia se reduce principalmente a los suelos de origen sedimentario ricos en carbonatos. La disponibilidad de cobre en el suelo indudablemente depende de las cantidades retenidas por los minerales de intercambio y por los complejos orgánicos, tanto en la forma intercambiable, como la insoluble.

A continuación se mencionarán algunas plantas exigentes en cobre: Entre las hortalizas tenemos el apio, betabel, cebolla, lechuga y zanahoria. Entre las frutales pueden citarse: ciruelo, cítricos durazno, manzano. Entre los cereales: alpiste, avena, trigo, centeno. Entre las leguminosas: alfalfa, así como otros cultivos: tabaco, jitomate, caña de azúcar, etc.

Síntomas de deficiencia de cobre. Los síntomas de deficiencia de cobre son muy variables en las diferentes especies cultivadas, pero en lo general, puede decirse que las hojas nuevas y superiores son las más afectadas, sin que lleguen a secarse completamente, sino solamente con manchas de tejido muerto. La característica principal es la marchitez de las yemas nuevas. En el tabaco la carencia de cobre da por resultado la marchitez de la yema terminal la cual se dobla. Las hortalizas presentan clorosis. En los cítricos, las hojas de los renuevos son excesivamente grandes y los tallos presentan una sección triangular y son largos y delgados, las hojas se arquean hacia arriba y son de color verde oscuro y deformes, los frutos pueden verse con protuberancias y bolsas gomosas, jugo pobre en ácidos y la pulpa se seca, La exantema es una enfermedad debido a la falta de cobre que afecta a la mayoría de los árboles frutales cuyo síntoma es la marchitez y muerte de las extremidades tiernas, después de lo cual las yemas de abajo de la parte muerta adquieren un crecimiento en forma de roseta.

FUENTES DE COBRE EN EL SUELO

El cobre se presenta en la naturaleza en cantidades muy pequeñas como cobre nativo y en forma de minerales oxidados y minerales sulfurados. En el suelo la fuente de cobre son las rocas ígneas, que constituyen la mayor parte de la corteza terrestre (pero no la superficie inmediata). La cantidad promedio de cobre en la corteza terrestre es de aproximadamente 70 partes por millón aunque esta cifra no dice nada acerca de la gran variabilidad que existe en la concentración del elemento en diferentes minerales y rocas. Conociendo cuales son los minerales que contienen cobre será posible predecir cuales serán las rocas que pueden ser ricas o pobres en este microelemento en particular. Los principales minerales que lo contienen como elemento traza son: Los ferromagnesianos como Olivina, Auguita, Hornblenda y Biotita. Y los Feldespatos alcalinos como Andesina, Anortita, Oligoclase, Albita y Ortoclase.

La presencia del cobre en determinados minerales se explica por el principio de la sustitución isomórfica, es decir que un ión puede ser sustituido por otro en un cristal, cuando ambos iones son de tamaño similar. La presencia de cobre en los feldespatos alcalinos posiblemente se debe a la sustitución del Cu^+ ($r=0.93 \text{ \AA}^0$) por el Na^+ ($r=0.98$) ó el K^+ ($r=1.33$).

El cobre existe en proporciones más o menos uniformes en todas las rocas ígneas debido a que lo contienen las rocas ferromagnesianas y los feldespatos; aunque puede ser relativamente escaso en ciertas rocas muy ácidas. La discusión sobre el contenido de cobre en las rocas sedimentarias es algo más complicado que la correspondiente a las rocas ígneas, a causa de las diversas fuentes de los

sedimentos. Las areniscas de mayor carácter cuarcítico son muy pobres en casi todos los microelementos. Dentro de las rocas sedimentarias - la pizarra, la caolinita y la caliza son las que contienen el cobre - como elemento traza. El contenido de cobre en las calizas varía según el tipo de caliza, las calizas pizarrosas casi siempre mostrarán un mayor contenido que las calizas cristalinas puras.

INTEMPERIZACION DE LOS MINERALES QUE CONTIENEN COBRE

Los cambios físicos y químicos producidos en las rocas y minerales es a lo que se denomina intemperización. Los cambios físicos son debidos a las fuerzas de desintegración y los cambios químicos son causados -- por los procesos de descomposición. Este fenómeno de intemperización es -- una de las principales causas por la cual los minerales aportan elementos nutritivos a la solución del suelo. Los minerales ferromagnesianos y feldspatos que son los que contienen mayor cantidad de cobre como elemento -- traza, son muy susceptibles a la descomposición originada por la intemperización química. Con cierta frecuencia, sin embargo, factores tales como el pH o el contenido de materia orgánica, son los que determinan la utilización de ese microelemento mas que el contenido total de la roca original. El cobre cuando es liberado de los minerales primarios, puede ser incorporado a los minerales silíceos, puede co-precipitar juntamente con los hidróxidos de hierro y aluminio o carbonatos de calcio, puede ser retenido --- por agentes complejantes orgánicos o bien puede permanecer en solución generalmente como catión o complejo soluble en cuyo caso está sujeto a la acción de lavado.

CONCENTRACION Y FORMAS EN QUE SE ENCUENTRA EL COBRE EN SUELOS AGRICOLAS.

Los suelos se han formado de materiales progenitores muy diversos, los cuales provienen del intemperismo de rocas ígneas, rocas sedimentarias y metamórficas, materiales en diversas etapas de intemperización -- transportadas por el agua o aire y aún pueden haberse originado de restos vegetales (caso de los suelos orgánicos). El grado de intemperización y la intensidad del lavado varían considerablemente de un suelo a otro, esta condición infiere que el contenido de cobre de los suelos debe ser muy diferente al de la corteza terrestre. Esto es cierto tratándose de perfiles de suelo individuales, aunque el contenido medio de dicho elemento en la cor--

teza terrestre es de 70 ppm. El cobre total en los suelos de climas templados y tropicales oscila generalmente, entre 5 y 40 ppm., pero desciende hasta 1 a 2 ppm., en los suelos áridos deficientes en cobre y puede llegar a ser de 100 ppm. o mas en algunos suelos.

Las formas en que se encuentra el cobre en suelos agrícolas - pueden ser: Complejado con la materia orgánica insoluble, compuestos o complejos orgánicos solubles, adsorbido sobre la superficie de los silicatos, ocluido en los óxidos hidratados de fierro.

M U E S T R E O

La zona seleccionada para el presente estudio fue la de Estación Ventura, Municipio de Soledad Díez Gutiérrez, S.L.P., ya que ahí se encontró una incidencia geológica de los dos tipos de suelo requeridos. Esta zona es de caliza pero también se encuentra material ígneo. Se buscó un lugar en el que el grado de intemperización fuera más marcado buscando con ésto encontrar que dichos suelos tuvieran un mayor aporte del microelemento cobre ya que este fenómeno de intemperización es un factor importante para poder predecir si un suelo tendrá un mayor o menor contenido de cobre, ya que al estar contenido como traza en minerales como los ferromagnesianos, feldespatos y carbonatos de calcio, que son los principales componentes de estos dos suelos, su incorporación a la solución del suelo será mayor cuanto mayor sea el grado de intemperización en que se encuentran dichos suelos. La razón de haber escogido esta zona fue debido a que se trató de que las condiciones climáticas de vegetación y grado de intemperización fueran semejantes para los dos tipos de suelos y así poder atribuir los contenidos de cobre en dichos suelos solamente por su origen geológico.

En base a lo anterior, se practicó un muestreo con barrena graduada a intervalos de 10 cm. habiendo obtenido muestras en 7 localidades las cuales se indican en el plano correspondiente. El material por investigar comprende un total de 16 muestras de suelo y 2 muestras de roca. Las muestras se guardaron en bolsas de polietileno etiquetadas con el número de perfil y profundidad del horizonte correspondiente.

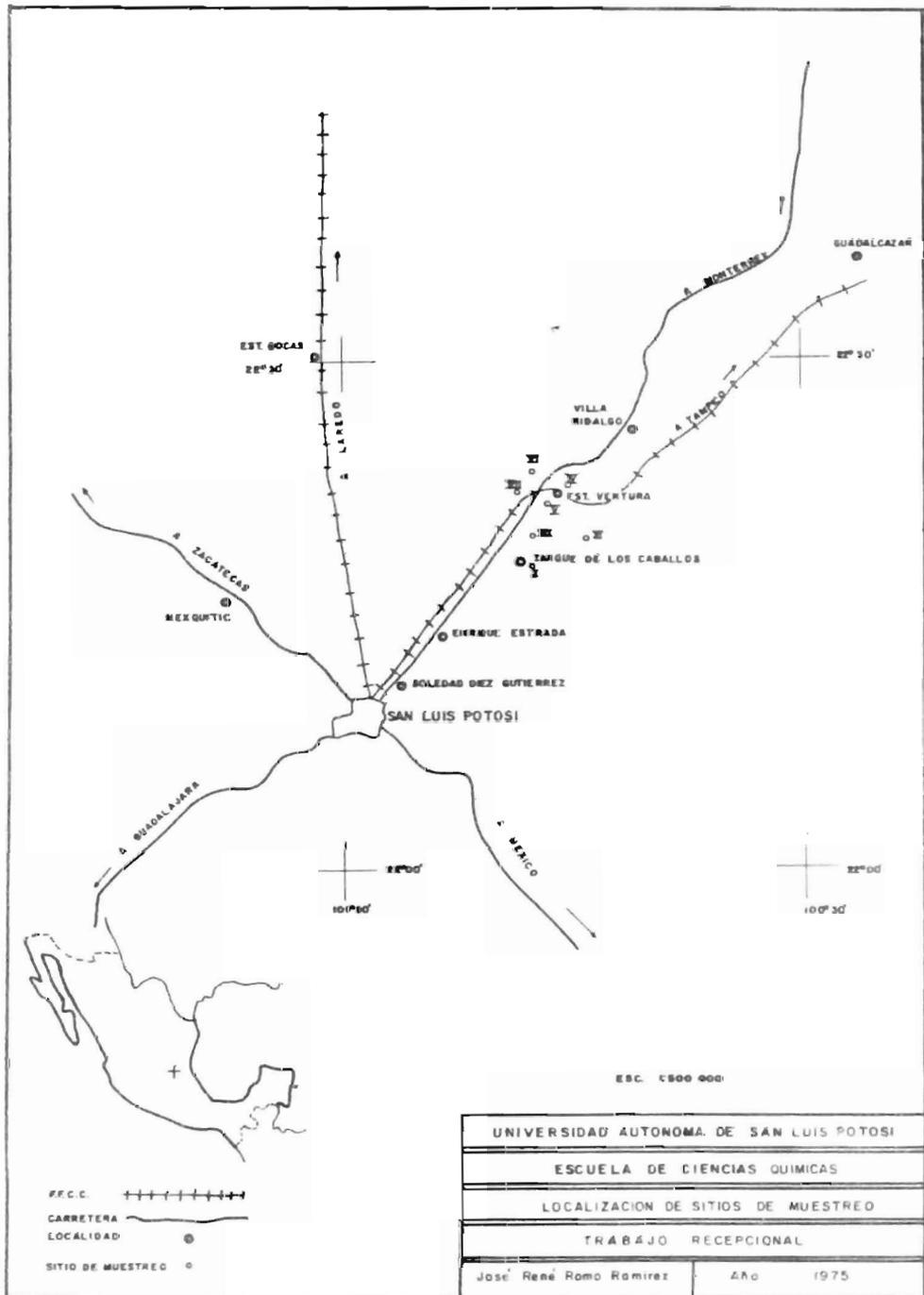
Procedimiento de preparación de muestras para análisis.

Las muestras de suelo se sacaron al aire sobre papel, ya que cuando se rompieron los grumos con pisón de madera y se pasaron por el tamiz de 2 mm. de abertura. Luego se colocaron las muestras en frascos de vidrio con tapas de rosca y se puso en su interior una tarjeta para

identificación y en el exterior una tela adhesiva con su número de --
registro.

DATOS DE CAMPO DE LA ZONA DE MUESTREO

LOCALIZACION:	22° 25' latitud N y 100° 47' al W de Greenwich.
NOMBRE DEL LUGAR:	Ventura.
MUNICIPIO:	Soledad Díez Gutiérrez
ESTADO:	San Luis Potosí.
CLIMA:	Bskwg: seco estepario con lluvias de verano. Temperatura media anual: 18.3°C. Precipitación media anual: 360.6 mm. Altura sobre el nivel de mar: 1,860 m
VEGETACION:	Matorral crasicaule; predomina Opuntia spp, y Myrtillocactus sp.
TOPOGRAFIA:	Cerros de poca altura.
UTILIZACION:	Pastoreo.



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI	
ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS	
LOCALIZACION DE SITIOS DE MUESTREO	
TRABAJO RECEPTACIONAL	
Jose René Romo Ramirez	4to 1975

METODO ANALITICO SELECCIONADO PARA COBRE

En este método usaremos HCl 0.1N (Bould y Col), HClO_4 0.1N (Lundbland y Col) y HNO_3 0.5N (Antipov-Karataeo) para extraer el cobre del suelo. La determinación de cobre en el extracto se hará con reactivo de 2-2' Biquinolina. Es difícil interpretar los resultados en términos de "cobre aprovechable" por las plantas porque hasta el momento --- no se dispone de un procedimiento digno de confianza para determinarlo en suelos de características variables. En este trabajo se tratará de obtener datos suficientes para establecer cual de las 3 soluciones ácidas extractivas empleadas es más recomendable para dos suelos de características diferentes como un ígneo y un calizo, utilizando como reactivo de determinación la 2-2' Biquinolina.

El cobre extraído se puede determinar también con dietil dietiocarbamato de sodio, pero con la biquinolina resulta más rápido el método y el color obtenido es más estable .

A causa del peligro de contaminación en este procedimiento tan sensible, se empleó agua desionizada.

Reactivos:

- 1.- Soluciones extractivas HCl 0.1N, HClO_4 0.1N, HNO_3 0.5N
- 2.- Clorhidrato de hidroxilamina.
- 3.- Solución de acetato de sodio 0.3N, disolver 24.6 g de --- acetato de sodio anhidro en unos 900 ml de agua desionizada y diluir a un litro.
- 4.- Solución de biquinolina al 0.02 % (p/v), agregar 0.05 g de 2-2' biquinolina a 125 ml de alcohol iso-amílico en un matraz Erlenmeyer de 300 ml. Calentar a ebullición y digerir a una temperatura ligeramente menor a la del punto de ebullición, hasta que la biquinolina

na esté en solución.

Estas operaciones deben realizarse bajo una campana, teniendo la precaución de tapar el matraz con un vidrio de reloj para impedir que se evapore el alcohol iso-amílico. Enfriar y agregar otros --- 125 ml de alcohol iso-amílico.

5.- Solución tipo de cobre.- Disolver exactamente 0.1000 g - de cobre metálico puro en 50 ml de HNO_3 3N y diluir a un litro con agua desionizada. Esta solución contiene 100 ppm de cobre. Se tomaron 10 ml de esta solución (con pipeta), se colaron en un matraz aforado de un - litro y se completó hasta la marca. Esta solución contiene 1 ppm de -- cobre. Para obtener la curva de trabajo se tomaron alícuotas de 0, 5, 10, 15, 20 y 25 ml de la segunda solución y se colocaron en embudos separadores y se procedió como se indica en los pasos 6 al 13 del procedimiento.

Equipo.-

Matraces Erlenmeyer de 125, ó 300 ml.
 Agitador mecánico
 Papel filtro Whatman No. 40 de 11 cms.
 Probetas graduadas de 50 ml.
 Embudos separadores de 60 ml.
 Papel indicador (pH-hydrion) pH 4 a 5.
 Lana de vidrio.
 Espectrofotometro

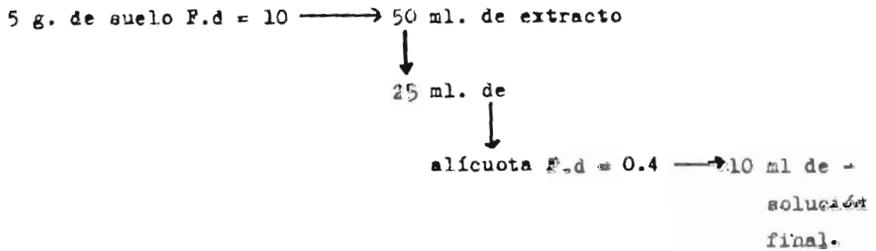
Procedimiento.-

1) Pesar 5 g de suelo seco a la estufa entre 100-110°C y colocarlos en un matraz Erlenmeyer de 125-300 ml.

- 2) Agregar 50 ml del ácido mineral (HClO_4 1N, HClO_4 0.5N, --- HNO_3 0.5N) y agitar durante 30 minutos mecánicamente.
- 3) Filtrar por papel Whatman seco, y recoger el filtrado en una probeta graduada.
- 4) Deséchese los primeros 10 a 15 ml de filtrado y recójense los restantes ml en la probeta.
- 5) Tómese con pipeta 25 ml del filtrado y colóquense en un embudo separador.
- 6) Añadir aproximadamente 15 mg de clorhidrato de hidroxilamina y agitar vigorosamente.
- 7) Ajustese el pH de la solución entre 4 y 5 (usando papel - indicador pH hydrión), añadiendo acetato de sodio 0.3N.
- 8) Con pipeta tómese un volumen de 10 ml de biquinolina al 0.02 % (en alcohol iso-amílico), y colóquese en el embudo separador.
- 9) Agitar vigorosamente por 1-2 minutos.
- 10) Déjese en reposo 10 ó 15 minutos.
- 11) Abrase la llave y déjese escurrir lentamente toda la --- fase acuosa y 1 ml de la fase alcohólica.
- 12) Tómense de 7 a 8 ml de la fase alcohólica restante y recójense en un tubo colorimétrico filtrando por lana de vidrio.
- 13) Pasados 10 minutos léase el % de transmitancia de la solución, usando una longitud de onda de 540 m μ .
- 14) Determinese la concentración de cobre, usando una curva preparada de antemano. Las soluciones tipo empleadas requieren un tratamiento similar al problema (pasos del 6 al 13 inclusive).

Cálculos.-

Factores de dilución.-



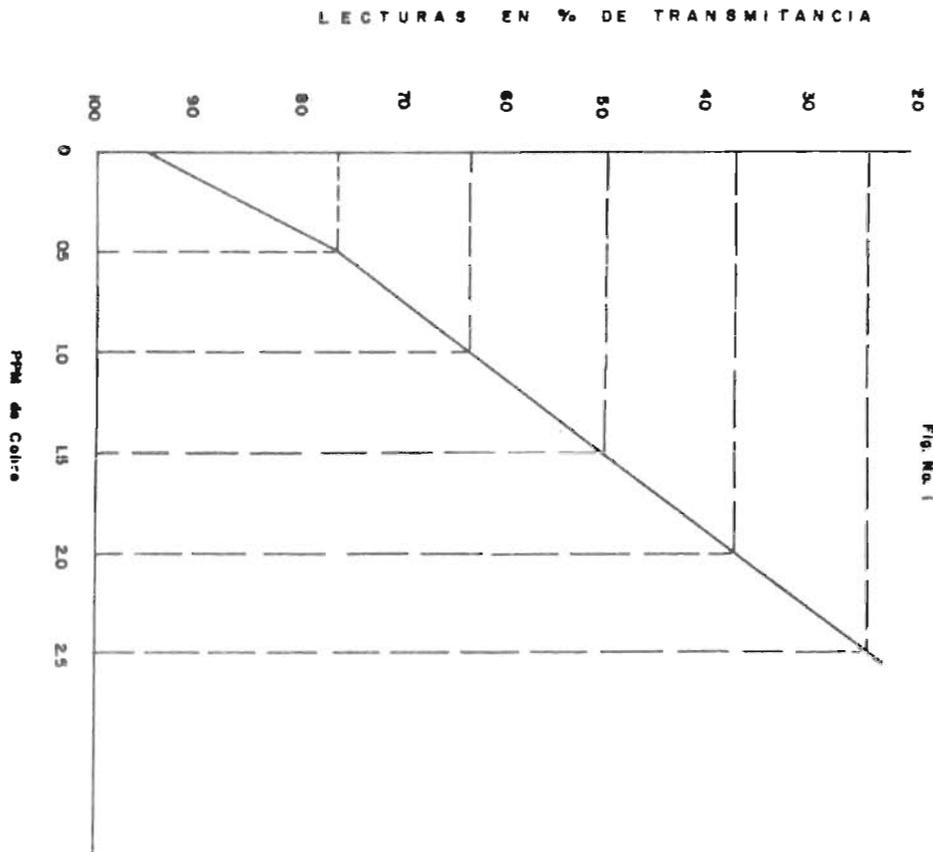
F.d total = 4

PPM de Cu en el suelo = 4 x PPM de Cu en solución final.

Kg/Ha. de Cu = PPM de Cu en el suelo x 2.

Datos obtenidos para la construcción de la figura No. 1

ml. de alícuota de la solución correspondiente al ppm de cobre.	Concentración obtenida en la solución final en ppm de cobre.	Lectura % T
0	0	95.00
5	0.5	76.00
10	1.0	63.00
15	1.5	49.50
20	2.0	37.00
25	2.5	24.00



CURVA DE REFERENCIA PARA COBRE

Fig. No. 1

METODOS DE CORRELACION

Color: Se obtuvo por comparación con una escala Munsell (Munsell-Color, Co. Inc., 1954); la determinación se efectuó en estado seco y húmedo, reportando la clave (matiz, luminosidad e intensidad) y la interpretación correspondiente. Se determinó color para efectuar una correlación de los colores del suelo con los posibles acomplejantes del cobre, como materia orgánica, óxidos de fierro y carbonatos de calcio que al estar presentes proporcionan al suelo tonalidades características que al ser observadas es posible predecir que el cobre se encuentre presente en dichos suelos y esto se confirma con los análisis correspondientes a cada uno de éstos acomplejantes.

Carbono Orgánico: El método empleado fué el de combustión húmeda de Walkley-Black modificado. En este método la muestra de suelo se trata con un oxidante, dicromato de potasio 1N, (utilizando el calor de dilución del ácido sulfúrico) y el exceso de dicromato que no reaccionó con la materia orgánica se determina por titulación con sulfato ferroso 1N. Se determinó materia orgánica por ser considerada como una fuente potencial de cobre ya que al encontrarse éste formando complejos con la materia orgánica, su presencia en el suelo es efectiva, pero su aprovechamiento por los cultivos es limitada y en el análisis para cobre es notorio una menor extracción de este microelemento en los suelos que presentan mayor contenido de materia orgánica.

Determinación de carbonatos totales como CaCO_3 (método volumétrico). Este método consiste en atacar la muestra de suelo con ácido clorhídrico 0.5N y titulando el exceso de ácido que no reaccionó, con solución 0.5N de hidróxido de sodio. Este método fué empleado para correlacionarlo con los dos tipos de suelo ya que era de esperarse que en los suelos de origen sedimentario la cantidad de carbonato de calcio fuera mayor que en el lúneo y esto sirvió para diferenciar los suelos de una manera mas definitiva. Es-

te hecho es notorio ya que en los suelos derivados del basalto los contenidos del carbonato de calcio no sobrepasaron el 2.00 %.

Determinación de humedad (100-110°C). Esta determinación se hizo en la estufa en la muestra de suelo secada al aire. El objeto de esta determinación fue ver el grado de aridez en que se encuentran estos suelos y que corresponde a la zona escogida para este trabajo y también para correlacionarla con el contenido de arcilla obtenida en la determinación de textura, ya que a mayor contenido de arcilla mayor humedad y este correlaciona con el contenido de cobre ya que las arcillas lo contienen como traza o mas bien los minerales arcillosos como la caolinita. A los bajos contenidos de humedad se supone una precipitación pluvial reducida en esta zona y la pérdida por lixiviación se descarta a no ser que el suelo sea muy arenoso.

Determinación de hierro. Se determinó por método volumétrico -- a partir del filtrado de la sílice. La titulación del hierro se hace -- con dicromato de potasio, usando como indicador difenilamina. El hierro se cuantó por ser una fuente de cobre en el suelo ya que los minerales del hierro contienen al cobre como traza y también por ser considerado como un elemento de origen ígneo y nos limitará a estos suelos y si se encontrara en uno de origen sedimentario atribuirlo como una incorporación.

Determinación de pH. Se determinó en suspensión acuosa relación suelo agua 1:25 utilizando un potenciómetro. La actividad del H^+ aumenta al disminuir de 7 el valor del pH lo cual origina un desplazamiento hacia la solución del suelo del catión cobre, así el cobre complejoado con la materia orgánica pasará a la solución del suelo a pH menor de 7 y es de esperar una mayor extracción de cobre por las plantas a pH bajo que a pH alto. Esto concuerda con el mayor contenido de cobre extraído en los suelos estudiados ya que fué de 6.32 ppm en el perfil 4 a un pH de 6.45 que fué el mas bajo para estos suelos.

Determinación de textura. Se determinó por el método del hidrómetro Bouyoucos (escala 0-60 g/l). Usando como defloculante hexametáfosfato de sodio y carbonato de sodio. La textura del suelo está relacionada con el tamaño de las partículas minerales específicamente se refiere a la proporción relativa de los tamaños de varios grupos de partículas de un suelo. Esta propiedad nos ayuda a determinar no solo la facilidad de abastecimiento de nutrientes, sino también agua y aire, tan importante para la vida de las plantas. Respecto a los contenidos de cobre nos sirve para relacionarlos con los contenidos de arcilla ya que ésta son fuente de cobre, pues lo contienen entre sus aristas, y con las arenas también se correlaciona el contenido de cobre ya que a mayores contenidos de arena menos cobre.

Determinación de SiO_2 . Se realizó por fusión con carbonato de sodio para formar el silicato de sodio soluble y por evaporación con ácido clorhídrico se obtiene la sílice como residuo insoluble en agua, el cual se calcina en crisol de platino, se pesa y se trata con ácido fluorhídrico y sulfúrico la diferencia de peso nos da la sílice. El objetivo de conocer cuanto SiO_2 se encuentra en estos dos suelos de distinto origen geológico es conocer las proporciones de material insoluble y ubicar las procedencias de éstas, ya que es de esperarse que en la roca sedimentaria, constituida por carbonato de calcio se encuentra una cantidad mínima de sílice y en consecuencia si el suelo llega a contener una proporción apreciable de este mineral, sería por acumulación secundaria o fenómeno de acarreo obviamente la roca ígnea y el suelo derivado de ésta tendrán un contenido apreciable de óxido de silicio.

RELACION DE DATOS

ANÁLISIS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS

NUMERO DE MUESTRA	NUMERO DEL PERFIL DE SUELO	HORIZONTE	PROFUNDIDAD EN Cm.	LOCALIDAD	ALTITUD m. s. n. m.	ANÁLISIS QUÍMICO			MECANICO	HUMEDAD %	SiO ₂ %	CARBONO ORGANICO %	MATERIA ORGANICA %	CARBONATOS TOTALES CO ₂ MO. CaCO ₃ %	DETERMINACION DE COLOR		COBRE (Cu ²⁺)			pH	Fe ₂ O ₃ %			
						CLASIF. TEXTURAL	Hl	100-110°C							ESTADO SECO	ESTADO HUMEDO	EXTRACCION							
																	HNO ₃ 0.5N P.P.M.	HClO ₄ 0.1N P.P.M.	HClO ₄ 0.1N P.P.M.			Relacion suelo agua 1:2.5		
27/74	I	1	0-15	TANQUE DE LOS CABALLOS	1860	58.80	16.72	12.48	MIGAJON ARENOSO	L	3.01	34.74	8.72	15.05	R	17.95	10 YR 4/2 Café grisáceo obscuro	10 YR 2/2 Café muy obscuro	1.24	—	—	7.90	6.20	
28/74	II	1	0-20	km. al Noroeste del Tanque de los Caballos	✓	44.80	30.72	24.48	FRANCO	M	4.53	51.20	4.41	7.60	R	10.80	10 YR 4/1 Gris obscura	10 YR 3/1 Gris muy obscuro	3.80	—	—	8.10	3.90	
29/74	III	1	0-10	Al Norte del Tanque de los Caballos	✓	37.38	30.14	32.48	MIGAJON ARCILLOSO	M	3.31	51.40	1.54	2.65	R	18.51	10 YR 6/2 Gris cafésaco claro	10 YR 4/2 Café grisáceo obscuro	2.56	—	—	8.00	2.60	
50/74	✓	2	10-20	Al Norte del Tanque de los Caballos		34.10	30.22	35.68	MIGAJON ARCILLOSO	M	3.58	52.68	1.54	2.65	R	18.10	10 YR 6/2 Gris cafésaco claro	10 YR 4/2 Café grisáceo obscuro	3.84	—	—	7.95	2.10	
31/74	✓	3	20-30	✓	✓	26.10	32.50	41.40	ARCILLA	P	5.45	50.68	1.64	2.82	M	14.08	10 YR 6/2 Café grisáceo claro	10 YR 4/2 Café grisáceo obscuro	3.72	—	—	8.00	2.50	
32/74	✓	4	30-50	✓	✓	28.10	30.72	44.8	ARCILLA	P	5.33	51.68	1.29	2.22	M	14.00	10 YR 6/1 Gris	10 YR 5/2 Café grisáceo	2.88	—	—	7.80	2.30	
33/74	✓	5	50-80	✓	✓	23.52	32.72	43.76	ARCILLA	P	5.42	54.76	1.86	3.21	R	12.05	10 YR 6/1 Gris	10 YR 4/1 Gris obscura	2.04	—	—	8.00	2.50	
36/74	✓	6	80-100	✓	✓	23.52	30.72	45.76	ARCILLA	P	4.90	51.24	1.82	3.13	R	10.80	10 YR 5/1 Gris	10 YR 4/1 Gris obscura	1.76	0.16	—	8.00	2.20	
37/74	✓	7	100-120	✓	✓	21.52	30.72	47.76	ARCILLA	P	4.60	51.18	2.06	3.55	R	9.30	10 YR 5/1 Gris	10 YR 3/1 Gris muy obscuro	1.88	—	—	8.15	0.00	
21/74	IX	1	0-20	Estación Ventura	1860	32.80	26.72	40.48	ARCILLA	P	2.90	56.34	1.43	2.46	M	1.40	2.5 YR 3/4 Café rojo obscuro	2.5 YR 2/4 Café rojo obscuro	6.32	2.24	2.20	6.45	3.50	
22/74	✓	2	20-40	✓	✓	22.80	30.08	42	ARCILLA	P	4.18	54.56	0.88	1.53	P	1.60	5 YR 4/4 Café rojo or	5 YR 3/3 Café rojo	4.88	1.92	1.16	7.40	3.50	
23/74	✓	3	40-50	✓	✓	42.80	38.56	18.84	FRANCO	M	3.33	55.32	0.081	0.14	P	1.70	5 YR 6/6 Amarillo Rojo	5 YR 4/6 Rojo amarillento	5.20	1.72	1.48	7.25	3.20	
34/74	✓			ROCA Basáltica	✓	✓					0.98	38.30	0.27	0.46	P				4.28	1.48	1.12		6.80	
24/74	X	1	0-20	✓	✓	32.80	30.58	36.62	MIGAJON ARCILLOSO	M	3.45	59.64	2.93	5.03	R	1.80	10 YR 3/2 Café grisáceo obscuro	10 YR 3/1 Gris muy obscuro	3.88	1.20	0.24	6.85	2.20	
25/74	✓	2	20-50	✓	✓	26.88	30.64	42.48	ARCILLA	P	4.22	59.14	1.93	3.32	R	1.75	10 YR 4/1 Gris obscura	10 YR 3/1 Gris muy obscuro	4.40	0.68	1.80	7.15	2.40	
26/74	XI	1	0-20	✓	✓	58.88	25.64	34.48	MIGAJON ARCILLOSO	M	4.05	49.37	3.19	5.50	R	15.75	10 YR 4/1 Gris obscura	10 YR 3/1 Gris muy obscuro	2.00	—	0.17	7.90	1.60	
35/74	XII	1	0-20	✓	✓	63.52	20.72	15.76	MIGAJON ARENOSO	L	1.61	33.56	5.15	8.88	R	19.73	10 YR 6/2 Gris cafésaco claro	10 YR 5/3 Café	1.04	—	—	8.40	5.50	
37-B	✓			ROCA CALIZA	✓	✓					0.04	0.00	0.015	0.067	P	99.89								0.00

CLAVE DE INTERPRETACION TEXTURAL

L = Ligero
M = Medio
P = Pesado

MATERIA ORGANICA

R = Rico
M = Medio
P = Pobre

TABLA No. 1

DISCUSION DE RESULTADOS

Una observación de los datos contenidos en la tabla No. 1, nos conduce a establecer que el material por investigar lo constituye, un perfil de suelo derivado de roca ígnea efusiva (basalto) el cual se identifica con el número IV, y otro perfil derivado de roca sedimentaria (caliza) que incluye un horizonte y se encuentra marcado con el número VII, además de estos suelos estudiados, se tomaron muestras de 3 suelos superficiales de un horizonte, cuyas profundidades varían de 0 a 30 cms. P-I, P-II, -- P-VI, así se encuentran marcados en la tabla mencionada, un suelo con 2 horizontes que corresponden al perfil No. V y un suelo aluvial profundo en el que se identificaron 7 horizontes a una profundidad máxima de 120 cm. y corresponden al perfil número III, todos estos se encuentran localizados en el plano correspondiente a la zona de muestreo.

Discusión individual del perfil derivado de caliza P-VII.-

Este perfil de suelo corresponde al obtenido al SW de Estación Ventura y pertenece a un suelo superficial ya que únicamente se definió un espesor de 20 cm. de profundidad y después de esto se encontró la roca caliza. En esta zona la topografía se encuentra moderadamente accidentada y el complejo geológico se presenta diversificado alternando los materiales ígneos con los sedimentarios por lo que fue necesario obtener la muestra de este suelo en un sitio donde la roca estuviera superficial.

La determinación de texturas nos reporta un alto contenido de arenas lo cual concuerda con los bajos contenidos de cobre para este perfil. El dato para humedad fue 1.61 % considerado como el más bajo en todos estos suelos, esto se atribuye al bajo contenido de arcilla y al alto contenido de arenas. La deficiencia de cobre se atribuye por lo tanto a la naturaleza arenosa de este suelo. SiO₂ la acción de los silicatos resistentes a los ácidos nos reporta un bajo contenido de cobre, o sea que los silicatos presentes son de naturaleza arenosa y el bajo contenido de cobre

en este suelo se correlaciona al alto contenido de arenas silicosas pobres en cobre. Carbono orgánico 8.86 fue el porcentaje para este suelo - lo cual nos da una idea de que el mayor contenido de cobre se encuentra-- complejado con la materia orgánica. CaCO_3 19.73 reporta este suelo y los - bajos resultados para cobre se pueden atribuir a la neutralización de las - soluciones ácidas empleadas por este alto contenido de carbonatos. La de-- terminación de color fué necesario hacerla en estado seco y a saturación - la razón para efectuarla de dos maneras fue la siguiente; el color es una- propiedad física intensiva es decir es independiente de la cantidad de la-- materia, lo único que varía al humedecer el suelo es la tonalidad en este - sentido se observa en forma notoria el cambio de gris cafésaceo claro a ca- fé. El color gris se atribuye al alto contenido de materia orgánica, el ca- fé a los minerales de hierro y el alto contenido de carbonato le da a este- suelo la tonalidad clara. Al humedecer el suelo cambia a café lo cual nos - da una idea de su contenido apreciable de hierro, por lo tanto los conte-- nidos de cobre en este suelo se atribuyen a los contenidos de hierro que lo contiene como traza y los contenidos de carbonatos influyen para neutrali- zer las soluciones ácidas empleadas y los contenidos de materia orgánica -- se consideran como un acomplejante del cobre. pH 8.40, básico, se encuentra en la zona en que la actividad de los iones hidrógeno es reducida y por lo- tanto el aporte de ión cobre a la solución del suelo es bajo y la cantidad- de cobre extraída de 1.04 ppm se correlaciona al pH alto. Fe_2O_3 ésta es la- única fuente para el aporte de cobre 5.50 % de hierro nos aporta 1.04 ppm - de cobre. En los datos para cobre se presenta un hecho notorio al observar- que el cobre extraído con HClO_4 y HCl es prácticamente nulo puesto que no -- se detecta en cantidades determinables por éste método, ésta situación se -- justifica y se considera que éste suelo contiene mucha materia orgánica y - gran proporción de carbonatos lo que ocasiona que se formen complejos inso- lubles del cobre con la materia orgánica y posible oclusión en la superficie del carbonato de calcio, por otra parte si se correlaciona la concentración de los ácidos minerales empleados para esta determinación, con la cantidad - de CaCO_3 del suelo se concluye que todo el ácido es neutralizado dando por -

resultado que el cobre presente en el suelo no sea extraído. Lo lógico -- aquí sería aumentar la concentración del HCl y HClO_4 , pero esto nos conduciría a extraer cantidades de cobre no aprovechables. Con estos criterios quedan apoyadas las cifras nulas extraídas con HCl y HClO_4 . Por otra parte con el HNO_3 empleado se extrajo una cantidad que corresponde a 1.04 ppm -- considerada como baja desde el punto de vista agrícola lo cual concuerda -- con la naturaleza del suelo derivado de caliza.

Discusión e interpretación de los resultados de suelo en relación a la roca caliza de que proviene.

Con objeto de establecer la confirmación de la hipótesis de trabajo en relación al cobre extraído se procedió a efectuar análisis de roca caliza para ubicar la secuencia de fenómenos que pudieran influir en la incorporación del cobre de la roca al suelo y en el caso de que no contenga -- cobre como en este caso establecer las fuentes probables del que está presente.

Como es de esperarse la cifra para humedad es menor en la roca -- que en el suelo, esto está de acuerdo con el grado de porosidad y compactación de uno y otro. En lo que respecta a la sílice en el suelo es 33.56 % y en la roca 0.00 % esto conduce a considerar que es una caliza pura y no -- presenta contenido insoluble. Los contenidos de materia orgánica difieren -- notablemente entre la roca y el suelo esto es lógico ya que el suelo presenta acumulaciones de residuos orgánicos y en la roca su mínima cantidad se -- atribuye a que en su proceso formativo haya atrapado materiales de tipo orgánico. El contenido de CaCO_3 es una confirmación de la pureza de esta roca -- caliza. Ya que la roca no presenta contenidos de cobre la presencia de éste microelemento en el suelo se atribuye como una incorporación y la fuente -- probable de cobre son los contenidos de hierro.

Discusión individual del perfil IV derivado de basalto.

De los datos para textura tenemos un predominio de las partículas finas en los dos primeros horizontes y una diferencia marcada para el tercer horizonte ya que en éste las arenas tienden a acumularse, esto se justifica ya que este horizonte incluye fragmentos de roca sin intemperizar, el dato bajo para el contenido de arcillas en el tercer horizonte se justifica porque es la parte donde hay menos interacción física y química lo que resulta que haya pocos productos transformados. De los datos para cobre se infiere que de acuerdo con la textura de este perfil la incorporación del microelemento en el tercer horizonte es mayor que en el segundo considerando que el cobre proviene de la roca; el horizonte medio se puede considerar de transición y el mayor contenido de cobre es para el primero. Los datos para humedad correlacionan con el contenido de arcilla y el bajo contenido para el primer horizonte se atribuye a los fenómenos de desecación y temperaturas elevadas a que está expuesta la parte superior del perfil. Estos efectos térmicos que ocasionan variaciones en la humedad del suelo influyen en forma directa en el contenido de cobre del perfil ya que siendo una proporción mínima en forma aprovechable para la planta la solubilización de cobre se ve afectada tanto por el régimen térmico del perfil como el grado de humedad. En la determinación de SiO_2 observamos una uniformidad en las cifras encontradas para los tres horizontes, esto concuerda con el tipo de roca ígnea de que provienen, para las cantidades de cobre presentes en este perfil se pueden atribuir en gran parte a la presencia de silicatos provenientes de feldespatos que contienen al cobre como traza. Los resultados para materia orgánica indican niveles clasificados como pobres en los horizontes inferiores y medio en el suelo superficial esto nos lleva a considerar que el acomplejamiento del cobre con la materia orgánica es mínimo. Los porcentajes obtenidos para CaCO_3 correspondientes a este perfil son los más bajos cuanteados, estos resultados están de acuerdo con la naturaleza de la roca. En el color en estado seco y húmedo tenemos una concordancia de los colores cafés encontrados en los dos -

horizontes superficiales con el tipo de roca basáltica, ya que es de esperarse que los compuestos de hierro provenientes de la roca impartan el color café a estos horizontes. Los colores amarillo y rojo localizados en el horizonte adyacente a la roca pueden atribuirse a las formas hidratadas del hierro y a los óxidos presentes los cuales contribuyen en forma significativa a los contenidos de cobre. De los datos para Fe_2O_3 concuerda con lo dicho en la determinación para color. pH en éste perfil es notorio una mayor extracción para cobre a pH mas bajo que es en el que la movilización de los compuestos solubles es mayor. En los resultados obtenidos para cobre empleando diferentes soluciones extractivas se tiene que éste perfil IV proveniente de basalto es un suelo en el cual funcionaron todas las soluciones ensayadas -- lo que se atribuye principalmente a que la proporción de cobre que contiene sea alta en relación a los demás suelos estudiados. Cobre extraído con ácido nítrico, la distribución de cobre cuanteadó en el perfil nos indica dos zonas de acumulación definidas la primera en el horizonte superficial de 20 cms. en donde se tiene una concentración de 6.32 ppm que corresponde al máximo nivel extraído y la segunda a una profundidad de 50 cm. con 5.20 ppm, en el horizonte restante se tiene 4.88 ppm a los 40 cm. Estas zonas de variación inducen a establecer que el cobre se encuentra irregularmente distribuido en el suelo y que las dos zonas de acumulación definidas corresponden a los pH mas bajos del perfil. Extracción con HCl, se observa que los resultados para cobre con esta solución extractiva sigue una distribución uniforme a través de este perfil de suelos y estos resultados van decreciendo también uniformemente con la materia orgánica lo cual esboza que el cobre extraído en este caso incluye algunas de las formas asociadas con la materia orgánica del suelo, debido a ésto la proporción de cobre extraído es notoriamente menor que la cantidad extraída con el reactivo anterior, es posible también que los porcentajes de arcilla influyan cuando menos en parte en el cobre extraído -- ya que en los dos horizontes superficiales se tiene mayor contenido de cobre y mayor contenido de arcilla, el efecto de pH también se hace sentir en este caso puesto que la mayor extracción de cobre coincide con el pH 5.45. Cobre extraído con $HClO_4$ las cifras expresadas en ppm muestran una constancia semejante a la que se observó cuando se extrajo cobre con ácido nítrico es decir

una zona de acumulación en el suelo superficial y otra en el tercer horizonte, mientras que la menor cantidad corresponde al horizonte intermedio con 1.16 ppm, el pH tiende a ser factor determinante en el contenido del cobre aprovechable por las plantas y la menor proporción extraída en este caso puede atribuirse principalmente a las formas de este elemento que se encuentran asociadas con la materia orgánica y que son poco solubles.

De las consideraciones anteriores es posible concluir que la solución extractiva que mas se parece a la solución del suelo es el ácido nítrico debido principalmente a que se correlaciona con el pH del suelo y la textura, así mismo el ácido nítrico funciona en los suelos tanto de origen ígneo como de origen sedimentario y también para los suelos que tienen bajo contenido de cobre y aquellos que están bien proporcionados.

Discusión e interpretación de los resultados de suelo en relación a la roca basáltica de que proviene.

Con objeto de establecer el grado de alteración de las rocas y la influencia que ésta ha tenido sobre el desarrollo del suelo así como la inclusión de materiales de acarreo en el perfil y que proviene de fuentes distintas a la roca y que representan aportes de cobre se presentan algunos resultados de análisis practicados en la roca ígnea con objeto de presentar un examen comparativo de resultados de suelo y roca: De la misma tabla 1 se tiene que el porcentaje de humedad en la roca es de 0.98 % y en el suelo varía de 2.90 a 4.18 % esta diferencia se debe a que la roca presenta un estado de consolidación muy acentuada. De los datos para SiO_2 la cifra en la roca es de 38.36 % contenido inferior a la del suelo que es 55 % en promedio eso indica que el basalto se encuentra asociado con la escoria volcánica la cual incluye minerales secundarios en gran proporción. El 0.46% de M.O. encontrado en la roca indica un contenido moderado de restos orgánicos que se relacionan con las "joyas" y xalapascos

(Cabrera y Octaviano) características de la zona. Como es de esperar - en la roca ígnea no contiene carbonato de calcio y en lo que toca a la extracción de cobre con las tres soluciones ensayadas se tiene que la mejor solución al igual que en el suelo fue el HNO_3 . En conclusión las cantidades extraídas en la roca fueron inferiores a las extraídas del suelo, esto coincide con el hecho de que se extrae únicamente el cobre que es aprovechado por las plantas y por lo tanto las formas más solubles se encuentran en el suelo y no en la roca. Finalmente se tiene un 6.80 % de fierro en la roca y en el suelo las cifras no sobrepasan al 3.5 %, esto confirma que la mayor parte de los compuestos de hierro -- provienen de la roca ígnea más que de material acarreado e incorporado al suelo.

Discusión e interpretación de resultados analíticos obtenidos - para los perfiles de suelos complementarios.

La discusión de los perfiles de suelo complementarios se realizó agrupándolos de acuerdo con el número de horizontes, que contiene y en esta forma se obtuvieron 3 grupos de perfiles distintos que son:

- a).- Suelos superficiales con un horizonte, estos corresponden a los mercados como P-I, P-II y P-VI.
- b).- Suelos que están constituidos por 2 horizontes, en este -- grupo únicamente se incluye el perfil No. V, que consta -- del suelo cuyo espesor es de 20 cm. y el subsuelo de 30 cm.
- c).- Perfil No. III, considerado como profundo y que consta de - 7 horizontes y cuya profundidad es de 120 cm.

Interpretación y discusión de los suelos superficiales obtenidos en las localidades de Tanque de Los Caballos y Estación Ventura correspondiente al primer grupo, permiten establecer que estos suelos son delgados ya que la profundidad varía de 0 a 15 y de 0 a 30 cm., los conte-

nidos de fracciones se encuentran diversificados, lo que da por resultado variaciones de significación en la textura, esto se interpreta -- como una consecuencia de la diversificación del complejo geológico de la zona ya que mientras el material basal lo constituye complejos aluviales asociados con material calizo y material ígneo pudiendo atribuir a este grupo de perfiles una situación transicional entre las que provienen de un origen definido y que equivalen a los numerados en primer término en este capítulo, un hecho notorio lo constituye los contenidos mayores del 5.00 % de materia orgánica, esto indica que los contenidos de cobre se encuentran asociados a complejos orgánicos y por lo tanto -- en proporciones muy bajas en lo que toca a la parte aprovechable por -- las plantas, esto se confirma con el hecho de que las cantidades de cobre detectado con ácido nítrico varían de 1.24 a 3.80 ppm mientras que -- las extraídas con ácido clorhídrico no alcanzaron el límite de detección para este elemento, y de los resultados obtenidos con el extractivo ácido perclórico, únicamente en el perfil VI, se obtuvo detección para cobre y fue de 0.17 ppm. este dato concuerda con el menor contenido -- de materia orgánica para éste suelo.

Los resultados para sílice indican cifras entre 34.74 y 51.20 % mientras que para carbonato de calcio la cifra va de 10.80 a 17.95 % -- esta situación la apoya lo diversificado del complejo geológico ya que el aluvión contiene parte de basalto y parte de caliza que son materiales que al intemperizarse aportan al suelo estos minerales.

Los colores grises y cafés encontrados en estos suelos se deben en parte al basalto y al calcio asociado en la fracción arcillosa. De los pH cabe mencionar que se encuentran dentro del rango de basicidad ya que sus valores se ubican entre 7.90 y 8.10, límites entre los cuales empiezan a presentarse carencias de cobre. En lo que respecta -- al hierro cuantificado se observa una correlación entre éste constituyen-

te y los contenidos de arenas, de modo que a los mayores contenidos de arena corresponden los mayores contenidos de hierro lo que se interpreta como una contribución del material ígneo en el aporte de Fe_2O_3 .

Discusión individual del perfil V constituido por dos horizontes.

Este se obtuvo en la localidad de estación Ventura y la roca de que proviene es un basalto. Un exámen comparativo de los datos para textura muestran una acumulación de arcilla en el subsuelo, mientras que la fracción arenosa viene a acumularse en la superficie, esto se interpreta como una movilización del material fino hacia el interior del perfil situación que influye directamente en el contenido de cobre extraído con ácido nítrico, por otra parte los resultados para humedad están de acuerdo con la proporción de arcilla. Los porcentajes para SiO_2 concuerdan con la roca ya que se tiene 59.64 y 59.14 % para el suelo y subsuelo respectivamente mientras que el carbonato de calcio apenas alcanza 1.80 y 1.75 % para los dos horizontes. La materia orgánica abunda en la superficie y decrece en el subsuelo estando de acuerdo con el contenido de cobre extraído con ácido nítrico o sea menor contenido de cobre a mayor contenido de materia orgánica; de los resultados para el cobre empleando las tres soluciones extractivas en este perfil fue posible detectar cobre con las tres soluciones empleadas. Como hecho notorio cabe remarcar que únicamente en los suelos derivados de basalto fué posible detectar cobre con los tres extractivos, esto confirma que la mayor proporción de este micronutriente se encuentra en este tipo de suelo.

Discusión individual del perfil No. III constituido por siete horizontes.

Finalmente se presenta una interpretación de los resultados obtenidos para un perfil de suelo de características aluviales muestreado en la localidad del Tanque de los Caballos y que se encuentra en una depresión que ha sido rellenada con material de acarreo de las partes elevadas y estabilizada con procesos de sedimentación fluviolacustres en épocas geológicas pasadas. La correlación de este perfil con el contenido de cobre interesa desde el punto de vista de la naturaleza -- arcillosa que presenta después de los 30 cm. y también por la acumulación de sílice que presenta el perfil, por otra parte el CaCO_3 muestra porcentajes que varían del 9.30 al 18.51 % correspondiendo la mayor proporción a la superficie. Únicamente fue posible obtener datos para el cobre con el extractivo HNO_3 variando las concentraciones a través del perfil, se nota que las mayores proporciones de cobre corresponden a -- los horizontes superiores. Es significativa la correlación del cobre con el pH de modo que a pH bajo corresponden mayores cantidades de cobre. El dato para cobre de 0.16 ppm reportado con HCl concuerda en el 6o. horizonte con el menor contenido de materia orgánica y un poco menor contenido de CaCO_3 . Los altos contenidos de CaCO_3 para este perfil influyen en los bajos contenidos de cobre aprovechables.

CONCLUSIONES

De acuerdo con la discusión e interpretación de los resultados obtenidos en el presente trabajo, se ha llegado a las siguientes --- conclusiones:

- a).- Las fuentes de cobre del suelo agrícola provienen de las rocas ígneas mientras que las rocas sedimentarias no aportan proporciones de significación de este oligoelemento.
- b).- De los suelos estudiados se concluye que los que provienen de basalto tienen mayores proporciones de cobre que los --- que provienen de caliza. Los contenidos de cobre son de --- 1.04 ppm en el suelo derivado de roca sedimentaria y en el basalto varían de 4.88 a 6.32 ppm.
- c).- Un hecho definido se observa en los resultados para cobre de los suelos provenientes de basalto en el sentido de que únicamente en estos casos las tres soluciones extractivas --- a base de ácido nítrico, clorhídrico y perclórico detectaron concentraciones apreciables de este elemento.
- d).- En los suelos de origen calizo únicamente funcionó la so--- lución extractiva a base de ácido nítrico el cual se consi--- dera como la mejor solución para suelos de distinto origen. Las soluciones de ácido clorhídrico y perclórico no detectaron concentraciones de cobre debido principalmente al ba--- jo contenido de este elemento en suelos calizos y también --- debido a la gran proporción de carbonatos que contienen es--- tos suelos y los cuales neutralizan las soluciones ácidas --- empleadas.

- e).- De los datos obtenidos en las determinaciones de correlación se confirma que la presencia del cobre disponible para las plantas está limitada por los contenidos de materia orgánica, pH, textura del suelo y carbonatos totales.
- f).- Los compuestos de hierro se confirman como una fuente de cobre al igual que la presencia de arcillas.

RESUMEN

Se presenta un estudio acerca del contenido de cobre aprovechable para los cultivos en dos suelos de distinto origen, uno que proviene de caliza y otro de basalto, así como las distintas fuentes de cobre en el suelo por otra parte se nombran los efectos de las reacciones de intemperización que dan por resultado que una parte del cobre total del suelo sea asimilable para los cultivos. Así mismo se presentan resultados de análisis -- para arenas, limo, y arcillas y las clasificaciones texturales correspondientes, también se obtuvieron cifras para humedad calculada a una temperatura entre 100 y 110°, porcentajes para SiO₂, carbono orgánico y a partir de éste se reportan cantidades para M.O., se incluyen resultados para carbonatos totales expresados como CaCO₃ equivalente y se determinó color de acuerdo con el sistema Munsell expresando la clave y la interpretación de la misma para suelo seco y suelo saturado con agua, también se presentan cifras para pH obtenido en relación suelo-agua 1 a 2.5 y porcentajes de Fe₂O₃ y cobre extraído con tres soluciones ácidas.

Por otra parte se proporcionan resultados de análisis para caliza y basalto correspondientes a las siguientes determinaciones: humedad sílice, carbono orgánico, cobre, hierro y carbonatos totales. De los resultados obtenidos se establece que la mejor solución extractiva para cobre de las tres ensayadas es la solución a base de ácido nítrico ya que funcionó -- en todos los suelos mientras que las dos soluciones restantes solo dieron -- resultados en los suelos derivados de basalto lo que se interpreta en función de la naturaleza de los suelos estudiados y su pH, el cual se considera como factor decisivo en el aprovechamiento del cobre; así mismo la materia orgánica y los contenidos de carbonato presentes en el suelo influyen -- cuando menos en parte para disminuir la proporción del micro-nutriente estudiado.

BIBLIOGRAFÍA

- COREY, R.B. Química de elementos menores; Curso semestral. Chapingo, --
Colegio de Postgraduados, 1964. 14 Ch. (mimeografiado).
- GAVANDE, SAMPAT, A. Física de suelos México, Limusa-Wiley, 1973 -----
33-46 pp
- GRANDE L. RAUL. Métodos para análisis físicos y químicos en suelos a --
grícolas Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de In-
vestigación de Zonas Desérticas 74 p, 1974.
- IGNATIEFF, VLADIMIR Síntomas de deficiencias nutritivas El uso eficaz
de los fertilizantes No. 9, 20-26 pp, 1952.
- JACKSON, M.L. Análisis químico de suelos Trad. Beltran M.J. Barcelo-
na, Omega, 1964 662 p
- MACIAS V. MARIO La edafología o ciencia del suelo Boletín de la Socie-
dad Mexicana de Geografía y Estadística 196 p, 1951
- MUNSELL, COLOR, CO Munsell soil color charts. Baltimore 18, Maryland,
U.S.A., Ed. M.C. Co. Inc., 1954.
- OROZCO, D. FERNANDO Análisis químico cuantitativo 5a. ed. México, Po-
rrua, 1967 128-131 pp
- ORTIZ, VILLANUEVA, B. Edafología Chapingo, México, Patena, 193 291 p
- VIDAL, CLAUDIO Elementos secundarios y microelementos Boletín de gua-
nos y fertilizantes No. 21, año IV, 19p, 1959
- VIDAL, CLAUDIO Elementos secundarios y microelementos Boletín de gua-
nos y fertilizantes No. 14, año II, 14-25pp, 1958.

Esta Tesis se imprimió en Noviembre de 1975 en los
Talleres de Impresos Offsali-G, S.A., con Oficinas en
Av. de los Poetas No. 340 (Frente a la Ciudad Univer-
sitaria), Tel. 3-04-22 San Luis Potosi S. L. P