

Geoquímica ambiental del mapa básico Aguas Zarcas, Costa Rica

por

Rolando Castillo Muñoz*

(Recibido para su publicación el 22 de marzo de 1978)

Abstract: 117 soil samples, collected at depths of 0.0-0.25 m (surface horizon) and 1.0-0.05 m (deep horizon), on the Aguas Zarcas quadrangle, scale 1:50,000, and 44 samples derived from 8 soil profiles, were analyzed for variables: pH, P, K, Ca, Zn, Cu, Mn, Fe, Mg and Al. The analytical data were processed in an IBM 360/40 computer at the Centro de Informática, Universidad de Costa Rica.

A direct relationship was found between the K, Ca, P, Mg and Cu pedochemical patterns of the surface horizon and slightly to none regarding pH, Al, Mn, Zn and Fe. Relationship between horizons as well as between elements was found **only** in connection with the Ca and Mg patterns.

Ca, P, Mg, Cu, Zn and Mn show low pedochemical patterns or lower in concentration than the corresponding critical levels, which should be studied in detail because of possible agronomical deficiencies. The concentration of the Al, mostly lower than the "optimum level" (< 0.3 meq) suggests a relatively low toxicity incidence in the vegetation. Soils developed on the Aguacate and Buenavista formations tend to show a gradual decrease in depth in K, Fe, Mg, Cu, Zn and Mn. The pH and the remaining elements: Ca, P, Mg and Al, show a rather irregular behavior. P, Ca, Mg, K, Fe and Mn, tend to display a generally higher concentration in soils originated on the Buenavista Formation, in contrast with the Aguacate Formation, which conversely tend to show a higher content of Cu and Zn.

The tendency of part of the studied elements to concentrate in the surface horizon is evident and is apparently the inverse of the general behavior of the chemical elements in tropical latosols, possibly due to the intense influence of chemical weathering on the minerals constituting the soils that simultaneously impoverish these and enrich the solution.

Estudios de geoquímica ambiental de relativa alta densidad de muestreo, como el que aquí se presenta, de una muestra cada 4 km^2 , no han sido efectuados en Costa Rica. Solamente se ha llevado a cabo uno similar a una menor densidad (1 muestra cada 25 km^2), en la Península de Nicoya (Castillo-Muñoz, 1977).

Otro estudio parecido al presente fue llevado a cabo por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U. S. Geological Survey, 1969, 1970, 1971, 1972) en el estado de Missouri, con base en el muestreo de suelos, rocas, aguas y vegetación. En esta ocasión el muestreo de suelos, que es lo que más se asemeja a lo hecho en Costa

* Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.

Rica, fue a una densidad muy baja, de una muestra cada 350 km². Los datos analíticos utilizados en Missouri se refieren al contenido total de los elementos en los diversos materiales analizados, en contraste con el método de extracción parcial que se empleó en Costa Rica.

En este estudio se informa sobre la distribución en superficie (horizonte 0,0-0,25 m) y en profundidad (horizonte 1,0±0,05 m) de las variables: pH, P, K, Ca, Zn, Cu, Mn, Fe, Mg y Al, con base en 117 muestras de suelo colectadas sobre una área de aproximadamente 500 km², comprendida por el mapa básico Aguas Zarcas (Fig. 1), a una densidad de una muestra cada 4 km².

Los resultados obtenidos del presente estudio servirán: 1) para distinguir áreas con mayor o menor incidencia de enfermedades en plantas y animales y su relación con el contenido edafológico de los suelos; 2) para mejorar las prácticas de fertilización en aquellas áreas con excesos o deficiencias de nutrimentos; y 3) para aportar información que puede ser utilizada por los levantamientos de uso potencial de la tierra que en el futuro se realicen en el área estudiada.

MATERIAL Y METODOS

Geología: De acuerdo con Malavassi y Madrigal (1970) el área estudiada está constituida por dos unidades geológicas: la Formación Aguacate del Terciario Superior y la Formación Buenavista del Cuaternario (Fig. 2). La Formación Aguacate es de basaltos y aglomerados basálticos distribuidos en forma heterogénea y la de Buenavista está constituida por lahares finos compuestos por piezas de toba, basalto y andesita, de diversos tamaños, distribuidos en forma heterogénea en una matriz de arcillas a arenas de carácter tobáceo (Malavassi y Madrigal, 1970).

Fisiografía: El área está constituida por dos unidades topográficas: una formada por montañas y colinas desarrolladas sobre rocas de la Formación Aguacate, y otra por llanuras planas a ligeramente onduladas en concordancia principalmente con los lahares finos de la Formación Buenavista.

La unidad abrupta, localizada en la mitad sur del área, se caracteriza por un relieve montañoso, de más de 1.000 m de elevación, y de colinas bajas de contornos suaves y cimas relativamente planas en partes. La unidad plana a relativamente ondulada cubre en general la parte septentrional del área estudiada, con elevaciones que en general oscilan entre 60 a 300 m. En algunas partes aisladas, comprendidas por este relieve se levantan algunas pequeñas colinas de hasta aproximadamente 300 m de altura, generalmente constituidas por rocas de la Formación Aguacate.

Suelos: Los suelos desarrollados sobre el relieve más prominente son principalmente del grupo de los latosoles, de color pardo rojizo a amarillento, areno-arcillosos y bien drenados. Sobre la topografía plana, se han desarrollado localmente latosoles como los anteriores y planosoles, arcillosos, de color gris parduzco a pardo grisáceo, mal drenados.

Clima: El área está influenciada por un clima tropical lluvioso (AFW') en la parte norte y por un clima templado húmedo (Cfa) en la porción sur (AID Resources Inventory Center, 1965). La precipitación promedio mensual, según el

Cuadro 1, muestra un valor de mínima precipitación en marzo y uno de máxima en diciembre, evidenciando un período menos lluvioso desde enero a abril.

La temperatura promedio mensual en las partes bajas corresponde a los datos aportados por la estación de Quebrada Azul y en las partes más altas podría ser comparable con los datos de la estación de Ciudad Quesada. La temperatura mínima en las partes bajas y en las altas se registra en diciembre y la máxima en marzo en las partes bajas y en mayo en las altas.

Muestreo y preparación de las muestras: Se llevó a cabo un muestreo de suelos a una densidad de una muestra por cada 4 km^2 (100-200 g por muestra) sobre las principales unidades geológicas del área, la Formación Aguacate y la Formación Buenavista. Se colectaron 117 muestras tomadas, una en la zona del perfil de suelo comprendida entre 0,0-0,25 y otra a $1,00 \pm 0,05 \text{ m}$ de profundidad. El muestreo fue llevado a cabo en los perfiles de suelo expuestos en los cortes de caminos.

También se muestrearon 8 perfiles de suelo, distribuidos en diferentes partes del área, 4 en suelos derivados de la Formación Aguacate y 4 sobre la Formación Buenavista. En cada perfil se colectaron muestras a intervalos de 0,25 m de profundidad. La profundidad de cada perfil fue definida por el tamaño del corte de suelo expuesto en el camino.

Las muestras provenientes del campo fueron secadas en un horno a una temperatura de 80-100 C y luego trituradas en un mortero de alúmina. Posteriormente se obtuvo la fracción -80 malla para el análisis químico. En la recolección y almacenaje de las muestras se emplearon bolsas plásticas.

Técnicas analíticas: El análisis químico de las muestras fue hecho por el Laboratorio de Suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y se emplearon dos métodos de extracción desarrollados por la Universidad de Carolina del Norte.

Los métodos empleados utilizaron un volumen de 2,5 ml de muestra de suelos y 35 ml de solución extractora y sirvieron para realizar las determinaciones de P, K, Ca, Cu, Mn, Fe, Mg y Al (R. Amerling, comunicación personal).

En la determinación de P, K, Fe, Cu, Zn y Mn se empleó la solución Olsen modificada (NHCO_3 0.5 N, EDTA 0.01 N y Superfloc como Floculante; R. Amerling, comunicación personal) ajustada a un pH 8,5 con NaOH. El tiempo de extracción fue de 15 minutos, incluyendo 5 minutos de agitación sin calentamiento. En la determinación de Ca, Mg, y Al se usó una extracción con KCl 1 N por 15 minutos, incluyendo 5 minutos de agitación sin calentamiento.

La determinación de los elementos Fe, Cu, Zn, Mn, Ca y Mg fue efectuada por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer 203. La determinación de K fue hecha en el mismo aparato por emisión. El P se determinó por colorimetría empleando el método del molibdato de amonio NaOH 0.01 N y fenolftaleína como indicador. El pH se determinó con un medidor de pH utilizando una solución suelo-agua en proporción 1:2,5, respectivamente.

Procesamiento de los datos: Los datos analíticos fueron procesados por medio del sistema G-EXEC adaptado por el Instituto de Ciencias Geológicas (IGS) de la Gran Bretaña a la computadora 360/40 del Centro de Informática de la Universidad de Costa Rica.

Se empleó el programa GLPMAP (Institute of Geological Sciences [IGS], 1974) para obtener mapas objetivos e interpretativos. Se aplicaron: la opción para

CUADRO 1

*Precipitación promedio mensual y total anual en milímetros**

| Estación | Meses | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | TOTAL |
| La Marina Lat. 10° 22' N Long. 48° 23' W | 251,9 | 201,3 | 120,5 | 137,4 | 361,5 | 450,7 | 459,8 | 413,3 | 397,3 | 448,7 | 430,1 | 463,8 | 4136,3 |

(*) Datos del boletín del Instituto Meteorológico Nacional, período 1940-1973

CUADRO 2

*Temperatura promedio mensual y anual en grados centígrados**

| Estación | Meses | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | TOTAL |
| Quebrada Azul Lat. 10° 28' N Long. 84° 24' W Elev. 83 m | 25,4 | 25,6 | 26,5 | 27,1 | 27,4 | 26,6 | 26,2 | 26,3 | 26,5 | 26,4 | 25,6 | 24,9 | 26,2 |
| Rural Metodista Ciudad Quesada Lat. 10° 21' N Long. 84° 24' W Elev. 600 m | 21,5 | 21,5 | 22,7 | 23,3 | 23,6 | 23,1 | 22,7 | 22,7 | 22,9 | 22,7 | 22,3 | 21,2 | 22,5 |

(*) Datos del boletín del Instituto Meteorológico Nacional, período 1971-1975.

la obtención del graficado de los datos originales dentro de determinados ámbitos de clase y la de "suavizamiento" estadístico de los datos por medio del método de la "media-móvil pesada" con el propósito de disminuir la variabilidad de éstos. El cálculo de los parámetros estadísticos: media, desviación estándar y ámbito se efectuó empleando el programa GSTAT 3 (IGS, 1974).

RESULTADOS Y DISCUSION

Distribución superficial de los elementos: Las figuras 3-12 muestran los resultados relativos a los horizontes de suelo: 0,0-0,25 m, superficial y 1,0±0,05 m, profundo.

El pH en el horizonte superficial exhibe una tendencia al aumento hacia el noroeste y una disminución hacia el norte y sur del área (Fig. 3). Los valores más bajos al sur concuerdan con la topografía de montañas y colinas desarrolladas principalmente sobre rocas de la Formación Aguacate, probablemente debido a la mayor lixiviación sufrida por los suelos bien drenados del lugar. No se conocen las causas que podrían estar ocasionando los valores bajos de la porción norte y los elevados del extremo noroeste en suelos desarrollados sobre rocas de la Formación Buenavista. En el horizonte profundo, la distribución de pH es más regular, definiéndose dos patrones principales de concentración: uno de mayor acidez al oeste y parte del centro del área y uno de menor al este y norte.

El potasio (K) muestra una distribución de los patrones edafocímicos similar en ambos horizontes (Fig. 4). Considerando los dos horizontes en conjunto, se observa que el contenido de K en los suelos desarrollados sobre la Formación Aguacate, generalmente se sitúa de 0,40 meq/100 ml suelo y también en algunos suelos originados sobre la Formación Buenavista; sin embargo, sobre esta última formación se presentan los suelos que alcanzan los valores más altos de concentración, algunos superiores a 1,0 meq, como sucede al suroeste del Muelle de San Carlos en los alrededores de Pital y en las tierras aledañas a San Cayetano y Venecia, principalmente hacia el este de estos lugares.

El calcio (Ca) exhibe una distribución de los patrones edafocímicos y ámbitos de concentración prácticamente igual en ambos horizontes (Fig. 5). La menor concentración de Ca (<0,60 meq/100 ml suelo) se presenta en suelos desarrollados principalmente sobre la Formación Aguacate, que aflora en la parte sur del área, en especial en las partes de mayor elevación topográfica, mientras que la mayor concentración del elemento se localiza en suelos formados sobre los lahares de la Formación Buenavista que aflora en la porción noroeste y norte del área estudiada. En otras partes del área se definen patrones edafocímicos de menor concentración relativa, tanto en los suelos desarrollados sobre la Formación Aguacate como en la Buenavista. Se considera que la menor concentración de Ca que alcanzan los suelos en la parte sur del área se debe a la mayor proporción de lixiviación sufrida por los minerales constitutivos de éstos. Se supone que las mayores posibilidades de deficiencias del elemento se podrían presentar en los patrones con concentraciones menores de 4,48 meq/100 de suelo.

El fósforo (P) presenta patrones edafocímicos bastante concordantes en ambos horizontes (Fig. 6). Con relación al horizonte superficial, los patrones edafocímicos de menor concentración (< 4,8 µg/ml) se presentan principalmente en la mitad sur del área, en concordancia con suelos desarrollados principalmente sobre la Formación Aguacate y en menor proporción sobre la Formación Buenavista. En la mitad norte del área, donde afloran principalmente los lahares de la Formación Buenavista, se presentan algunos patrones edafocímicos de mayor

concentración, en especial en el cuarto noroeste en donde se definen patrones hasta de 20,0 $\mu\text{g/ml}$. El horizonte profundo muestra patrones que coinciden con el horizonte superficial en cuanto a la relativa menor concentración del elemento en la mitad sur y a la mayor concentración en la mitad norte del área. En general, el contenido de fósforo de los suelos del área en ambos horizontes se puede situar, desde el punto de vista agronómico, en su mayoría dentro del nivel bajo y, por lo tanto, posiblemente deficiente. Algunos suelos que cubren áreas de poca extensión muestran valores de nivel medio y cercanos al nivel alto, como sucede en el cuarto noroeste.

El hierro (Fe) exhibe una distribución de patrones edafocímicos más heterogéneos en el horizonte superficial que en el profundo (Fig. 7); no obstante, en términos generales se nota una ligera concordancia entre la distribución general de ambos patrones. Se observa en ambos horizontes la tendencia del elemento de concentrarse más en la parte central y oriental del área, sobre suelos derivados de las formaciones Aguacate y Buenavista, con pequeños patrones de relativo máximo contenido en la periferia. No se prevén problemas importantes de deficiencia del elemento en vista que la mayoría de los valores de concentración se sitúan encima del nivel crítico (10,0 $\mu\text{g/ml}$).

El magnesio (Mg) muestra una distribución de los patrones edafocímicos similar en ambos horizontes (Fig. 8). En ambos horizontes exhibe los patrones de menor concentración en correspondencia con suelos desarrollados tanto sobre la Formación Aguacate en la parte sur del área, en especial en las partes más elevadas del relieve, como sobre la Formación Buenavista. Los patrones de mayor concentración se presentan en suelos formados sobre aquella parte de la Formación

de deficiencia se presentarían en las áreas caracterizadas por patrones con concentraciones menores a 1,25-1,49 meq/100 ml.

El cobre (Cu) presenta patrones edafocímicos similares en ambos horizontes (Fig. 9). La más elevada concentración del elemento, en ambos horizontes, que se presenta en el cuarto sudoccidental del área, coincide principalmente con suelos desarrollados sobre la Formación Aguacate. Por el contrario, en la mitad oriental y cuarto noroccidental, entre los cuales sobresalen patrones relativamente de mayor contenido, como sucede en el cuarto noreste su concentración es menor; estos patrones se distribuyen principalmente en suelos desarrollados sobre la Formación Buenavista. Deficiencias del elemento podrían presentarse principalmente en los suelos del extremo sureste, en donde algunos valores del horizonte profundo son menores que el nivel crítico (1,0 $\mu\text{g/ml}$).

El zinc (Zn) en el extremo suroeste del área, exhibe patrones edafocímicos similares en ambos horizontes. En el horizonte superficial de los suelos formados sobre la Formación Buenavista, en el extremo noreste, al este de Pital, se presenta un patrón de alta concentración con un pico de 8,15-10,0 $\mu\text{g/ml}$, diferente completamente del patrón de menor concentración que exhibe el horizonte profundo por causas aún no conocidas (Fig. 10). Las mayores posibilidades de deficiencias se podrían presentar en aquellas áreas con patrones de concentración inferiores a 4,42 $\mu\text{g/ml}$.

El manganeso (Mn) presenta patrones edafocímicos que no coinciden en ambos horizontes, especialmente en la mitad occidental; en la mitad oriental, en suelos desarrollados sobre los lahares de la Formación Buenavista, se observa una ligera concordancia entre los patrones, con excepción de aquellos de máxima concentración (aprox. < 800 $\mu\text{g/ml}$) en el cuarto noroeste (Fig. 11). Las mayores posibilidades de deficiencia se presentarían principalmente a la profundidad

1,0±0,05 m, en aquellos suelos con valores < 3,0 µg/ml.

El aluminio (Al), exhibe patrones edafocímicos que en su mayoría no coinciden localmente, aunque en un ámbito regional si se observa coincidencia, pues resalta la existencia de patrones de mayor concentración en la mitad oriental y de menor en la occidental (Fig. 12). Gran parte del área de estudio está influenciada por concentraciones inferiores al nivel deseable de < 0.3 meq/100 ml de suelo.

Distribución en profundidad de los elementos: La distribución en profundidad de los elementos y el pH, se deduce de los valores mostrados en el Cuadro 3 y en los perfiles de suelo que se presentan en las figuras 13-22. Según los perfiles de suelo estudiados, se pueden establecer las siguientes observaciones:

El pH hasta 1,0 m de profundidad en los perfiles de suelos desarrollados sobre la Formación Aguacate tiende en general a mostrar una disminución en profundidad, con excepción del perfil 3, que muestra un ligero incremento abajo de 1,0 (Fig. 13). En la Formación Buenavista, hasta 1,0 m y aún más abajo de éste, los perfiles muestran valores irregulares, sin ajustarse a un patrón bien definido. La disminución en profundidad determinada en perfiles de suelo desarrollados sobre la Formación Aguacate no concuerda completamente con los valores que aparecen en el Cuadro 3. Según lo observado en este último cuadro, los contenidos de ambas formaciones y horizontes no difieren sustancialmente entre sí, aunque se nota una mayor variabilidad en los horizontes profundos.

El calcio (Ca), hasta 1,0 m de profundidad, y aún abajo de 1,0 m, en los perfiles de suelo derivados de la Formación Aguacate, exhibe una disminución de su concentración, lo cual concuerda con los valores promedio del Cuadro 3 (fig. 14). Los perfiles de suelos formados sobre la Formación Buenavista muestran una tendencia irregular, que no permite establecer en profundidad un patrón de concentración definido. El contenido promedio de Ca (Cuadro 3) en los horizontes derivados de la Formación Aguacate, es menor que el contenido en suelos derivados de la Formación Buenavista, aunque estos últimos exhiben mayor variabilidad. El comportamiento de la concentración concuerda con los principales patrones de distribución superficial del elemento en ambos horizontes, sin embargo en ambos horizontes se observa la tendencia de la disminución del contenido en profundidad.

El fósforo (P), hasta 1,0 m de profundidad en los perfiles de suelo desarrollados sobre la Formación Aguacate, muestra un contenido de comportamiento irregular en profundidad, no obstante que abajo de 1,0 m, se nota un ligero incremento en uno de los perfiles (Fig. 15, perfil 3); no se observa una clara correlación con los valores promedio del Cuadro 3, los cuales indican mayor contenido en el horizonte superficial que en el profundo. La concentración en los perfiles de suelo desarrollados sobre la Formación Buenavista, hasta 1,0 m de profundidad, tiende a disminuir, lo cual, esta vez, si concuerda con los valores promedio del Cuadro 3. Se observa en ambos horizontes (Cuadro 3) la tendencia de los suelos de la Formación Buenavista a tener mayor concentración y variabilidad de fósforo, en contraste con los de la Formación Aguacate. El mismo comportamiento de la concentración también fue observado al describir anteriormente la distribución superficial del elemento.

El magnesio (Mg) hasta 1,0 m de profundidad, y aún abajo de 1,0 m en los perfiles de suelo desarrollados sobre la Formación Aguacate, muestra en general una disminución de la concentración, sin embargo, este comportamiento no lo expresa claramente los valores promedio dados por el Cuadro 3, posiblemente debido a la mayor variación del contenido en el horizonte 1,0±0,05 m (Fig. 16). Los perfiles de suelo originados sobre la Formación Buenavista, hasta 1,0 m de profundidad,

CUADRO 3

*Composición química promedio de los suelos desarrollados sobre las formaciones
Aguacate y Buenavista, Aguas Zarcas, Costa Rica*

| Roca Madre y parámetros estadísticos | pH | P µg/ml | K meq/100ml | Ca meq/100ml | Mg meq/100ml | Al meq/100ml | Fe µg/ml | Cu µg/ml | Zn µg/ml | Mn µg/ml | |
|--------------------------------------|-----------|------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Formación Aguacate | | | | | | | | | | | |
| Hor 0,0-0,25m n = 40 | \bar{x} | 5,32 | 5,52 | 0,24 | 3,94 | 1,14 | 0,58 | 81,8 | 14,82 | 4,6 | 445,15 |
| | S | 0,25 | 4,16 | 0,22 | 2,02 | 0,65 | 0,64 | 36,24 | 6,22 | 2,23 | 442,11 |
| | A | 4,80-5,90 | 1,0-20,0 | 0,04-1,2 | 1,0-95 | 0,2-2,9 | 0,1-2,5 | 24,0-172,0 | 3,0-29,0 | 1,4-10,4 | 14,0-1600,0 |
| Hor 1,0±0.05 n = 41 | \bar{x} | 5,44 | 4,12 | 0,23 | 3,36 | 1,15 | 0,53 | 56,34 | 10,15 | 3,47 | 183,83 |
| | S | 0,32 | 3,08 | 0,25 | 2,38 | 0,84 | 0,88 | 31,78 | 7,38 | 2,81 | 222,43 |
| | A | 4,6-6,0 | 1,0-16,0 | 0,01-1,0 | 1,0-10,0 | 0,2-3,8 | 0,0-4,7 | 18,0-186,0 | 2,0-28,0 | 0,8-14,6 | 4,0-1200,0 |
| Formación Buena- vista | | | | | | | | | | | |
| Hor 0,0-0,25 n = 75 | \bar{x} | 5,35 | 7,71 | 0,45 | 6,58 | 1,83 | 0,78 | 87,01 | 9,95 | 3,96 | 506,75 |
| | S | 0,40 | 5,0 | 0,4 | 4,74 | 1,22 | 1,11 | 48,56 | 5,68 | 2,80 | 452,5 |
| | A | 4,5-6,2 | 1,0-25,0 | 0,04-1,6 | 0,5-22,5 | 0,3-5,2 | 0,1-7,8 | 8,0-224,0 | 2,0-25,0 | 0,6-13,0 | 12,0-2175,0 |
| Hor 1,0-0,05 n = 75 | \bar{x} | 5,34 | 7,61 | 0,36 | 6,13 | 1,73 | 0,78 | 72,0 | 7,03 | 2,85 | 315,0 |
| | S | 0,75 | 7,80 | 0,34 | 5,09 | 1,49 | 1,52 | 47,09 | 4,47 | 2,15 | 357,73 |
| | A | 0,00-6,3 | 1,0-49,0 | 0,03-1,98 | 0,5-23,5 | 0,1-7,6 | 0,1-10,10 | 6,0-260,0 | 1,0-21,0 | 0,6-15,6 | 2,0-2025,0 |

 \bar{x} = media aritmética

A = ámbito

S = desviación estándar

n = número de muestras

exhiben en general una ligera disminución de la concentración, con excepción del perfil 2, que en parte concuerda con los valores promedio del Cuadro 3; a más de 1,0 m de profundidad, es difícil determinar el comportamiento de la concentración en profundidad, aunque con referencia principalmente al perfil 7, se observa una tendencia al aumento. El Cuadro 3 muestra la tendencia de los suelos de la Formación Buenavista de poseer un mayor contenido de Mg en ambos horizontes que los suelos derivados de la Formación Aguacate, comportamiento ya apuntado anteriormente en la distribución superficial; se nota además una mayor variabilidad en los valores promedio de los suelos de la Formación Buenavista.

El aluminio (Al) en los perfiles de suelo desarrollados sobre las formaciones Aguacate y Buenavista, exhibe patrones irregulares de concentración en profundidad lo cual impide establecer un comportamiento definido (Fig. 7).

El potasio (K), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), hasta 1,0 m de profundidad y abajo de ésta, en los perfiles de suelo desarrollados sobre las formaciones Aguacate y Buenavista, exhiben en general una disminución de las concentraciones de los anteriores elementos, lo cual a la vez concuerda con los valores promedio que aparecen en el Cuadro 3, (Figs. 18-22). Según el Cuadro 3, el contenido de K, Fe y Mn tiende a ser mayor en la Formación Buenavista, mientras que los elementos Cu y Zn tienden a presentarse en mayor concentración en los suelos derivados de la Formación Aguacate; este comportamiento en parte concuerda con lo observado en la distribución superficial de las variables mencionadas. Los anteriores elementos muestran variabilidades altas en correspondencia con concentraciones altas, con excepción del Zn que en los suelos de la Formación Aguacate muestra una menor variabilidad en el horizonte superficial de mayor concentración que el profundo.

Las variables muestran una tendencia hacia una mayor concentración en los niveles superficiales del suelo que en los profundos. Esta característica difiere del comportamiento que en general sufren los elementos en los suelos tropicales laterizados, en donde éstos con algunas excepciones, como el Al y Fe, tienden a empobrecerse en los horizontes superficiales por efecto de la lixiviación. Este comportamiento corresponde al mayor aporte que sufre la solución del suelo en vista del más intenso efecto que ejerce la meteorización química en los minerales constitutivos de los horizontes superficiales del suelo. Este efecto produciría una disminución del contenido de los elementos en los minerales, en contraste con un aumento en la solución del suelo. La disminución del contenido en la fracción mineral de los horizontes superficiales del suelo se determinaría con la extracción química total de los elementos, mientras que el aumento que sufre la solución del suelo se determinaría con la parcial extracción empleada en este estudio.

CONCLUSIONES

Los patrones edafocímicos de los horizontes superficial y profundo permiten establecer las siguientes conclusiones: 1) entre el horizonte superficial (0,0-0,25 m) y el profundo (1,0±0,05 m) se observó una relativa concordancia de los patrones edafocímicos de K, Ca, P, Mg y Cu y poca a ninguna en el pH, Al, Mn, Zn y Fe; 2) tanto entre horizontes como elementos, se observó una relativa concordancia entre los patrones edafocímicos de Ca y Mg; 3) los elementos Ca, P, Mg, Cu, Zn y Mn muestran patrones edafocímicos bajos o inferiores a los niveles críticos, lo cual hace preveer posibles deficiencias; 4) los patrones edafocímicos de Al son en la mayoría inferiores que el nivel deseable (< 0,3 meq), lo cual hace pensar en una relativa baja incidencia de toxicidad en la vegetación; 5) los suelos

desarrollados sobre las Formaciones Aguacate y Buenavista tienden a mostrar un descenso paulatino del contenido de K, Fe, Cu, Zn y Mn en profundidad; 6) el pH y los elementos Ca, P, Mg y Al evidencian un comportamiento más bien irregular en profundidad; 7) los elementos P, Ca, Mg, K, Fe y Mn tienden a mostrar una mayor concentración y variabilidad en los suelos derivados de la Formación Buenavista, en contraste con la Formación Aguacate, la cual inversamente tiende a presentar una mayor concentración de los elementos Cu y Zn, con excepción de este último, en donde la menor variabilidad se presenta en el horizonte superficial de mayor contenido que el profundo; y 8) se determinó la tendencia de buena parte de los elementos estudiados a concentrarse en los horizontes superficiales del suelo, fenómeno aparentemente inverso al comportamiento que en general sufren los elementos en los latosoles tropicales; esto correspondería al mayor aporte que estaría sufriendo la solución del suelo en vista del más intenso efecto de la meteorización química en los minerales del suelo; estos minerales a la vez sufren una disminución de su contenido total, que es la característica que, con algunas excepciones, se presenta en los latosoles.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Ing. Francisco Seravalli, exdirector del Centro Regional Agrícola de Ciudad Quesada y a los técnicos del Centro, así como al Lic. Alfonso Monge, de la Dirección de Geología, Minas y Petróleo, por la colaboración en la fase de muestreo; al personal de Laboratorio de Suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería y en especial al jefe, Ing. Raymundo Amerling, y al Lic. Héctor Coward, por su amplia y desinteresada ayuda en el análisis de las muestras; al Ing. Mario Feoli, Director del Centro de Informática de la Universidad de Costa Rica y al Ing. Carlos Conejo, por su valiosa colaboración en el procesamiento de los datos. En la ejecución de este estudio se obtuvo la colaboración de la Corporación Costarricense de Desarrollo (CODESA).

RESUMEN

117 muestras de suelo, colectadas a profundidades de 0,0-0,25 m (horizonte superficial) y $1,0 \pm 0,05$ m (horizonte profundo), según hoja Aguas Zarcas, escala 1:50.000 y 44 muestras provenientes de 8 perfiles de suelo, fueron analizadas para las variables pH, P, K, Ca, Zn, Cu, Mn, Fe, Mg, y Al.

Se encontró concordancia directa entre los patrones edafoquímicos de K, Ca, P, Mg y Cu del horizonte superficial con aquellos del horizonte profundo y poca a ninguna con el pH, Al, Mn, Zn y Fe. Tanto entre horizontes como entre elementos hay además concordancia entre los patrones de Ca y Mg.

El Ca, P, Mg, Cu, Zn y Mn exhiben patrones edafoquímicos de concentración baja o inferior a los correspondientes niveles críticos, los cuales deberían ser estudiados por posibles deficiencias agronómicas. La concentración de los patrones de Al, en su mayoría inferiores al nivel deseable ($< 0,3$ meq), hace pensar en una relativa baja incidencia de toxicidad en la vegetación.

Se determinó que suelos desarrollados sobre las Formaciones Aguacate y Buenavista tienden a mostrar en profundidad un descenso paulatino del contenido de K, Fe, Mg, Cu, Zn y Mn. El pH y los elementos restantes, Ca, P, Mg y Al evidencian un comportamiento más bien irregular en profundidad.

Los elementos P, Ca, Mg, K, Fe y Mn, tienden a mostrar una mayor concentración en los suelos derivados de la Formación Buenavista, en contraste con los de la Formación Aguacate, que inversamente tienden a mostrar una mayor concentración de Cu y Zn.

La tendencia de buena parte de los elementos estudiados a concentrarse en la solución del suelo del horizonte superficial es un fenómeno aparentemente inverso al comportamiento que en general sufren los elementos en los latosoles tropicales, posiblemente debido al más intenso efecto de la meteorización en los minerales del suelo que, simultáneamente los empobrece y enriquece a la solución.

REFERENCIAS

AID Resources Inventory Center

1965. Análisis Regional de Recursos Físicos Centroamérica y Panamá.

Castillo Muñoz, R.

1977. Geoquímica ambiental de la Península de Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 25: 219-255.

Costa Rica Instituto Meteorológico Nacional

1975. Boletín periódico, registros de precipitación y temperatura, San José, Costa Rica.

Institute of Geological Sciences

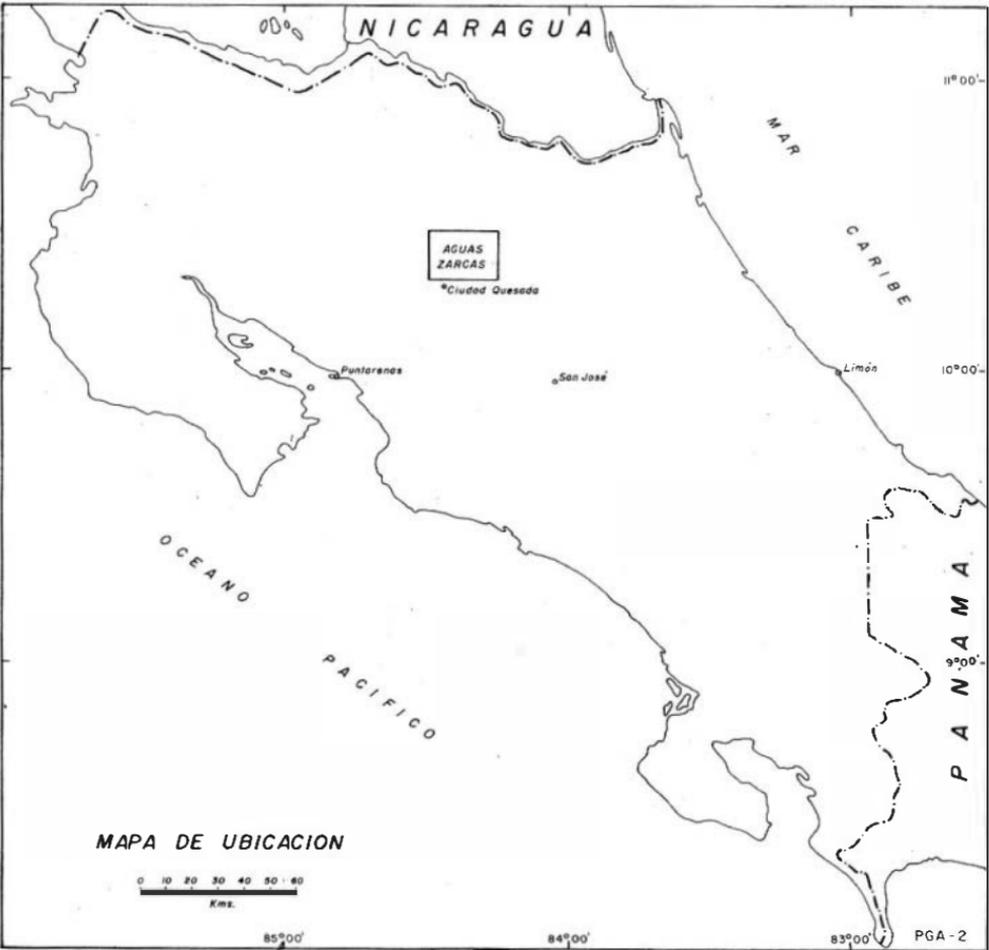
1974. G-EXEC Sytem, Users manual, Great Britain, Computer Unit.

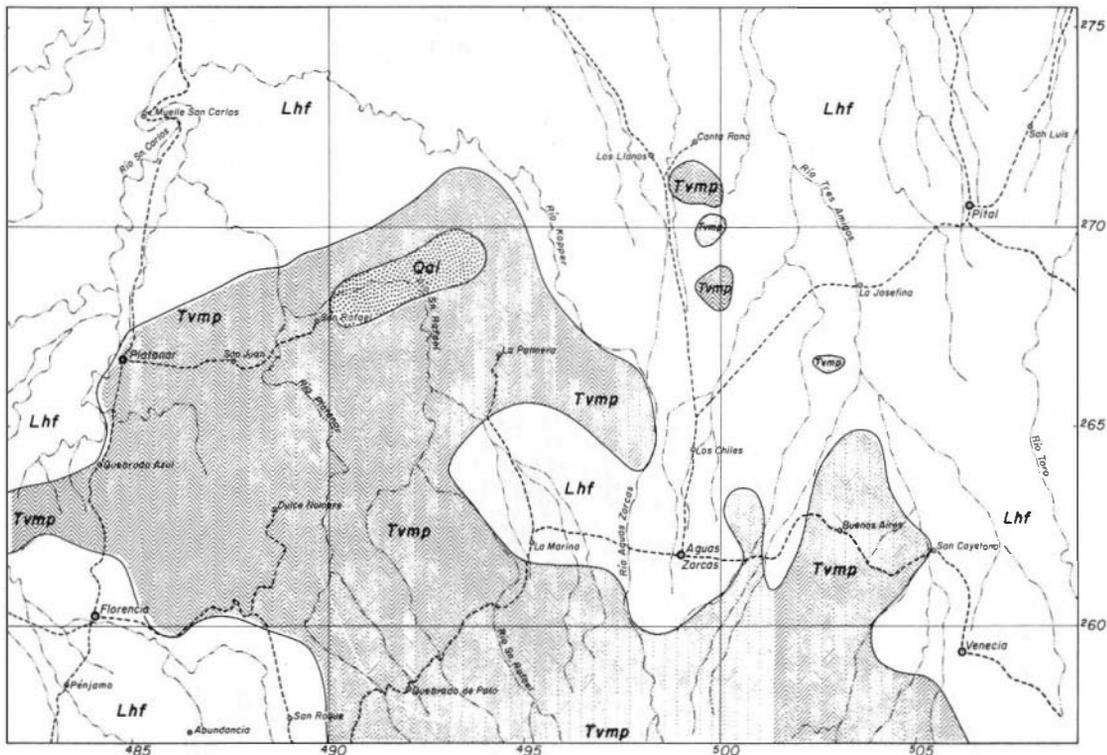
Malavassi, E., & R. Madrigal.

1970. Reconocimiento geológico de la zona norte de Costa Rica. Dirección de Geología, Minas y Petróleo, Informes técnicos y Notas geológicas No. 38.

U. S. Geological Survey

1969-1972. *Environmental Geochemistry, Geochemical Survey of Missouri, plans and progress.* Denver, Colorado.





LEYENDA

-  Aluviones de ríos y llanuras aluviales
-  Fm. Buenavista (Plió-Cuaternario)
Lahares finos y gruesos.
-  Fm. Aguacate (Mioceno)
Andesitos, aglomerados basálticos y basaltos.

-  Contactos geológicos
-  Caminos
-  Ríos y quebrados
-  Pueblos

2

NOTA:

Mapa extractada de la hoja
3347 - III AGUAS ZARCAS
del I.G.N.

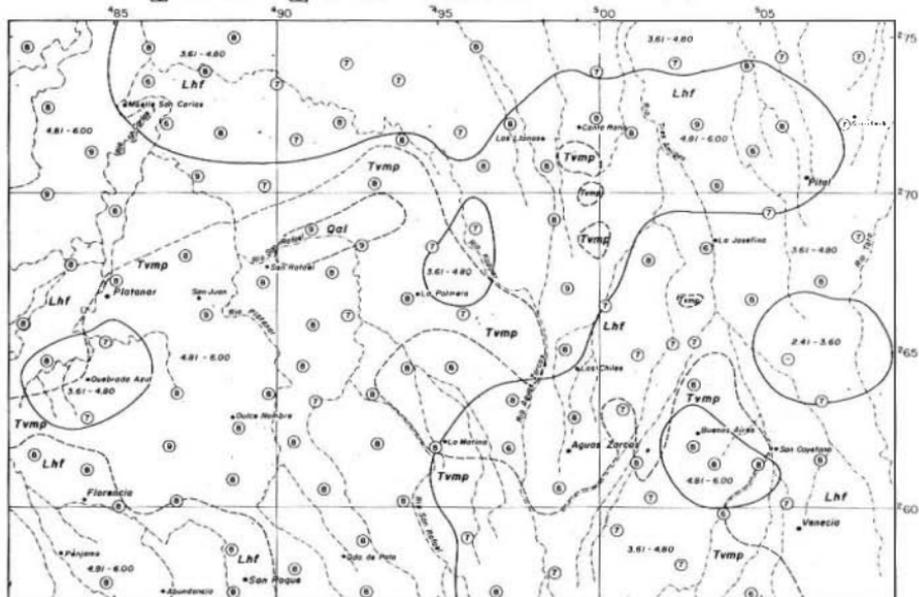
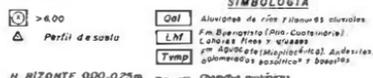
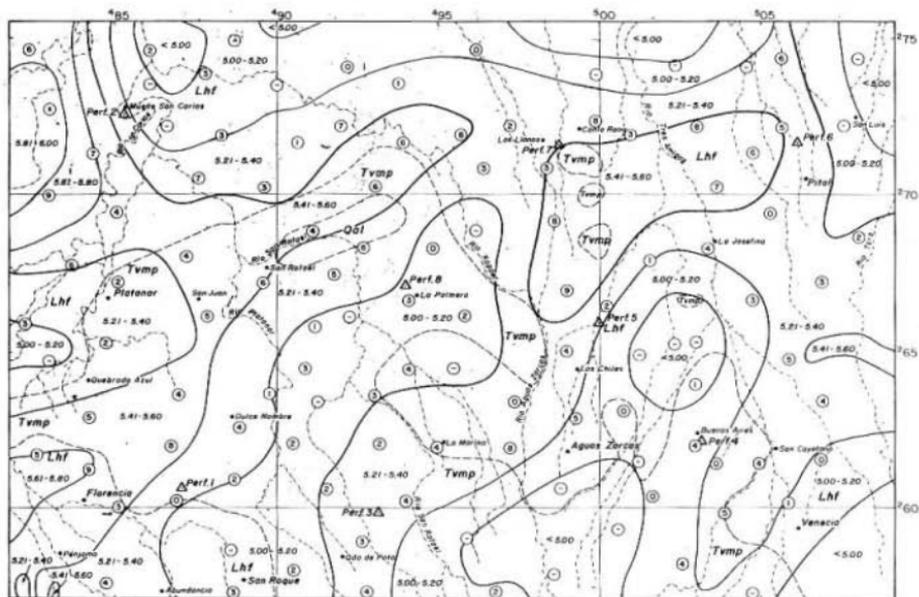


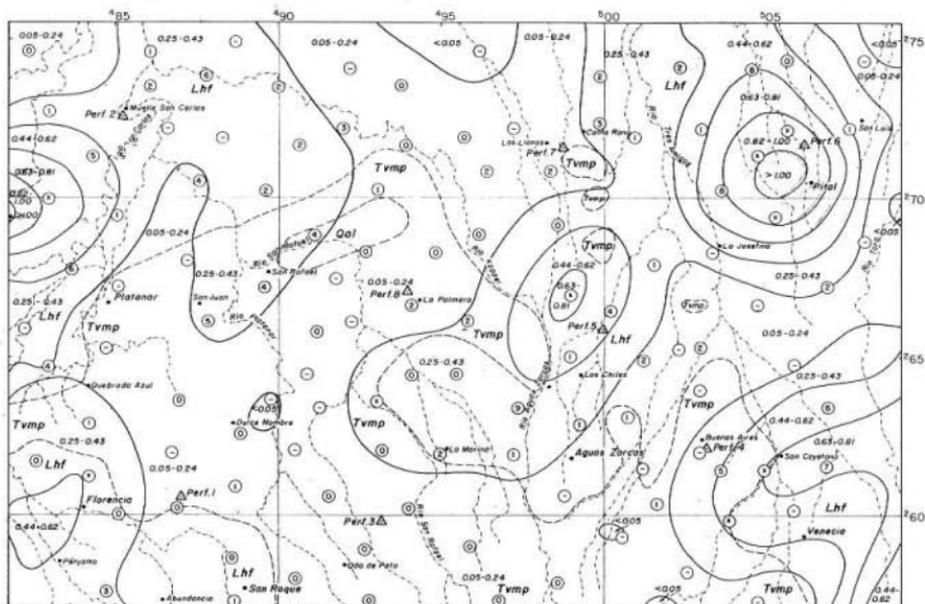
**MAPA GEOLOGICO REGIONAL
DE LA HOJA AGUAS ZARCAS**

(SEGUN MALAVASSI Y MADRIGAL, 1970)

Figs. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12.

Mapa edafoquímica de distribución de pH, P, K, Ca, Zn, Mn, Fe, Mg, Fe, Mg, y Al, en los horizontes de suelo 0,0-0,25 m y 1,0 ± 0,05 m, de la hoja Aguas Zarcas.





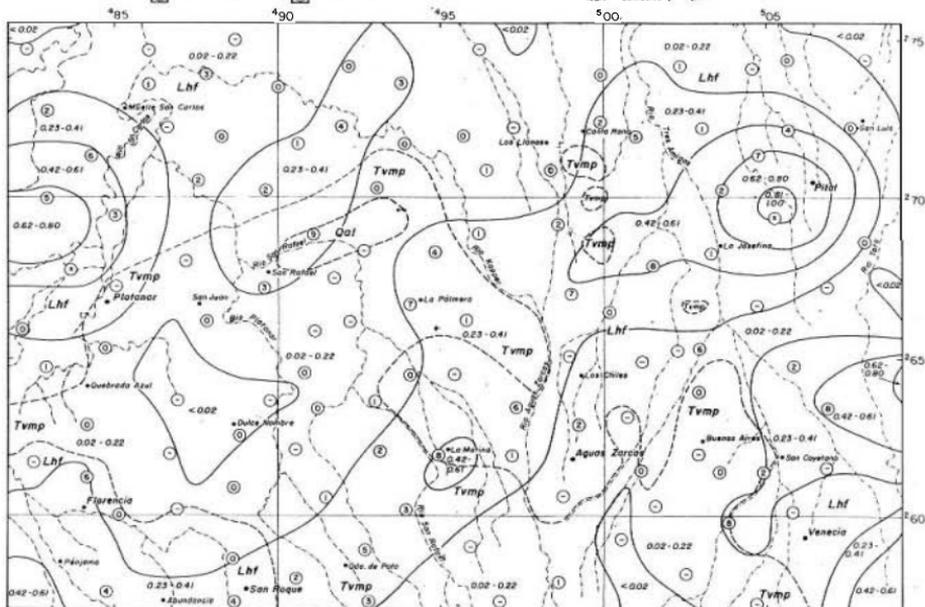
Valores en meq/100ml



> 1.00
 Perfil de suelo
 NIVEL BAJO: T - 0.20
 NIVEL MEDIO: 0.20 - 0.40
 NIVEL ALTO: > 0.40
 HORIZONTE 0.00-0.25m

SIMBOLOGIA

Quilómetros de ríos y lagunas actuales
 Fm. Barquisimeto (Piso-Cuaternario)
 Lahnara faldas y guayas
 en Aguajate (Mangrú, Andesitas,
 apilamientos de dolitas y basaltos.
 Contactos geológicos



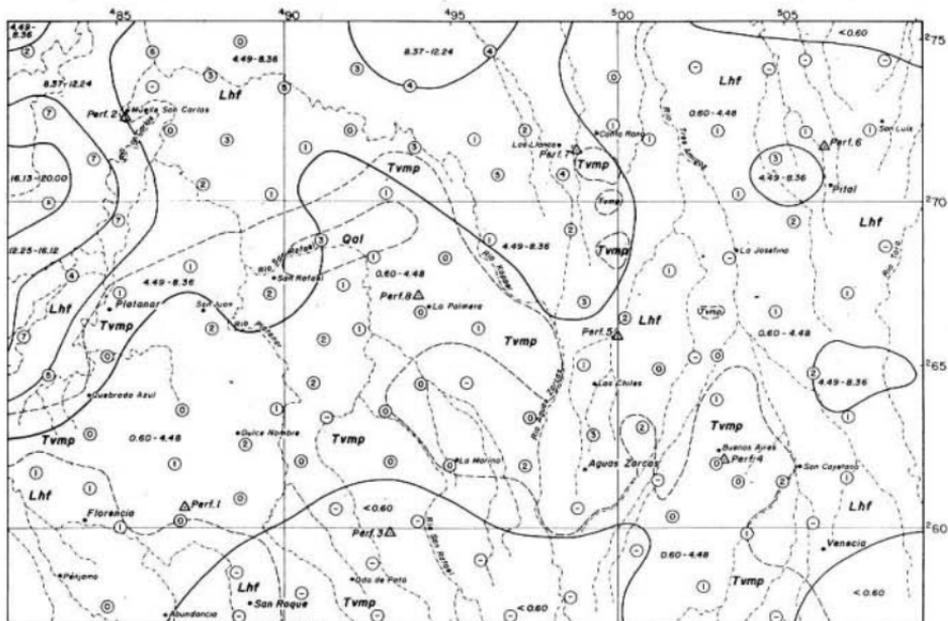
Valores en meq/100ml



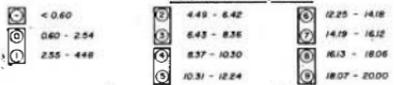
> 1.00
 Sitio de muestreo
 NIVEL BAJO: T - 0.20
 NIVEL MEDIO: 0.21 - 0.40
 NIVEL ALTO: > 0.40
 HORIZONTE 1.00 ± 0.05m

MAPA GEOAGRONOMICO (EDAFOLOGICO) REGIONAL
 DE LA HOJA AGUAS ZARCAS
 POTASIO



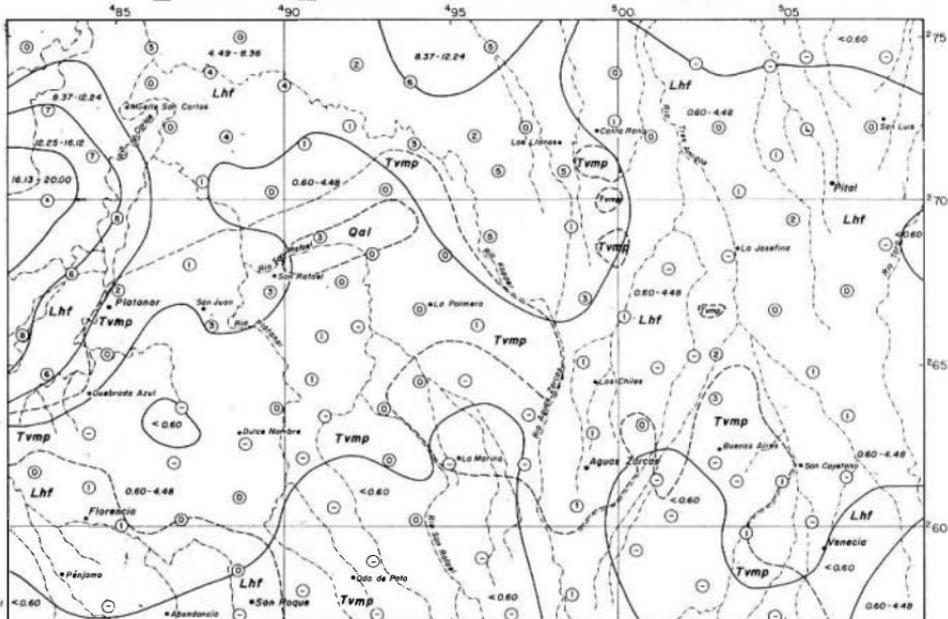


Valores en mg/100ml

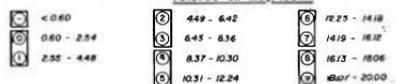


SIMBOLOGIA

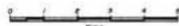
- Qol Aluviones de rías y llanuras aluviales.
 - Lhf Fm Buenavista (Pia-Casteranea).
 - Lhf Llanuras férricas y grasses.
 - Tvmp Fm Apacoste (Muglioclaical, Andesitas, aglomerados basálticos y basaltos).
- Símbolo de riego
 --- Contactos geológicos

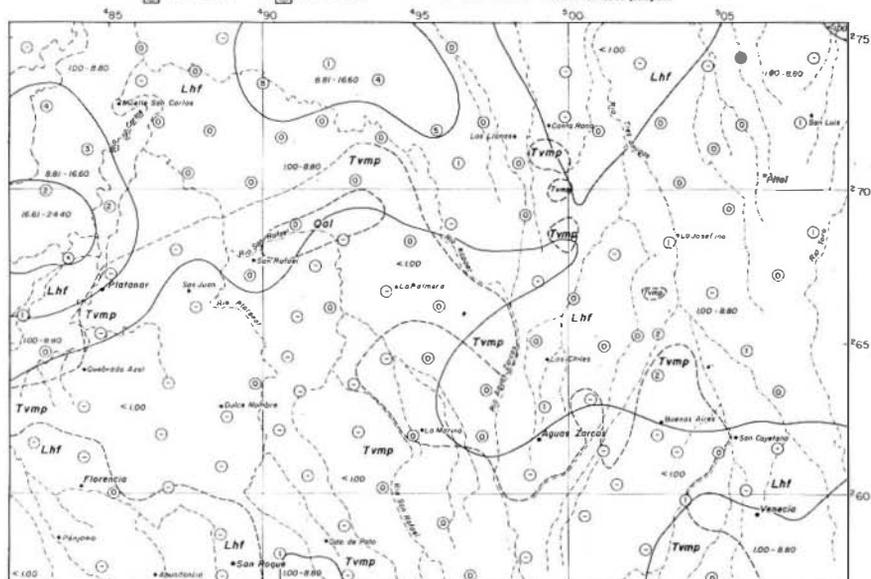
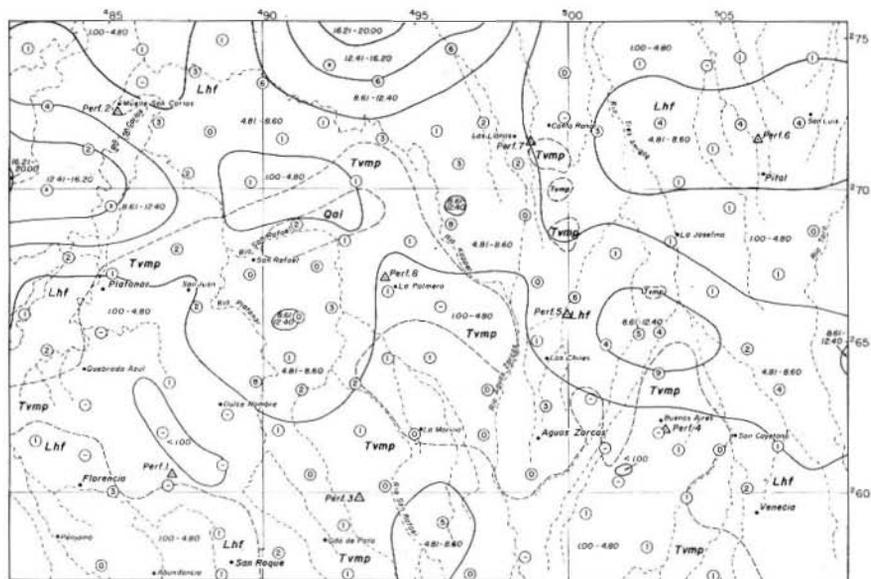


Valores en mg/100ml



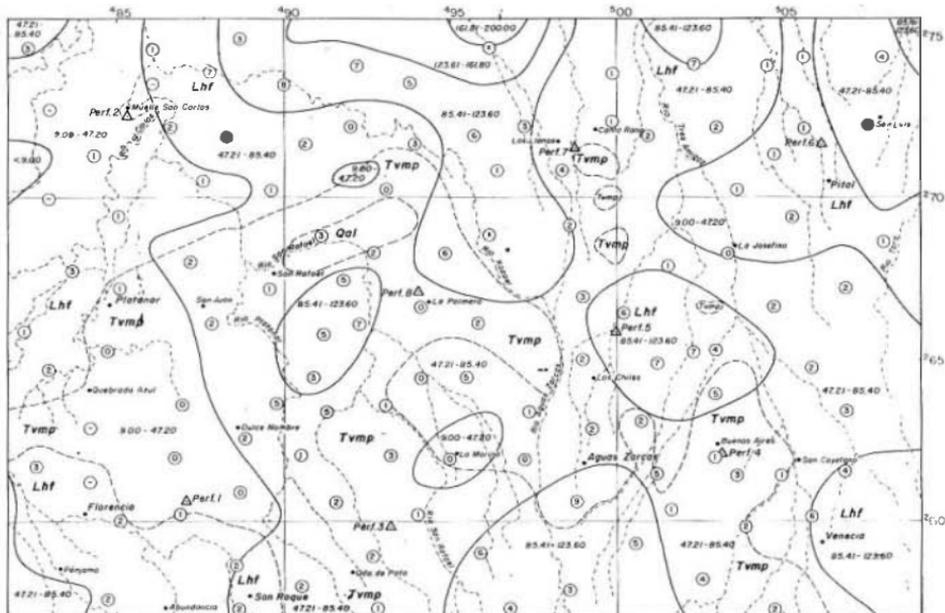
MAPA GEOSABORONICO (EDAFOPUIMICO) REGIONAL DE LA HOJA AGUAS ZARCAS CALCICO





MAPA GEOAGRONOMICO (EODIAGNOSTICO) REGIONAL DE LA HOJA AGUAS ZARCAS FOSFORO





Valores en g/cm^3

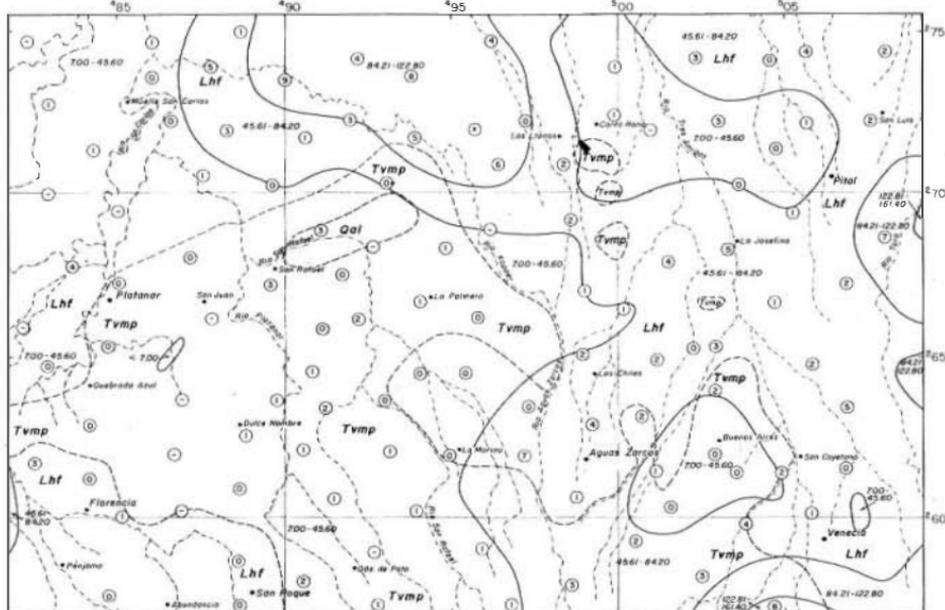
| | | | | | | | | | | |
|-------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| < 900 | 900 - 2810 | 2811 - 4720 | 4721 - 6630 | 6631 - 8540 | 8541 - 10450 | 10451 - 12360 | 12361 - 14270 | 14271 - 16180 | 16181 - 18090 | 18091 - 20000 |

> 20000
 Perfil de suelo
 Nivel Crítico: 10.0

HORIZONTE 0.00-0.25m

SIMBOLOGÍA

- Qal Aluviones de ríos y llanuras aluviales.
- Lhf Fin Bragante (Piso-Cuaternario).
- Lhf Llanuras Fijas y Gravas.
- Tmp Fin Aguacate (Moluscos), andesitas, Plutonitos basálticos y basaltos.
- Chiclos geológicos



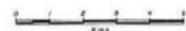
Valores en g/cm^3

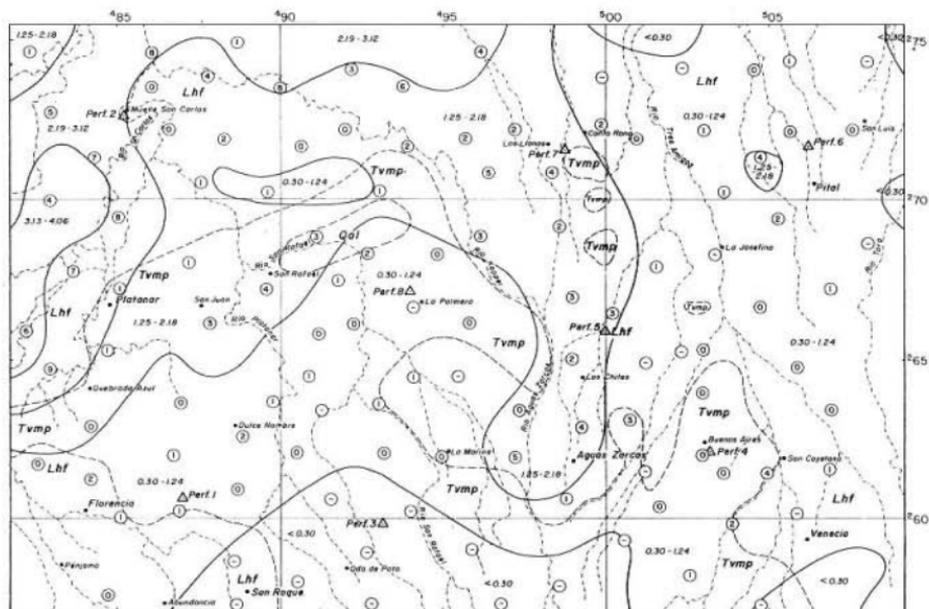
| | | | | | | | | | | |
|-------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| < 700 | 700 - 2630 | 2631 - 4560 | 4561 - 6490 | 6491 - 8420 | 8421 - 10350 | 10351 - 12280 | 12281 - 14210 | 14211 - 16140 | 16141 - 18070 | 18071 - 20000 |

> 20000
 Sitio de muestreo
 Nivel Crítico: 10.0

HORIZONTE 1.00-0.05m

MAPA GEOAGRONÓMICO (EDAFQUÍMICO) REGIONAL DE LA HOJA AGUAS ZARCAS HIERRO





Valores en mg/100 ml

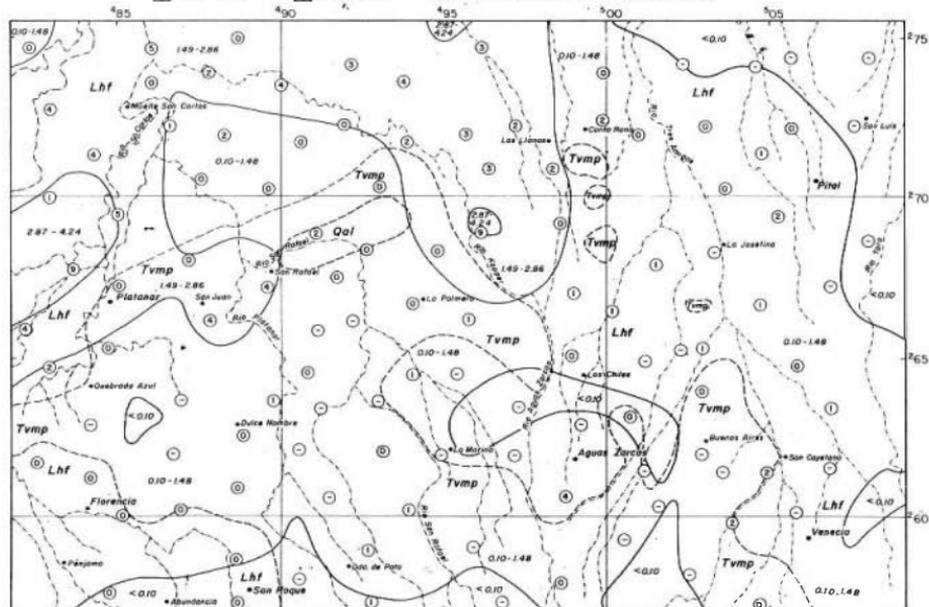


SIMBOLOGIA

- Qal Aluviones de ríos y llanuras aluviales.
- Lhf Fin. Buenavista (Fina-Cuaternaria).
- Tvmp Llanuras finas y gruesas.
- Perf. Perfil de suelo.
- ▲ Puntos (Magistral) Adscritos, aglomerados basálticos y basaltos.
- Contactos geológicos.

NIVEL CRITICO: 10

HORIZONTE 0.00-0.25m



Valores en mg/100 ml

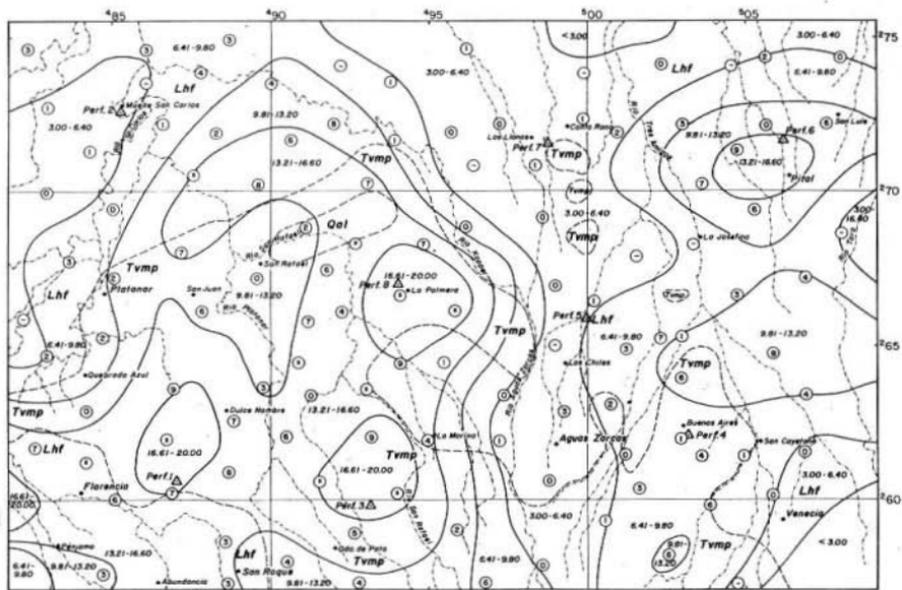


MAPA GEOAGRONOMICO (EDAFOQUIMICO) REGIONAL DE LA HOJA AGUAS ZARCAS MAGNESIO

NIVEL CRITICO: 10

HORIZONTE 1.00±0.05m



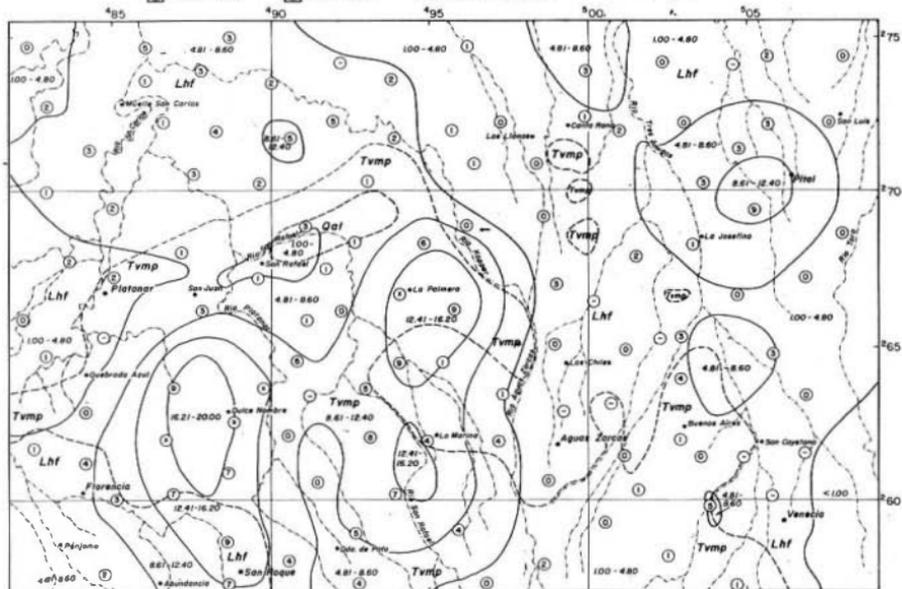


Valores en $\mu\text{g}/\text{ml}$

| | | | | | | | |
|---|-------------|---|---------------|---|---------------|---|----------------------|
| ① | < 3.00 | ⑥ | 6.41 - 8.80 | ⑪ | 13.21 - 16.60 | ⑮ | > 20.00 |
| ② | 3.00 - 4.70 | ⑦ | 8.81 - 9.80 | ⑫ | 14.81 - 16.60 | ⑯ | Partido de suelo |
| ③ | 4.71 - 6.40 | ⑧ | 9.81 - 11.80 | ⑬ | 16.61 - 18.30 | ⑰ | NIVEL CRÍTICO: 1.0 |
| ④ | | ⑨ | 11.81 - 13.20 | ⑭ | 18.31 - 20.00 | ⑱ | HORIZONTE 0.00-0.25m |

SIMBOLOGÍA

| | |
|-----|---|
| Qal | Aluviones de ríos y llanuras aluviales |
| Lhf | Fu. Benéficas (Pta.-Oxidativa) |
| Tmp | Llanuras fajas y grutas. |
| | Fu. Apocates (Microbiocidal, Anticancer, aglutinados basófilos y bacterios) |
| | Contorno topográfico |



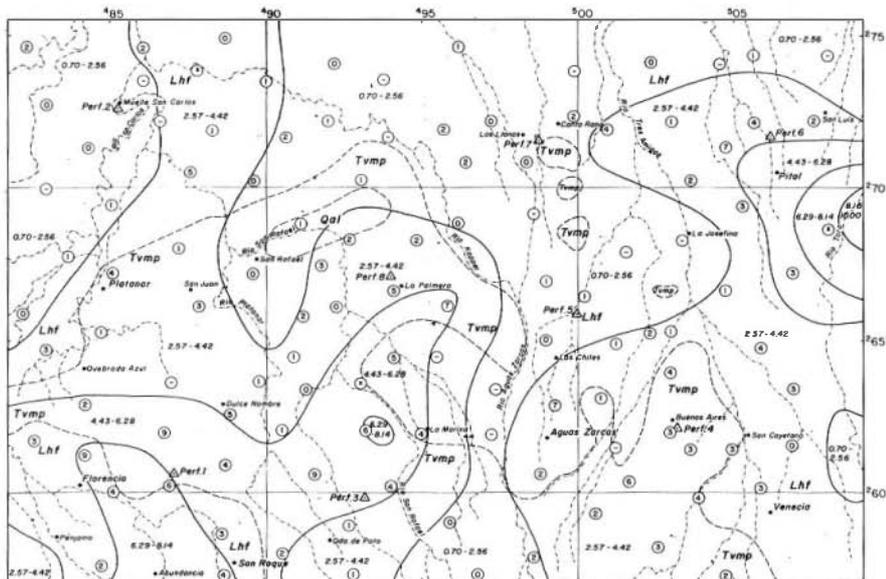
Valores en $\mu\text{g}/\text{ml}$

| | | | | | | | |
|---|-------------|---|---------------|---|---------------|---|----------------------|
| ① | < 1.00 | ⑥ | 4.81 - 6.70 | ⑪ | 12.41 - 14.30 | ⑮ | > 20.00 |
| ② | 1.00 - 2.90 | ⑦ | 6.71 - 8.80 | ⑫ | 14.31 - 16.20 | ⑯ | Sitio de muestra |
| ③ | 2.91 - 4.80 | ⑧ | 8.81 - 10.50 | ⑬ | 16.21 - 18.10 | ⑰ | NIVEL CRÍTICO: 1.0 |
| ④ | | ⑨ | 10.51 - 12.40 | ⑭ | 18.11 - 20.00 | ⑱ | HORIZONTE 0.00-0.25m |

MAPA GEOAGRONÓMICO (EDAFOQUÍMICO) REGIONAL DE LA HOJA AGUAS ZARCAS COBRE

HORIZONTE 0.00-0.25m



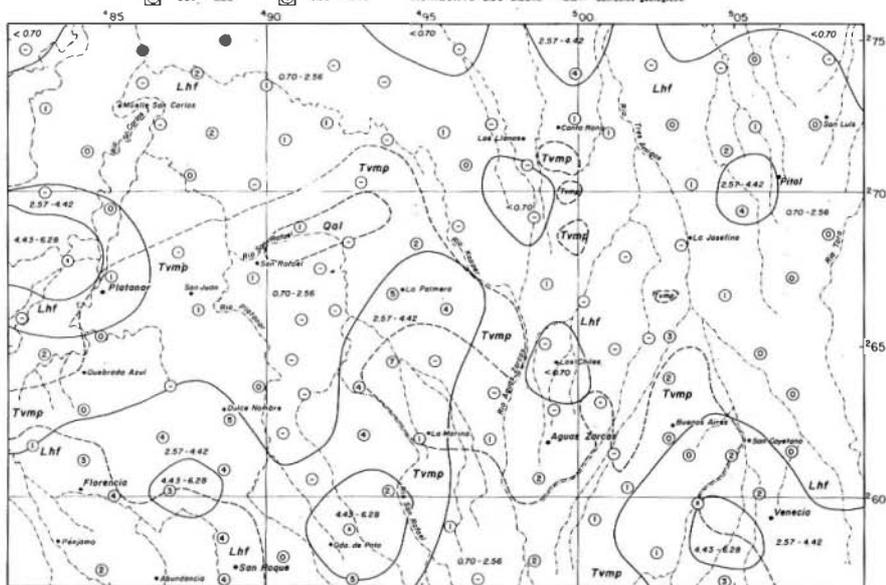


Valores en ug/ml



SIMBOLOGÍA

- Gal Aluviones de ríos y llanuras aluviales.
- Lhf Fe. Bauxítico (Piso-Cuaternario)
- Lhf Llanuras (ríos y grietas)
- Tvmp Fe. Aquecete (Migmatítico, Andesitas, gneises, basaltos y basaltos)
- Contornos geológicos

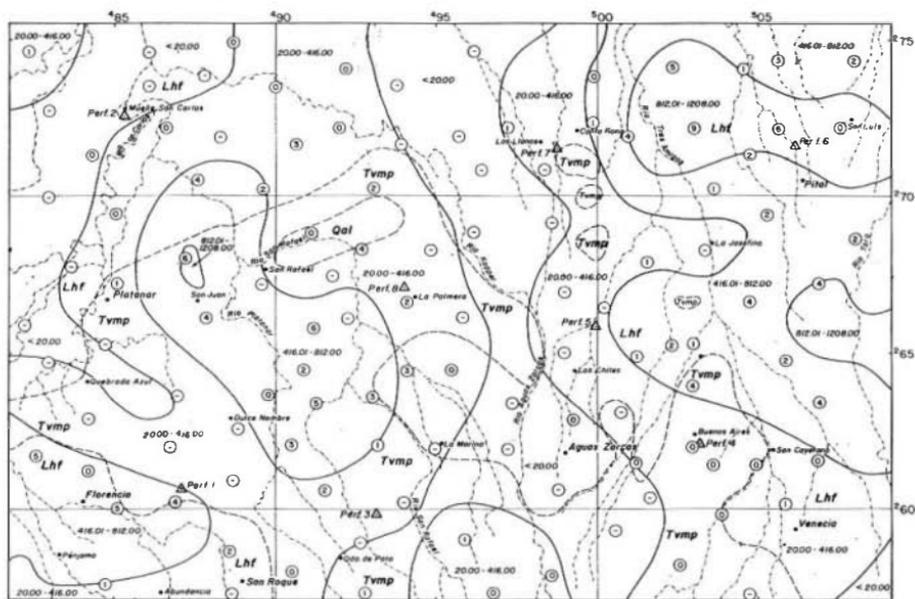


Valores en ug/ml



MAPA GEOAGRONÓMICO (EDAFOQUÍMICO) REGIONAL
DE LA NOVA AGUAS ZARCAS
ZINC



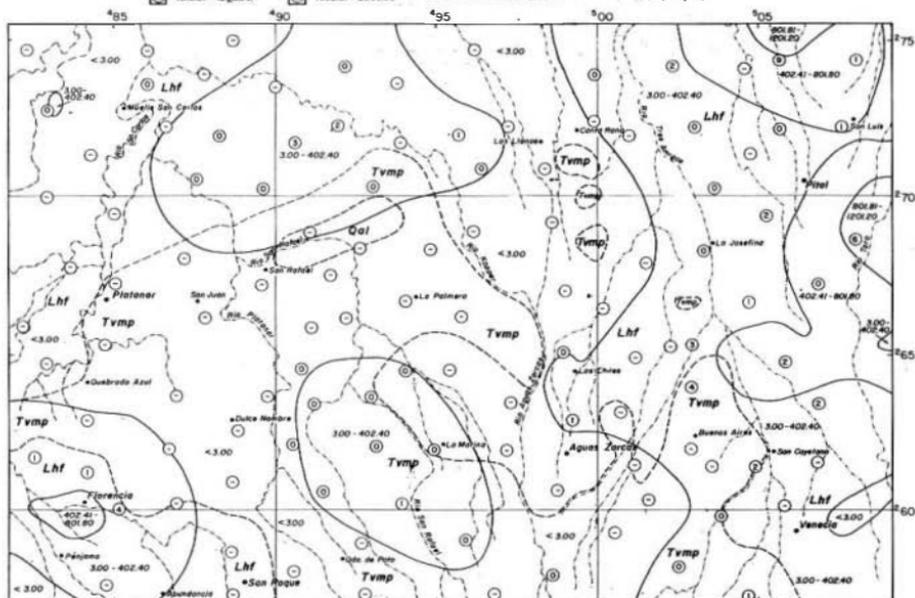


Valores en ug/ml

| | | | |
|-------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| ① < 20.00 | ② 416.01 - 812.00 | ③ 1208.01 - 1406.00 | ④ > 2000.00 |
| ⑤ 20.00 - 218.00 | ⑥ 812.01 - 812.00 | ⑦ 1406.01 - 1604.00 | ⑧ Perfil de suelo |
| ⑨ 218.01 - 416.00 | ⑩ 812.01 - 1010.00 | ⑪ 1604.01 - 1802.00 | ⑫ Nivel CRITICO: 5.0 |
| | ⑬ 1010.01 - 1208.00 | ⑭ 1802.01 - 2000.00 | ⑮ HORIZONTE 0.00-0.25m |

SIMBOLOGIA

- Altiplano de río y llanura o aluviales
- Fm. Ecuatorial (Piso Cuaternario)
- Llanuras fijas y fijas
- Fm. Aluvial (Litotecnol. Aluviales, aparcerías, edificios y botatos)
- Contorno topográfico

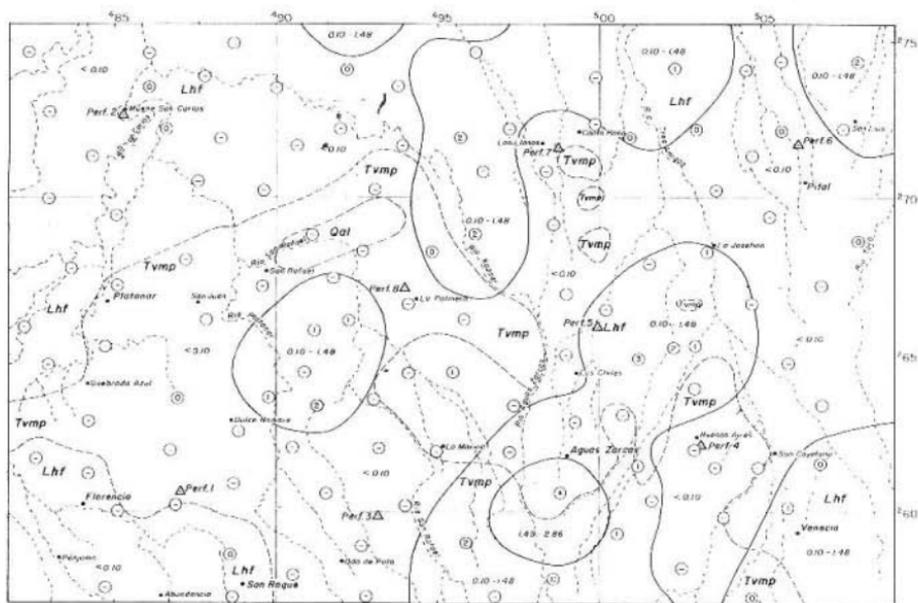


Valores en ug/ml

| | | | |
|-------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| ① < 3.00 | ② 402.41 - 802.80 | ③ 1602.81 - 1800.90 | ④ > 2000.00 |
| ⑤ 3.00 - 202.70 | ⑥ 802.81 - 801.80 | ⑦ 1800.91 - 1800.40 | ⑧ Sitio de muestra |
| ⑨ 202.71 - 402.40 | ⑩ 801.81 - 1001.50 | ⑪ 1800.41 - 1800.30 | ⑫ Nivel CRITICO: 5.0 |
| | ⑬ 1001.51 - 1201.20 | ⑭ 1800.31 - 2000.00 | ⑮ HORIZONTE 1.00-1.05m |

MAPA GEODRÓNOMICO (EDAFODRÓNOMICO) REGIONAL
DE LA HOJA AGUAS ZARCAS
MANGA S O





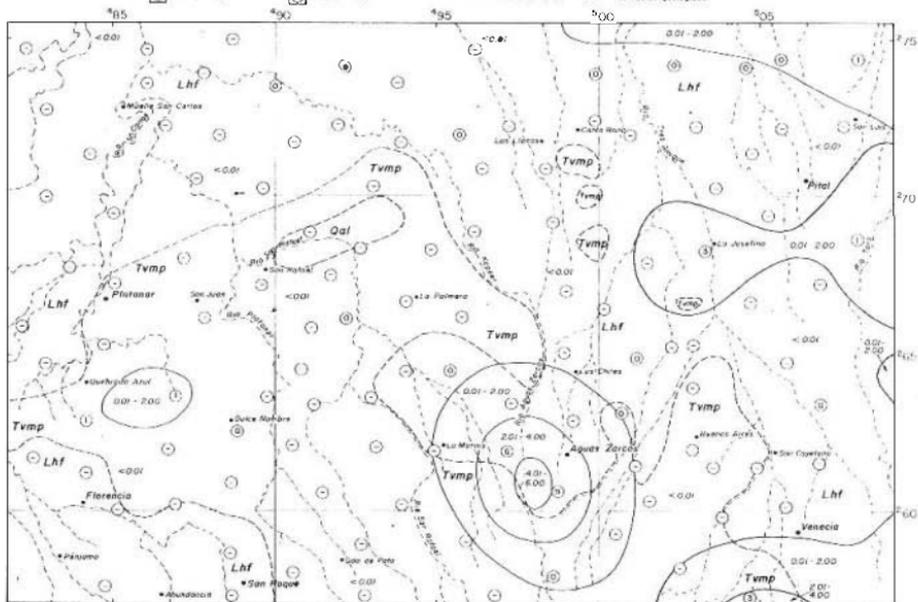
Valores en mg/100ml

| | | |
|---------------|---------------|---------------|
| ○ < 0.10 | ○ 1.49 - 2.17 | ○ 6.25 - 6.93 |
| ○ 0.10 - 0.79 | ○ 2.18 - 2.86 | ○ 6.94 - 6.62 |
| ○ 0.80 - 1.48 | ○ 2.87 - 3.55 | ○ 6.63 - 6.31 |
| | ○ 3.56 - 4.24 | ○ 6.32 - 7.00 |

○ > 700
 Δ Perfil de suelo
 NIVEL RESCABLE < 65
 HORIZONTE 0.00 ± 0.25m

SIMBOLOGIA

○ Qal Aluviones de ríos y raras aluviales
 ○ Lhf En Banderas (Piso Castorena)
 ○ Tmp Laderas finas y gruesas
 ○ Tmp En Espuma (Muytoconcha) Andesitas,
 Igneos ácidos y basálticos.
 ○ Contactos geológicos



Valores en mg/100ml

| | | |
|---------------|----------------|----------------|
| ○ < 0.01 | ○ 7.01 - 8.00 | ○ 6.01 - 7.00 |
| ○ 0.01 - 1.00 | ○ 8.01 - 9.00 | ○ 7.01 - 8.00 |
| ○ 1.01 - 2.00 | ○ 9.01 - 10.00 | ○ 8.01 - 9.00 |
| | | ○ 9.01 - 10.00 |

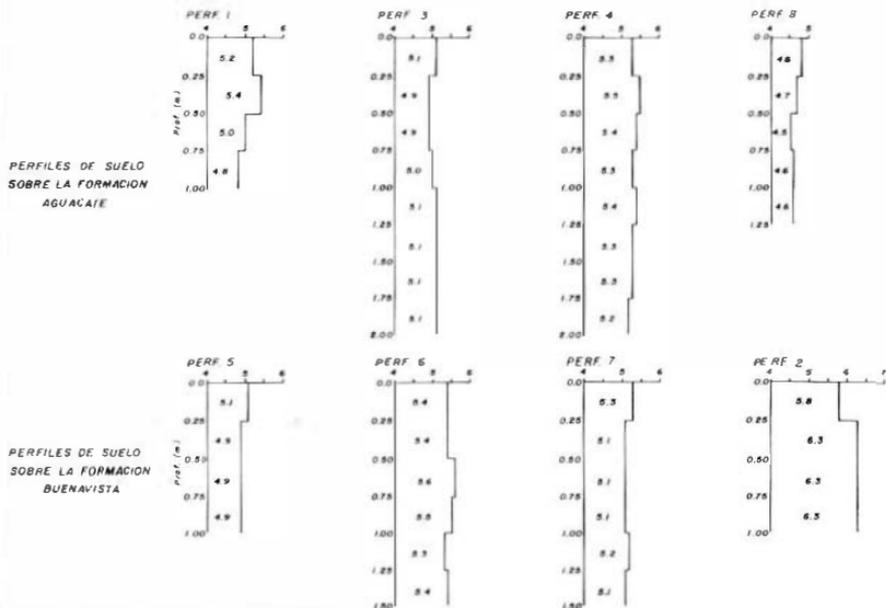
○ > 10.00
 ○ Símbolo huecos
 NIVEL USABLE < 0.2
 HORIZONTE 1.00 ± 0.05m

MAPA GEODRÓNOMICO (EBAF) QUÍMICO REGIONAL
 DE LA HOJA AGUAS ZARCAS
 ALUMINIO

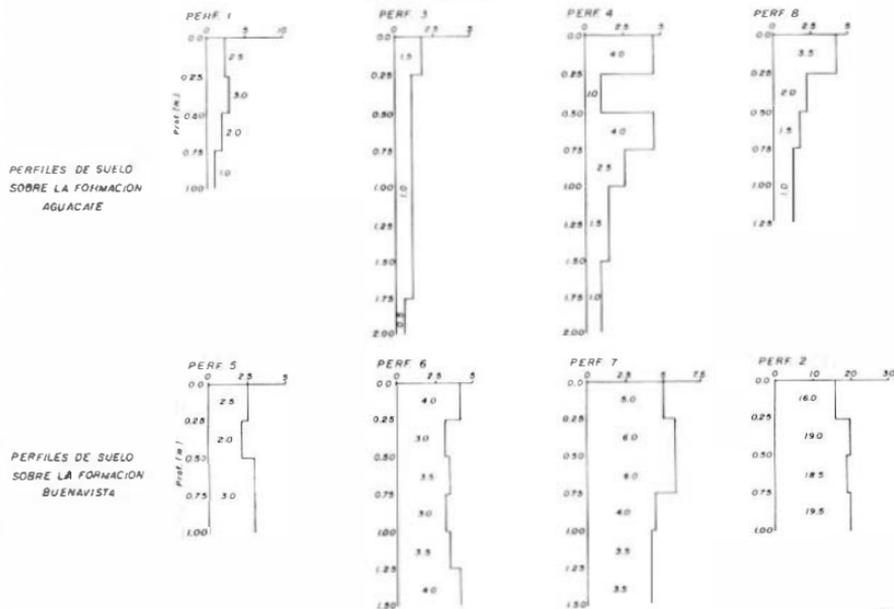


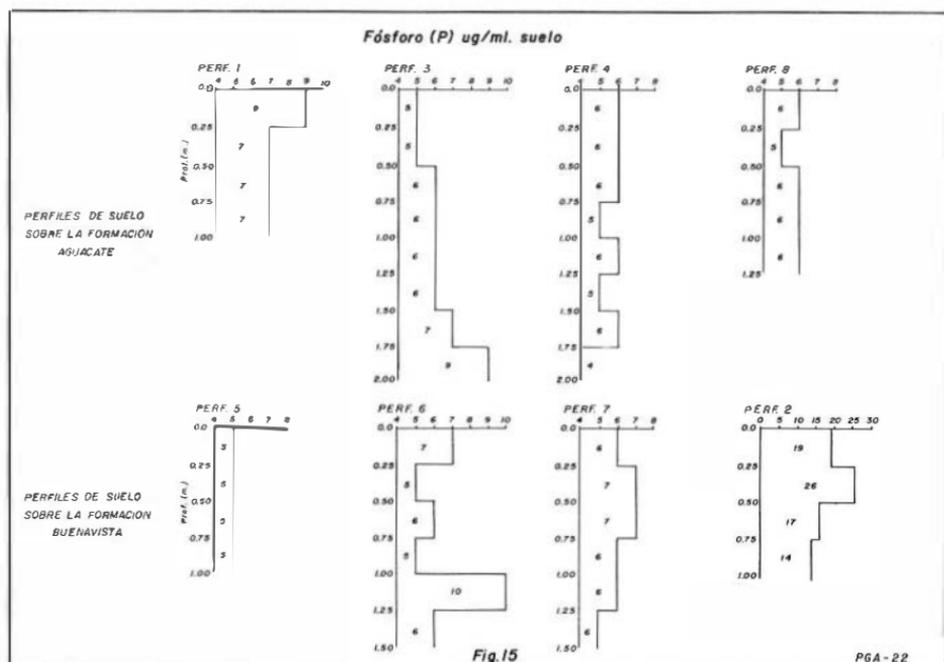
Figs. 13,14,15,16,17,18,19,20,21,22.

Variación en profundidad de pH, Ca, P, Mg, Al, K, Fe, Cu, Zn y Mn en los perfiles de suelos muestreados sobre las formaciones Aguacate y Buenavista.

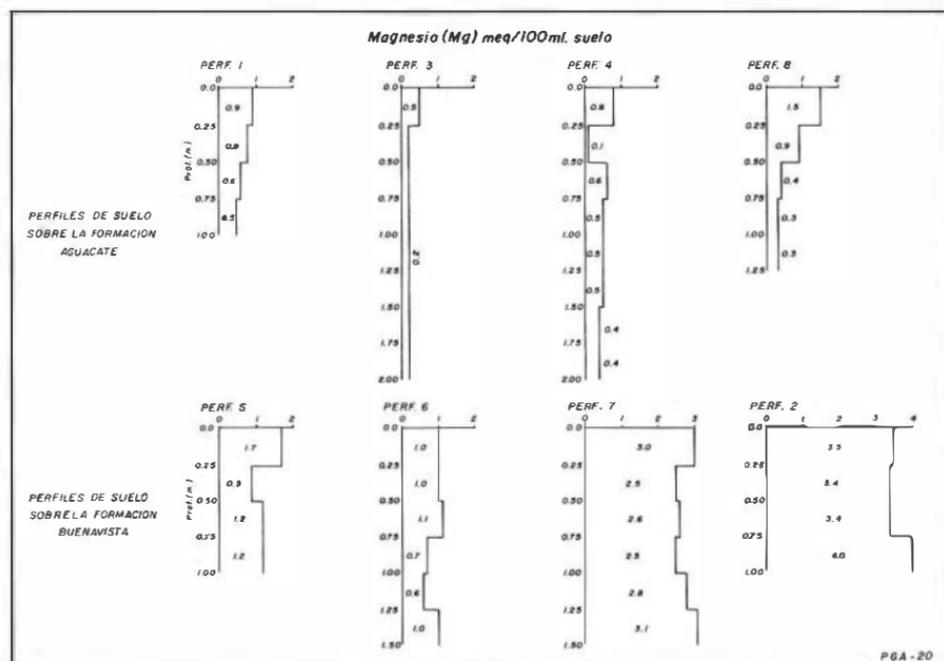


Calcio (Ca) meq/100ml. suelo



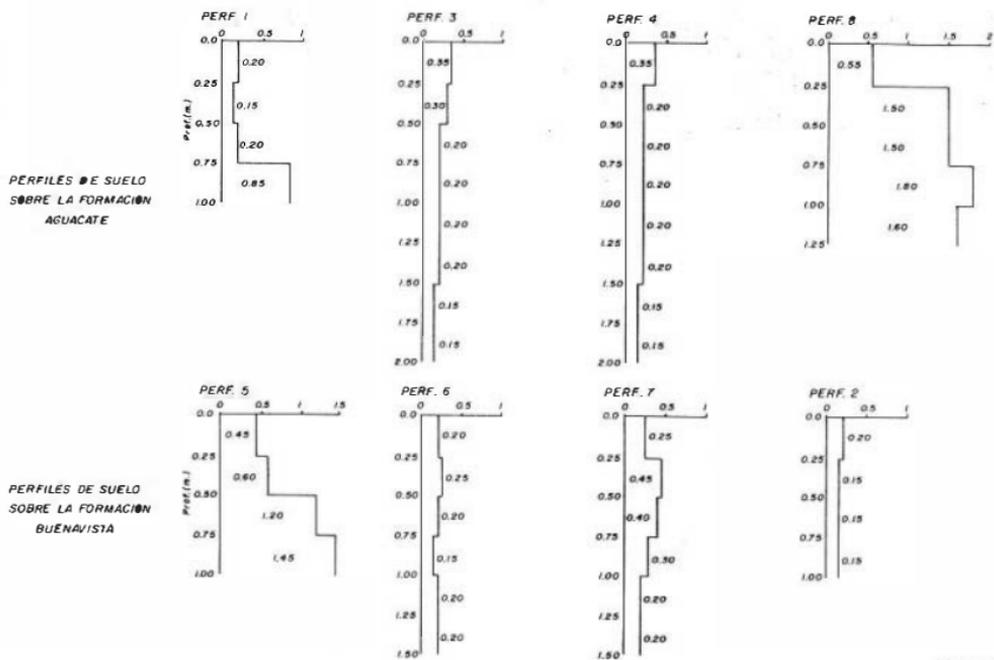


15

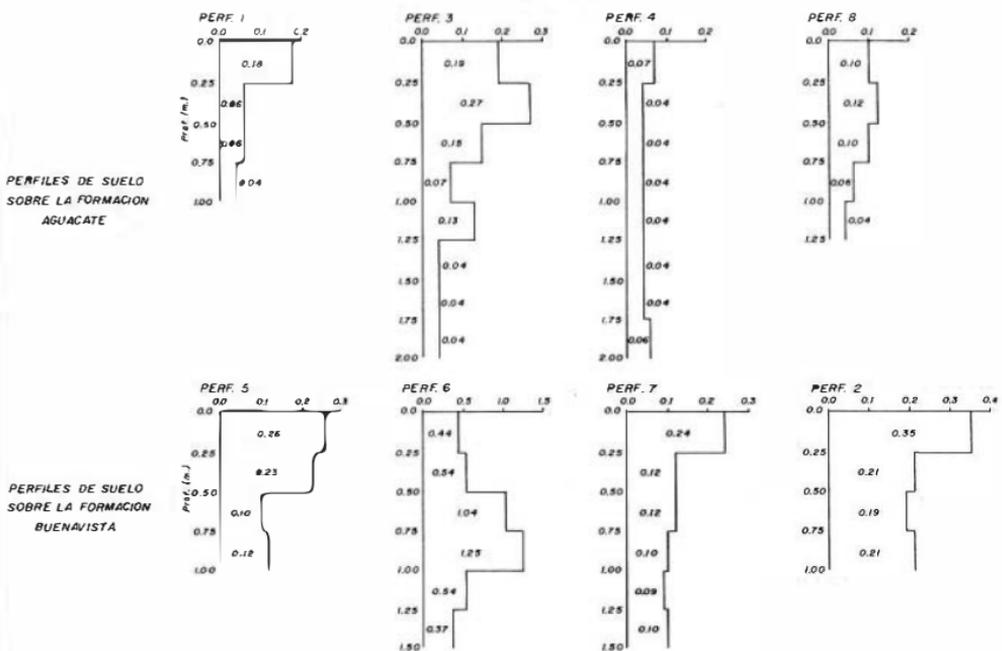


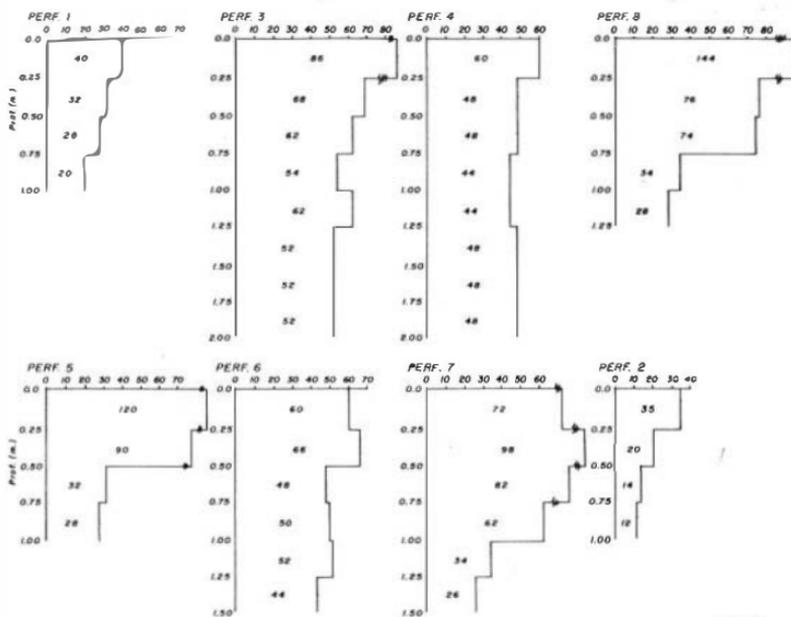
16

Aluminio (Al) meq/100ml. suelo

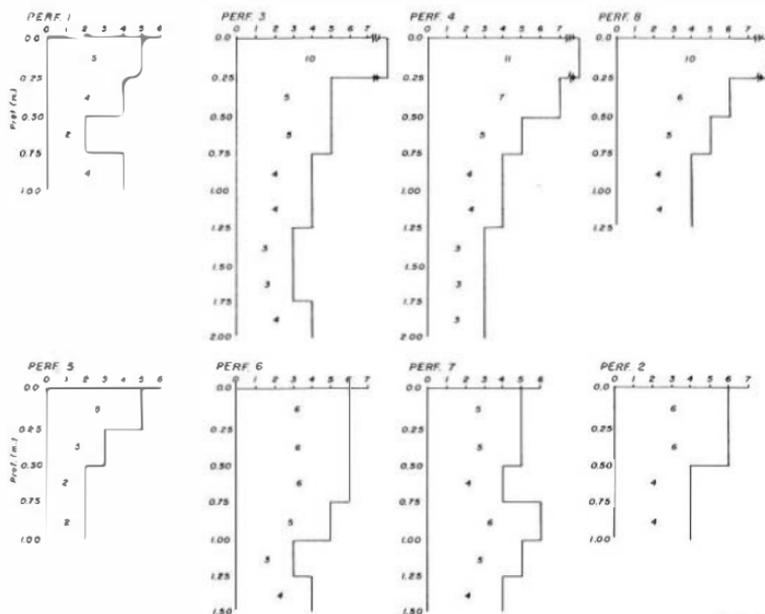


Potasio (K) meq/100ml. suelo



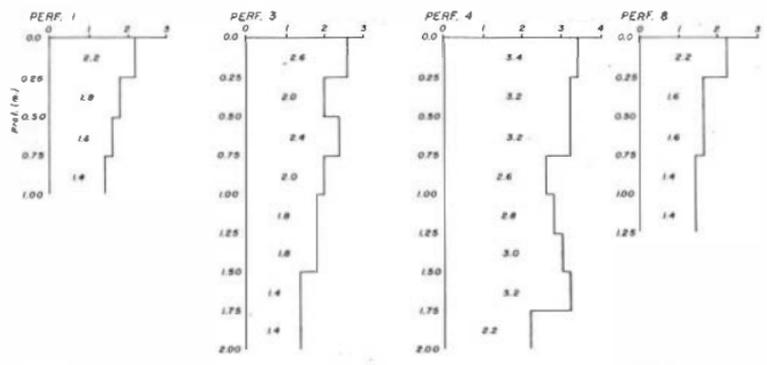
Hierro (Fe) $\mu\text{g}/\text{ml}$ suelo

19

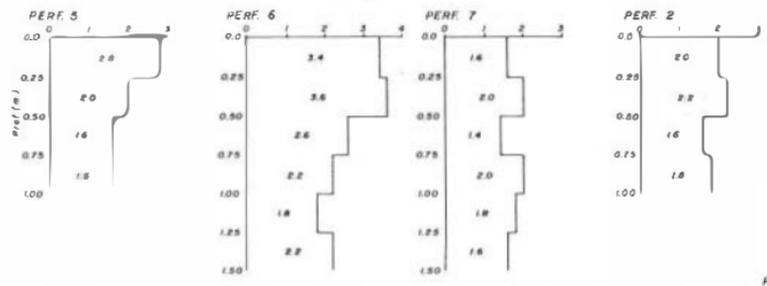
Cobre (Cu) $\mu\text{g}/\text{ml}$ suelo

Zinc (Zn) ug/ml. suelo

PERFILES DE SUELO
SOBRE LA FORMACION
AGUACATE



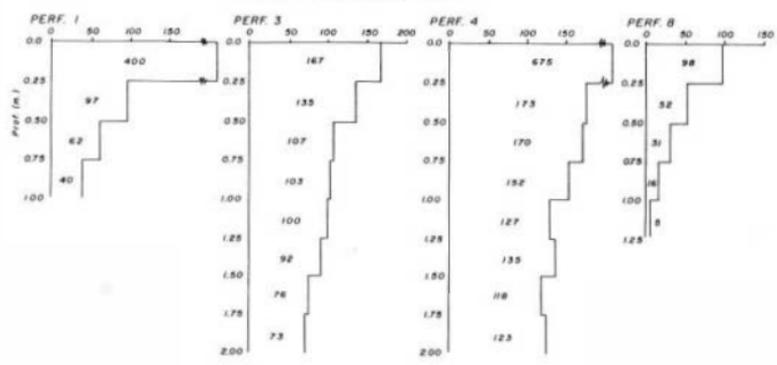
PERFILES DE SUELO
SOBRE LA FORMACION
BUENAVISTA



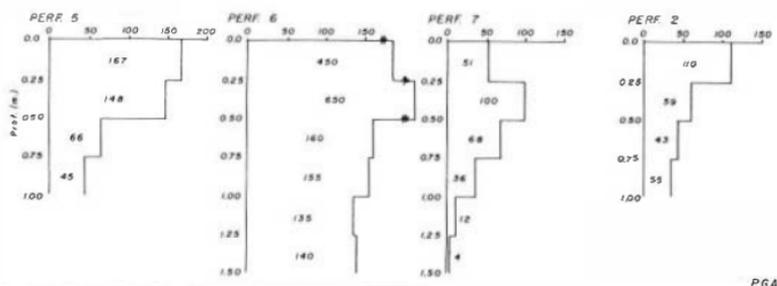
21

Manganeso (Mn) ug/ml. suelo

PERFILES DE SUELO
SOBRE LA FORMACION
AGUACATE



PERFILES DE SUELO
SOBRE LA FORMACION
BUENAVISTA



22