

Geoquímica ambiental de la Península de Nicoya, Costa Rica

por

Rolando Castillo-Muñoz*

(Recibido para su publicación el 15 de junio de 1977)

Abstract: 114 soil samples, 0.0-0.25 m horizon, collected on the Península de Nicoya, Costa Rica (3,000 Km²) at a mean density of one sample each 25 km², were analyzed for variables: pH, P, K, Ca, Zn, Cu, Mn, Fe, Mg, and Al. The samples were processed on an IBM 360/40 computer of the Centro de Informática of the Universidad de Costa Rica. Objective and interpretative maps of the different variables were obtained, beside the statistics of the main groups of soils selected according to their lithological origin. P, K, Zn and Fe show lower concentration patterns in relation to the established critical levels in agriculture, characteristic that should be studied because of possible soil deficiencies. K, Ca, Cu, Mn and Fe display very high concentration patterns in relation to the corresponding critical levels, which should also be investigated in order to know their incidence in plant and animal life. Al attains concentration values generally well below the critical level, although it is important to consider in detail the area surrounding Sámara and Punta Guiones which shows significantly high values. pH is generally low (< 6.4) on the peninsula and especially in the northern and south-central portions. With this first study of environmental geochemistry we hope to gain a more complete understanding of regional soil variations which would lead to a study procedure for practical applications in agriculture and soil management.

Estudios de geoquímica ambiental, de baja densidad de muestreo sistemático, como el que aquí se presenta no se han llevado a cabo en Costa Rica. Existen trabajos similares, sobre todo del tipo de la geoquímica aplicada a la exploración mineral como los de **Webb et al.** (1964), **Nichol, James y Viewing** (1966), **Armor-Brown y Nichol** (1970), y **Castillo** (1974). Todos estos estudios fueron hechos con base en el muestreo de sedimentos fluviales, con densidades de recolección entre una muestra cada 350 km² a una muestra cada 3.5 km².

* Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica.

También un estudio de geoquímica ambiental, con base en el muestreo de suelos, rocas, aguas y vegetación, fue iniciado en 1969 por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (**U.S. Geological Survey**, 1969, 1970, 1971, 1972) en el Estado de Missouri. En este estado, el muestreo de suelos, que es lo que más se asemeja a lo hecho en Costa Rica, fue a una densidad baja, de una muestra cada 350 km², en contraste con una densidad de una muestra cada 25 km² en la Península de Nicoya.

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 los resultados de geoquímica ambiental obtenidos en la Península de Nicoya, Costa Rica (Fig. 1), basados en 114 muestras de suelo, horizonte 0,0-0,25 m, sobre una superficie de aproximadamente 3.000 km², y de sus análisis para las variables: pH, P, K, Ca, Zn, Cu, Mn, Fe, Mg, y Al.

Como las muestras de suelos colectadas en la península fueron analizadas para los elementos químicos inmediatamente disponibles en la solución del suelo, se desea situar a este tipo de estudios de geoquímica ambiental dentro del ámbito de los levantamientos geoagronómicos. Con esta última denominación se desea mantener la terminología empleada por **Dóndoli** (1943, 1951, 1952, 1954), quien analizó en su lugar los componentes minerales del suelo y su importancia en la fertilidad potencial. En esta investigación se efectúan solamente correlaciones con las principales unidades y propiedades geológicas regionales de la zona estudiada.

Se espera introducir a geólogos y agrónomos en un campo de investigación aplicado, que de mantenerse y de disponer del apoyo institucional adecuado, aportará grandes beneficios al desarrollo agropecuario del país, entre otros: 1) en la distinción de áreas con mayor o menor incidencia de enfermedades en plantas y animales y en relación con el contenido edafoquímico de los suelos; 2) en el mejoramiento de las prácticas de fertilización en aquellas áreas con excesos o deficiencias de nutrimentos; y 3) en el aporte de información requerida por los levantamientos de uso potencial de la tierra, que en el futuro se realicen en la península.

MATERIAL Y METODOS

Clima: La mayor parte de la región estudiada se puede clasificar como de clima de sabana tropical lluviosa (**Strahler**, 1960). Las montañas más elevadas de la Península de Nicoya, localizadas en la porción sur producen durante la estación húmeda el llamado efecto orográfico, que ocasiona una mayor precipitación debido a las masas de aire cargadas de humedad provenientes del Océano Pacífico.

La Cordillera de Guanacaste al noreste y este de la región estudiada, constituye una prominente masa orográfica que limita la influencia del clima de selva tropical lluviosa del lado Atlántico al este, lo cual ha originado una zona de relativa baja precipitación que afecta ampliamente la parte norte de la región estudiada. El Cuadro 1 ilustra las características climatológicas de algunos lugares de la región.

Los meses de escasa o ninguna precipitación son enero, febrero y marzo, con un promedio mensual de 6,47 mm, mientras que el promedio mensual de máxima precipitación es de 378,8 mm y se alcanza con los valores registrados en junio, agosto y setiembre.

La temperatura mínima promedio oscila entre 18,2 y 20,2 C y la máxima, entre 32,4 y 35,0 C. La temperatura máxima se alcanza en abril en Nicoya, Santa

Cruz y Liberia y en Filadelfia en marzo. En Nicoya, Santa Cruz y Filadelfia la temperatura mínima se alcanza en diciembre y en Liberia en noviembre.

CUADRO 1

Valores climáticos () de algunos lugares de la Península de Nicoya*

Localidad	Altura sobre el nivel del mar (m)	Temperatura promedio anual (C)	Precipitación promedio anual (mm)
Liberia	144	27,0	1.625,4
Filadelfia	17	28,4	1.886,4
Santa Cruz	53	27,5	1.912,2
Nicoya	130	27,0	2.368,8
Cóbano	158	(**)	2.865,5

(*) Datos tomados del Servicio Meteorológico de Costa Rica, observaciones de 1960 a 1964.

(**) Dato no existente.

Geología:

En este estudio solamente se incluyen las características litológicas de las unidades: Complejo de Nicoya, las formaciones sedimentarias no diferenciadas del Cretácico, Formación Las Palmas, Formaciones Punta Carballo y Montezuma no diferenciadas, y Bagaces, tomando como referencia a **Dengo** (1962). Se procede en esta forma en vista que el muestreo de suelos se concentró sobre estas unidades geológicas. No obstante, se presenta en la Figura 2 la delimitación de las otras unidades geológicas de la región hasta la frontera con Nicaragua.

El Complejo de Nicoya, que cubre la mayor parte de la región estudiada, es una unidad compuesta por basaltos espilíticos, aglomerados, brechas de basalto y liditas, intrusiones de gabro, diabasa y diorita, grawacas macizas y compactas de color gris oscuro, ftanitas y lutitas ftaníticas y calizas silíceas afaníticas, en conjunto muy plegadas y con evidencia de bajo metamorfismo como cloritización de los basaltos a lo largo de los planos de cizallamiento. Dentro del Complejo de Nicoya, en el área comprendida entre Bahía Brasilito y Bahía Tamarindo, hasta los terrenos aledaños a Cartagena y al Norte de Santa Cruz, existe abundancia de afloramientos de liditas (**Castillo**, 1974). Estas liditas están constituidas principalmente por ftanitas de color rojo, amarillo, rosado y crema, y limolitas silíceas de tonalidades grises, crema y rojizo. Esta característica litológica contrasta con el predominio de rocas de composición basáltica que afloran al norte y al sur del área anterior. Además, se observaron en esta parte mineralizaciones de manganeso asociadas a las liditas (**Castillo**, 1974).

Las rocas sedimentarias no diferenciadas del Cretácico (formaciones Rivas y Sabana Grande), están constituidas por lutitas, areniscas silíceas y ftanitas con radiolarios, capas delgadas de conglomerado, grawacas, areniscas de grano grueso, medio y fino, limolitas, lutitas calcáreas y calizas que geográficamente presentan diversas secuencias de intercalación.

La Formación Las Palmas, del Paleoceno, está formada por capas delgadas bien estratificadas de limolita y lutita, con intercalaciones de arenisca, y masas lenticulares de caliza arrecifal.

Las formaciones Punta Carballo y Montezuma, sin diferenciar, del Mioceno, están compuestas por conglomerados, areniscas calcáreas, limolitas, en parte fosilíferas poco consolidadas, pobremente estratificadas y en capas horizontales.

La Formación Bagaces, del Cuaternario, consiste de tobas dacíticas y/o cuarzoláticas, la mayoría ignimbríticas, formadas por una masa heterogénea de fragmentos de pómez y fragmentos líticos cementados por una matriz vítrea aglutinada.

Sedimentos recientes, aluviales y fluviolacustres, se distribuyen en las áreas de relieve relativamente plano, constituidas por materiales derivados de las formaciones antes mencionadas y alcanzan su mayor cobertura superficial en los terrenos aledaños al valle de río Tempisque.

Suelos: Los principales grupos de suelo de la región fueron reportados en 1965 (**AID Resources Inventory Center**) y se presentan en la Figura 3. Sin embargo, desde un punto de vista geológico, se hace una descripción general de los principales grupos de suelo observados, en especial en relación con las principales unidades geológicas del área estudiada.

En la región estudiada predominan los suelos lateríticos profundos, bien drenados, de color pardo rojizo y pardo amarillento, arcillosos, desarrollados principalmente sobre las rocas del Complejo de Nicoya. Aquellos suelos desarrollados sobre las rocas sedimentarias del Cretácico y Terciario son también profundos, bien drenados, de color pardo con tonalidades locales pardo oscuras a pardo claras y pardo rojizas a amarillentas, cuando están laterizadas; con menor frecuencia aparecen coloraciones que gradan del gris al parduzco; estos suelos son generalmente arcillosos y algunas veces areno-arcillosos, sobre todo cuando se han desarrollado sobre areniscas.

Los suelos desarrollados sobre la Formación Las Palmas muestran menor grado de laterización.

Los suelos sobre la Formación Bagaces son muy silíceos, de pobre a regularmente desarrollados, de poco espesor, bien drenados, de color pardo oscuro, pardo claro o grisáceo y de textura areno-arcillosa.

Es común encontrar litosoles desarrollados sobre las partes más abruptas de la región en donde predomina la mayor erosión, y suelos grises arcillosos con drenaje pobre, localizados en las partes planas (planosoles) entre colinas, los cuales no fueron motivo de muestreo en este estudio.

Generalmente, la parte superior de los suelos bien desarrollados adquieren una coloración pardo oscura, debido al acúmulo de materia orgánica derivada principalmente del pasto y algunos otros tipos de vegetación autóctona, y una coloración pardo grisácea como resultado de las cenizas de materia orgánica dejadas por las quemadas que con frecuencia los agricultores efectúan durante la época seca.

Fisiografía: La parte norte de la Península de Nicoya coincide con un relieve relativamente plano, de más de 200 m de elevación, constituido por tobas dacíticas

de la Formación Bagaces.

Al sur de los terrenos aledaños a Bahía Culebra y Punta Gorda, hasta un límite hipotético comprendido entre Santa Cruz y un poco al sur de la Bahía Tamarindo, se ha desarrollado una topografía de colinas erosionadas bajas, inferiores a 400 m, con valles de fondo plano; esta unidad fisiográfica se ha formado sobre la asociación de rocas basálticas y liditas del Complejo de Nicoya (Castillo, 1974).

Inmediatamente al sur de esta unidad y siempre sobre rocas del Complejo de Nicoya, se presenta un relieve más abrupto, con picos más elevados, de los cuales los que alcanzan mayor elevación son: el Cerro Vista de Mar o Lechuza (983 m), Cerro Mata de Caña (972 m) y el Cerro Brujo (970 m) de la hoja cartográfica Cerro Brujo, en la parte central de la península, al oeste de Nicoya, y el Cerro Venados (883 m) en la hoja Matambú, cerca de Monte Romo. El relieve abrupto anterior se confunde al sur y al sudeste con una topografía igualmente escabrosa sobre las rocas sedimentarias de la región, posteriores en edad al Complejo de Nicoya. Estas rocas sedimentarias han dado origen a una fisiografía constituida por serranías que se orientan en la misma dirección del eje de los pliegues tectónicos con elevaciones que alcanzan hasta 775 m.

En el extremo sur de la península y limitando al norte con la topografía escabrosa de la porción central, aparece una topografía suave, de pequeñas serranías y colinas inferiores a 400 m, la cual se ha desarrollado también sobre rocas del Complejo de Nicoya, y en menor proporción sobre las rocas sedimentarias del Cretácico. Este relieve denota una superficie más erosionada y posiblemente más antigua que el relieve escabroso localizado inmediatamente al norte sobre rocas del propio Complejo de Nicoya y rocas sedimentarias del Cretácico. La morfología anterior limita al sur con una topografía ondulada a plana, desarrollada sobre las rocas sedimentarias horizontales de la Formación Montezuma que afloran en el extremo sur de la península.

Muestreo y preparación de las muestras: Las 114 muestras de suelo fueron recogidas en cortes de camino, a una densidad promedio aproximada de una muestra por cada 25 km². En cada sitio se colectaron dos muestras de suelo: una en la zona comprendida entre 0,0-0,25 m, y otra a 1,00 ± 0,05 m de profundidad en el mismo perfil. Sin embargo, en este estudio solamente se incluyen los resultados de la profundidad 0,0-0,25 m o capa arable del suelo. Los resultados correspondientes a la profundidad 1,00 ± 0,05 m servirán de base para otro trabajo que comprenderá no solamente las variaciones regionales superficiales de concentración a la profundidad 1,00 ± 0,05 m sino también las variaciones regionales en profundidad de los suelos de la Península de Nicoya.

El muestreo se efectuó principalmente sobre los suelos lateríticos desarrollados en rocas del Complejo de Nicoya, y en menor proporción sobre las rocas sedimentarias no diferenciadas del Cretácico; pocas muestras fueron colectadas sobre las formaciones Las Palmas del Paleoceno, las formaciones Punta Carballo y Montezuma no diferenciadas del Mioceno, y la Formación Bagaces del Cuaternario. Una muestra colectada en la Península de Santa Elena no fue considerada en este análisis por estar fuera del área de estudio. Los valles de fondo plano entre colinas, constituidos por materiales fluviolacustres recientes, no se muestrearon en esta primera fase experimental. Las muestras fueron secadas al horno a baja temperatura (80-100 C) y posteriormente molidas en un mortero de alúmina. Del molido se obtuvo la fracción -80, usando una malla de aluminio y plástico para efectuar el análisis químico.

Técnicas analíticas: El análisis químico de las muestras fue realizado 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, utilizando un volumen de 2,5 ml de muestra de suelo y 25 ml de solución extractora para realizar las determinaciones de P, K, Ca, Zn, Cu, Mn, Fe, Mg y Al.

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) ajustada a un pH 8,5 con NaOH (R. Amerling, comunicación personal). El tiempo de extracción fue de 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 103. 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 y el Al por titulación con una solución NaOH 0,01 N y fenoltaleína como indicador. El pH se determinó con un potenciómetro Beckman en una solución suelo-agua en proporción 1:2,5 respectivamente.

Procesamiento de los datos: En el procesamiento de los datos edafoquímicos se aplicaron métodos estadísticos prácticos y efectivos por medio de computadora. Aunque estos métodos estadísticos fueron anteriormente muy usados en los estudios geoquímicos aplicados a la exploración mineral, en la actualidad se aplican en estudios de geoquímica ambiental, como el levantamiento geoquímico de suelos del estado de Missouri (U. S. Geological Survey, 1969, 1970, 1971, 1972).

En este estudio los datos analíticos de los suelos fueron procesados por medio del sistema G-EXEC adaptado por el Instituto de Ciencias Geológicas de la Gran Bretaña a la computadora IBM-360/40 del Centro de Informática de la Universidad de Costa Rica.

Se empleó el programa GLPMAP para obtener los mapas, objetivos e interpretativos, de distribución superficial o paisaje geodafuquímico. Se aplicaron: la opción para la obtención del graficado de los datos originales dentro de determinados ámbitos de clase y la de suavizamiento de los datos por medio del método de la media-móvil pesada con el propósito de minimizar la variabilidad. En este método, la media del grupo de observaciones analíticas contenidas dentro de una celda móvil de tamaño constante se calcula conforme la celda se desplaza progresivamente, con sobreposición entre éstas, sobre el área cubierta por los datos. El programa GLPMAP calcula automáticamente el tamaño óptimo de la celda.

El cálculo de los parámetros estadísticos (media, desviación estándar y ámbito) se realizó empleando el programa GSTAT3.

RESULTADOS Y DISCUSION

Lo que posteriormente se presenta, en relación con la distribución regional de los elementos químicos en los suelos de la Península de Nicoya, no se compara con otros trabajos sobre la misma área de estudio, dado que al presente no se conocen en el país, otras investigaciones regionales similares.

Aunque el personal del Laboratorio de Suelos del MAG ha hecho análisis de suelo de diferentes partes del territorio nacional, ninguno se basó en muestras colectadas sistemáticamente como fue hecho en el curso del presente estudio.

Distribución superficial de los elementos: Las Figuras 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28 y 31 dan información sobre la concentración de cada uno de los elementos estudiados en cada sitio de muestreo dentro de un intervalo de concentración. Las Figuras 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26, 29 y 32 se refieren a los patrones de concentración superficial obtenidos al suavizar los datos originales directamente al aplicar la media móvil pesada. Las figuras 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30 y 33 reflejan patrones de concentración iguales a los anteriores, pero disminuyendo el número de clases de concentración, con una consecuente ampliación de los ámbitos en la mayoría de las clases para lograr una distribución más regional de la concentración de los elementos exclusivamente dentro de la Península de Nicoya. Se espera con esta práctica contribuir a minimizar la distorsión que por desplazamiento horizontal sufren los patrones suavizados de concentración en la periferia del mapa por influencia de las coordenadas.

La descripción que para cada elemento o variable se hace más adelante, se basa principalmente en los patrones suavizados observados en las Figuras 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30 y 33. Las figuras restantes suministran información adicional para lograr apreciaciones más específicas en relación con las consideraciones regionales.

El pH (Figuras 5 y 6) tiende a ser mayor hacia los extremos norte y sudeste de la península, mientras que los valores menores se sitúan en las partes central y sur. Los suelos de menor acidez, extendiéndose en la porción norte, similares a los del sudeste, se han desarrollado sobre rocas del Complejo de Nicoya, caracterizados por una abundancia de lilitas, menos lixiviadas, posiblemente debido a la menor precipitación de la zona. En el extremo sur de la península el régimen de lluvias es más intenso y los suelos más ácidos ($< 6,0$), posiblemente debido a la mayor precipitación y consecuente lixiviación de la zona.

En vista de existir similares concentraciones de calcio, tanto en la parte norte como central-sur de la península, se infiere que las diferencias de pH son principalmente debidas a las variaciones del régimen pluvial.

El fósforo (P) exhibe un aumento hacia el sudeste de la península y otro hacia el noroeste (Figuras 8 y 9): hacia el sudeste, en suelos desarrollados sobre las formaciones del Cretácico y sobre la Formación Las Palmas, y hacia el noroeste sobre las rocas del Complejo de Nicoya, con abundancia de lilitas. La mayor parte de la península, caracterizada principalmente por rocas del Complejo de Nicoya, es deficiente en fósforo.

El potasio (K) muestra un aumento hacia el sudeste en suelos desarrollados sobre las rocas no diferenciadas del Cretácico y del Paleoceno, y una notable disminución ($< 0,23$ meq/100 ml suelo) en la sección central-sur y norte, en suelos principalmente desarrollados sobre rocas del Complejo de Nicoya (Figuras 11 y 12). En general, el contenido de K en la península es bajo, posiblemente deficiente, con excepción del extremo sudeste que alcanza valores altos, superiores a 0,40 meq.

La distribución del calcio (Ca) (Figuras 14 y 15) es en general uniforme (12,1-19,0 meq/100 ml); estos suelos se han desarrollado principalmente sobre rocas del Complejo de Nicoya. Sin embargo, en forma discontinua se presentan unos patrones de mayor concentración (19,1-26,0 meq) en el margen este de la península, en especial los del norte de Carmona y Paquera, posiblemente debido a la presencia de formaciones calcáreas, como las del Cretácico y Las Palmas. Las causas que han dado origen al patrón de concentración cercano a Santa Cruz son desconocidas. En apariencia, no hay problema de deficiencia del elemento, en vista que las concentraciones se sitúan sobre el nivel crítico (4,0 meq/100 ml), con excepción del extremo norte; sin embargo, esta última parte debe ser considerada con cautela,

puesto que un escaso número de muestras representan al patrón correspondiente.

El zinc (Zn) muestra un patrón de concentración elevado (2,64-14,56 $\mu\text{g/ml}$ suelo) en los suelos aledaños a Carmona, con disminución gradual hacia las partes laterales, alcanzando las menores concentraciones ($< 0,7 \mu\text{g/ml}$) hacia el extremo sudeste y la parte central-norte de la península (Figuras 17 y 18). De acuerdo con el nivel crítico (3,0 $\mu\text{g/ml}$) los suelos son posiblemente deficientes, tanto aquellos desarrollados sobre rocas del Cretácico y la Formación Las Palmas al sudeste, como los formados sobre el Complejo de Nicoya, que constituyen la mayor parte de la zona estudiada.

El cobre (Cu) exhibe la mayor concentración (6,9-12,6 $\mu\text{g/ml}$) en la parte central de la península, en suelos desarrollados sobre el Complejo de Nicoya (Figuras 20 y 21) y en la parte sur, aparentemente en suelos desarrollados sobre las rocas del Mioceno (Formación Montezuma). Además, se distingue una disminución de la concentración hacia las porciones norte y sudeste de la península. Al norte la disminución se observa en suelos desarrollados sobre el Complejo de Nicoya ($< 1,0$ -6,8 $\mu\text{g/ml}$) y posiblemente en suelos originados sobre la Formación Bagaces ($< 1,0 \mu\text{g/ml}$), sin embargo, se requiere coleccionar más muestras sobre esta unidad para corroborar lo observado en este estudio regional. Al sudeste la disminución ($< 1,0$ -6,8 $\mu\text{g/ml}$) tiene lugar en suelos originados sobre las rocas del Cretácico y la Formación Las Palmas.

El manganeso (Mn) muestra un aumento notable hacia el sur de la península e inversamente una disminución hacia el norte, en los suelos aledaños a Sardinal y Filadelfia (Figuras 23 y 24). Los valores más bajos (7,0-25,6 $\mu\text{g/ml}$), en los suelos de la porción norte, coinciden con el área mayormente influenciada por lititas; por el contrario, esta área contrasta a la inversa por la presencia de mineralizaciones de manganeso. Posibles deficiencias ($< 5,0 \mu\text{g/ml}$) podrían detectarse en la parte norte y toxicidades en la parte sur.

El hierro (Fe) tiende a disminuir hacia los extremos sudeste (formaciones sedimentarias del Cretácico y Paleoceno) y al norte, de la península (Complejo de Nicoya y Formación Bagaces) (Figuras 26 y 27) en forma de dos franjas alternas de muy baja concentración ($< 3,0 \mu\text{g/ml}$) separadas por otra intermedia de mayor contenido (3,0-11,7 $\mu\text{g/ml}$). Una zona de mayor concentración (11,8-20,4 $\mu\text{g/ml}$) se presenta en la porción central-sur. Con referencia al nivel crítico (10,0 $\mu\text{g/ml}$) los suelos serían probablemente deficientes en las áreas con 3,0 $\mu\text{g/ml}$ y posiblemente deficientes en algunas áreas con valores dentro del ámbito 3,0-11,7 $\mu\text{g/ml}$.

La mayor concentración de magnesio (Mg) (6,81-8,40 meq/100 ml) se observa en la parte norte-central de la península en suelos desarrollados sobre el Complejo de Nicoya (Figuras 29 y 30). Hacia el norte, esta alta concentración disminuye gradualmente, en los alrededores de Sardinal, a 5,21-6,80 meq/100 ml, en suelos principalmente desarrollados sobre rocas del Complejo de Nicoya y a 3,61-5,20 meq/100 ml en suelos principalmente originados sobre rocas de la Formación Bagaces en el extremo norte del área estudiada. Hacia el sur y sudeste, el patrón de mayor concentración pasa también a otros patrones de menor contenido de magnesio, los cuales forman una distribución ondulada de concentración que varía entre 3,61-6,80 meq/100 ml; parte de esta distribución se ha desarrollado sobre rocas del Complejo de Nicoya y las formaciones sedimentarias del Cretácico y Terciario. Aparentemente las posibilidades de deficiencia del elemento son bajas.

El contenido de aluminio (Al) es similar ($< 0,06$ meq/100 ml suelo) en la casi totalidad del área estudiada de la península, con excepción de un patrón más elevado (0,06-0,35 meq/100 ml) principalmente en los suelos desarrollados sobre

CUADRO 2

Composición edafocímica de los suelos de la Península de Nicoya según su origen litológico

		pH	P μg/ml	K meq/100ml	Ca meq/100ml	Zn μg/ml	Cu μg/ml	Mn μg/ml	Fe μg/ml	Mg meq/100ml	Al meq/100ml
Complejo de Nicoya n = 76	\bar{X}	6,25	2,97	0,27	19,06	2,02	6,74	53,38	13,41	7,33	0,13
	s	0,34	4,48	0,31	7,47	1,90	5,42	41,85	16,58	3,31	0,17
	A	5,6-7,2	1,0-20,0	0,03-1,25	5,5-33,5	0,8-12,0	1,0-31,0	6,0-175,0	2,0-86,0	2,1-14,8	0,05-1,1
Cretácico n = 39	\bar{X}	6,05	4,9	0,46	21,6	2,12	4,2	83,2	13,8	6,09	0,1
	s	0,31	7,22	0,25	5,02	1,23	1,81	37,52	14,53	2,01	0,02
	A	5,8-6,6	1,0-20,0	0,09-0,96	15,5-32,0	1,0-5,2	1,0-7,0	14,0-133,0	2,0-50,0	3,6-9,5	0,05-0,15
Las Palmas n = 2	A	6,4-6,5	1-19	0,72-1,25	26,5-31,5	4,9-6,0	0,10	4-10	3,0	1,0-2,6	29-54
Bagaces n = 2	A	6,1-6,2	1,0	0,16-0,58	15,5-17,5	4,9-5,0	0,10	8-10	4,0	2,0-2,2	53-88
Montezuma n = 1		6,1	1,0	0,12	20,5	5,1	0,10	8,0	4,0	2,8	175

\bar{X} = media aritmética

s = desviación estándar

A = ámbito

n = número de muestras y variables

rocas del Cretácico en los alrededores de Sámara y Punta Guiones (Figuras 32, 33). En general, el contenido de aluminio en los suelos se ubica dentro del nivel deseable ($< 0,3$ meq).

Composición edafocímica por unidades litológicas: El Cuadro 2 muestra la concentración de cada uno de los elementos y variables analizados en los suelos, agrupados por origen litológico de acuerdo con el muestreo.

Los suelos desarrollados sobre las rocas del Complejo de Nicoya tienden a ser ligeramente menos ácidos que aquellos originados sobre las rocas del Cretácico y al mismo tiempo de un contenido menor de los elementos P, K, Ca, Zn, Mn y Fe y mayor de Cu, Mg y Al. Al mismo tiempo, el Cu muestra una variabilidad sustancialmente mayor en los suelos desarrollados sobre el Complejo de Nicoya, que aquellos formados sobre las rocas del Cretácico, mientras que los demás elementos y variables muestran variaciones no significativas entre sí, con excepción del Al que muestra la menor variabilidad.

Algunos valores de concentración referentes a las formaciones Las Palmas y Bagaces no muestran ámbito (A), sino un valor absoluto. Esto significa que en el análisis de las dos muestras de suelo ($n = 2$), colectadas sobre ambas formaciones, se repitió el mismo valor. Consecuentemente se presenta una situación similar cuando se analiza solamente una muestra ($n = 1$) como es el caso de la Formación Montezuma. La composición edafocímica de las formaciones Las Palmas, Bagaces y Montezuma, se incluye con carácter solamente informativo y es provisional hasta tanto no se obtenga un número mayor de muestras sobre cada unidad geológica.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los patrones regionales de distribución superficial de los elementos estudiados permiten establecer las siguientes conclusiones geoagronómicas con base en los datos edafocímicos: 1) los elementos P, K, Zn y Fe muestran, en la península en general, patrones de concentración inferiores a los niveles críticos respectivos, lo que debería ser motivo de atención por posibles deficiencias; 2) el K, Ca, Cu, Mn y Fe muestran en algunas zonas, patrones de concentración muy elevados con respecto al nivel crítico, y ameritaría considerar su efecto en el crecimiento y desarrollo de las plantas y animales; 3) el Al aparentemente se ubica en general bajo el nivel deseable de $< 0,3$ meq/100 ml, con excepción del contenido que se observa en los suelos de los alrededores de Sámara y Punta Guiones (0,06-0,35 meq), que habría que estudiar más en detalle para confirmar o desechar este patrón; 4) el pH es generalmente bajo ($< 6,4$), producto de la profunda lixiviación de los suelos y en especial los de las porciones norte y sur-central; 5) se recomienda establecer un sistema de muestreo y preparación de muestras uniformes, de tal forma que todos los datos analíticos que de las muestras colectadas se deriven puedan ser utilizados por cualquier investigador que desee complementar y ampliar sus estudios.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al personal del 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; al

señor Jorge Laguna, Profesor de la Escuela Centroamericana de Geología, por su participación en la elaboración de los mapas preliminares.

RESUMEN

114 muestras de suelo, horizonte 0,0-0,25 m, colectadas en la Península de Nicoya, Costa Rica (3.000 km²), a una densidad de una muestra por cada 25 km², fueron analizadas para las variables pH, P, K, Ca, Zn, Cu, Mn, Fe, Mg, y Al. Las muestras, analizadas por el Laboratorio de Suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería, fueron procesadas en la computadora IBM 360/40 del Centro de Informática de la Universidad de Costa Rica. Se obtuvieron mapas objetivos e interpretativos de las diferentes variables, además de la estadística de los principales grupos de suelo por su origen litológico. Se espera con lo anterior empezar a conocer la variación regional de los elementos en diversos lugares del país.

Los elementos P, K, Zn, y Fe muestran patrones de concentración inferiores a los niveles críticos respectivos, lo cual debería ser motivo de estudio por eventuales posibles deficiencias en los suelos. El K, Ca, Cu, Mn, y Fe exhiben patrones de concentración muy elevada con respecto al nivel crítico, lo cual también ameritaría considerar por su incidencia en la vida vegetal y animal. El Al se ubica en general bajo el nivel deseable, aunque es importante considerar en detalle el área alrededor de Sámara y Punta Guiones, en donde la concentración está sobre el nivel deseable. El pH es generalmente bajo ($< 6,4$) en toda la península, y en especial en las porciones norte y sur-centrales.

Se espera con este primer trabajo en geoquímica ambiental, contribuir a desarrollar un procedimiento de estudio del medio ambiente de valor práctico para el desarrollo del sector agropecuario de Costa Rica.

REFERENCIAS

AID Resources Inventory Center

1965. Análisis regional de recursos físicos, Centroamérica y Panamá.

Armour-Brown, A., & I. Nichol

1970. Regional geochemical reconnaissance and the location of metallogenic provinces: *Econ. Geol.*, 65: 312-330.

Castillo, R.

1974. *Reconocimiento geoquímico regional de las Penínsulas de Nicoya y Santa Elena: Informe interno inédito*. Proyecto de Investigación Minera, 1975, Informe No. 1, Nicoya-Santa Elena. Naciones Unidas-Dirección de Geología, Ministerio de Economía, Industria y Comercio, San José, Costa Rica.

Costa Rica. Servicio Meteorológico

1970. *Lluvia, resumen de la década 1960-1969*. 91p.

Dengo, G.

1962. *Estudio geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica*. Instituto Geográfico de Costa Rica.

Dóndoli, C.

1943. *Visión rápida geoagronómica de la Meseta Central*. Departamento Nacional de Agricultura, San José, Costa Rica. Vol. Tec. No. 45.

Dóndoli, C.

1951. *Zona de Palmares. Estudio geoagronómico*. Ministerio de Agricultura e Industria, San José, Costa Rica. Vol. Tec. No. 5.

Dóndoli, C.

1952. Nota geoagronómica sobre la zona de Cañas Gordas y Sabalito. *Rev. Univ. Costa Rica*, 7: 29-39.

Dóndoli, C., & J. A. Torres

1954. *Estudio geoagronómico de la región oriental de la Meseta Central*. Ministerio de Agricultura e Industria, San José, Costa Rica.

Institute of Geological Sciences

1974. G-EXEC System. User's manual, Great Britain Computer Unit.

Nichol, I., L. D. James, & K. A. Viewing

1966. Regional geochemical reconnaissance in Sierra Leone *Trans. Inst. Min. Metall., London*, 75: 146-161.

Strahler, A.

1960. *Physical geography*. Wiley, New York. p. 186-187.

U. S. Geological Survey

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

Webb, J. S., J. Fortescue, I. Nichol, & J. S. Tooms

1964. *Regional geochemical reconnaissance in the Namwala concession area, Zambia*. Imperial College, Geochemical Prospecting Research Centre, Technical Communications No. 47, p. 42.

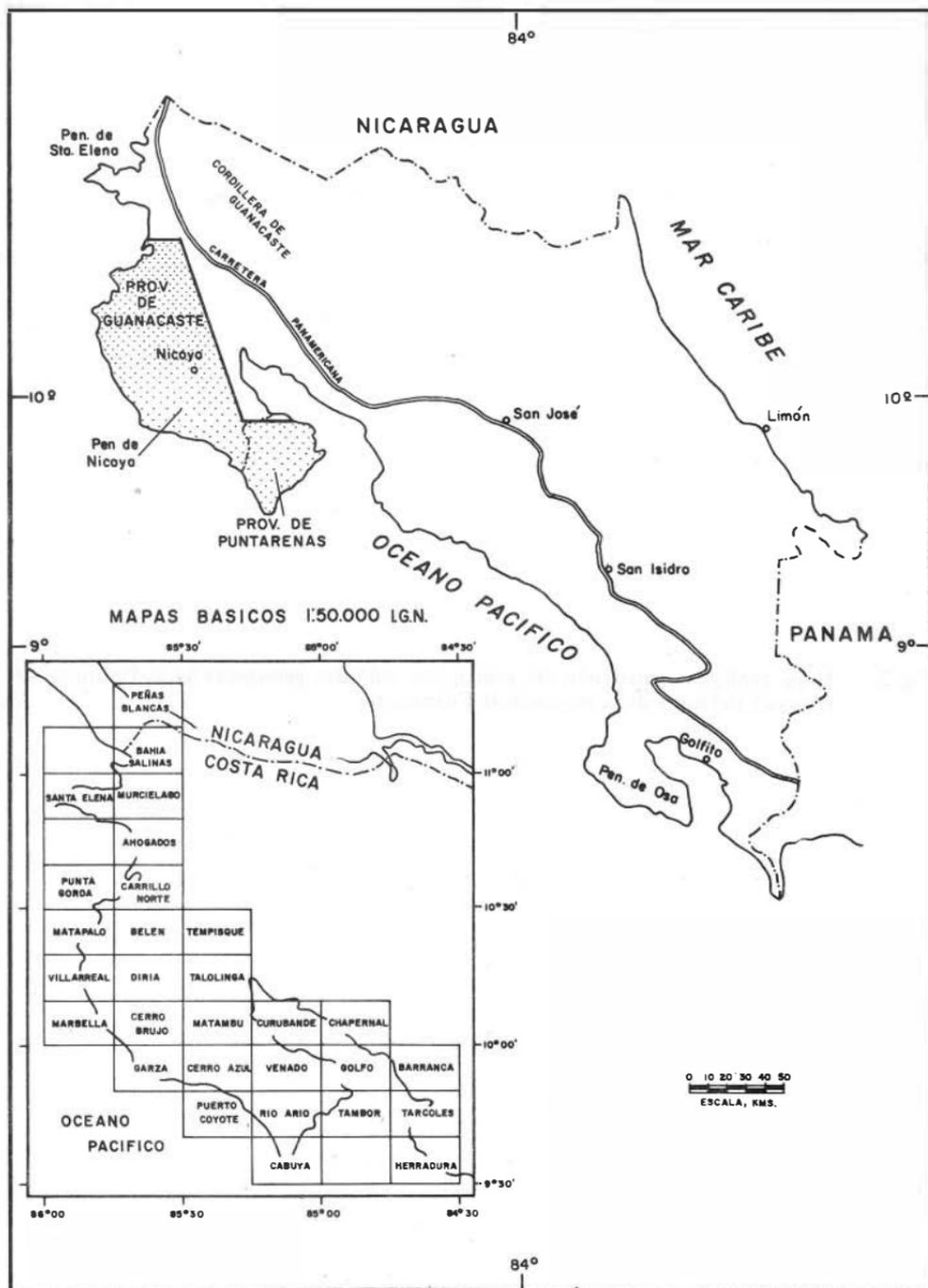


Fig. 2. Mapa geológico mostrando las principales unidades geológicas de la Península de Nicoya y del norte de la provincia de Guanacaste.

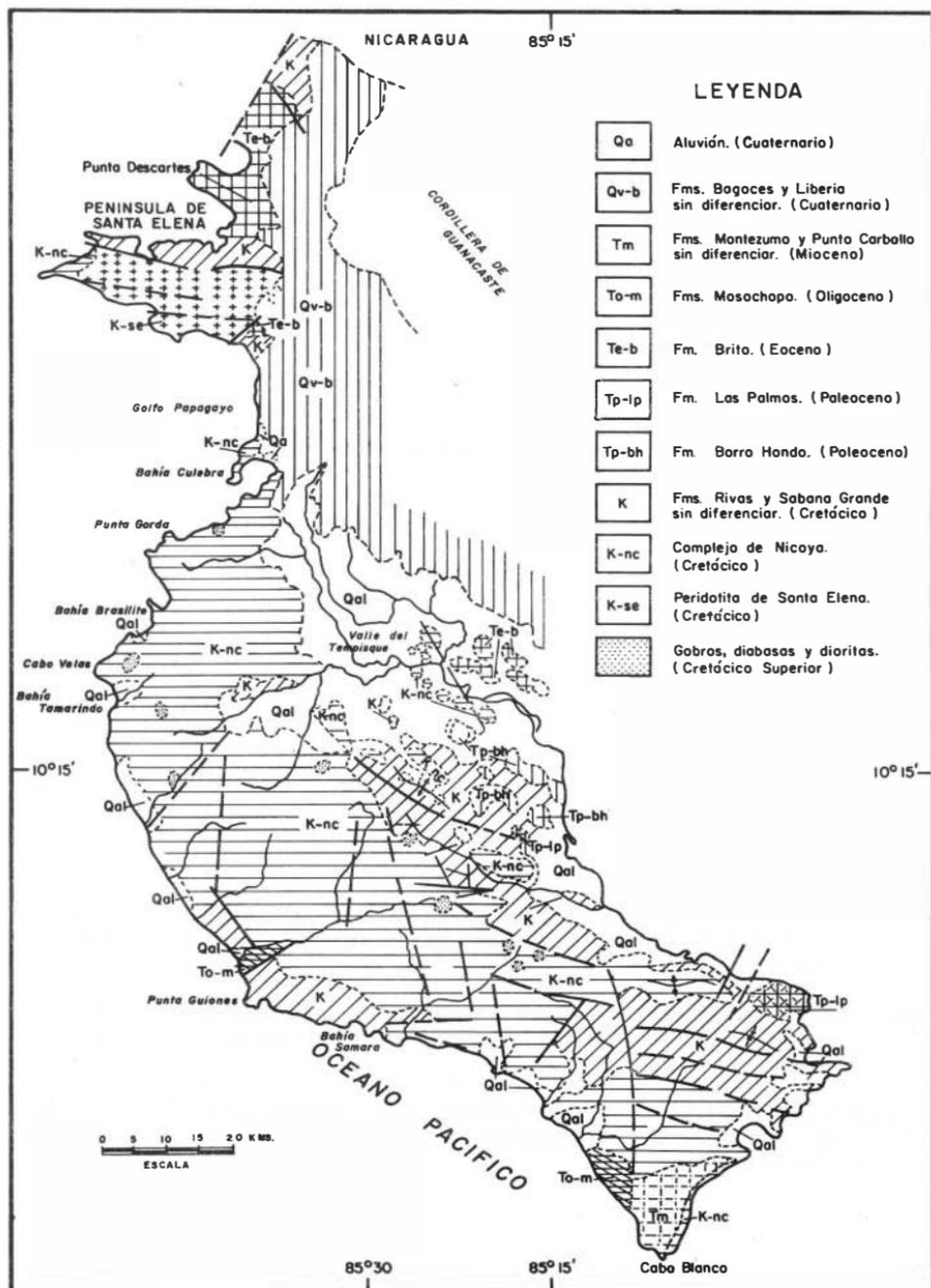
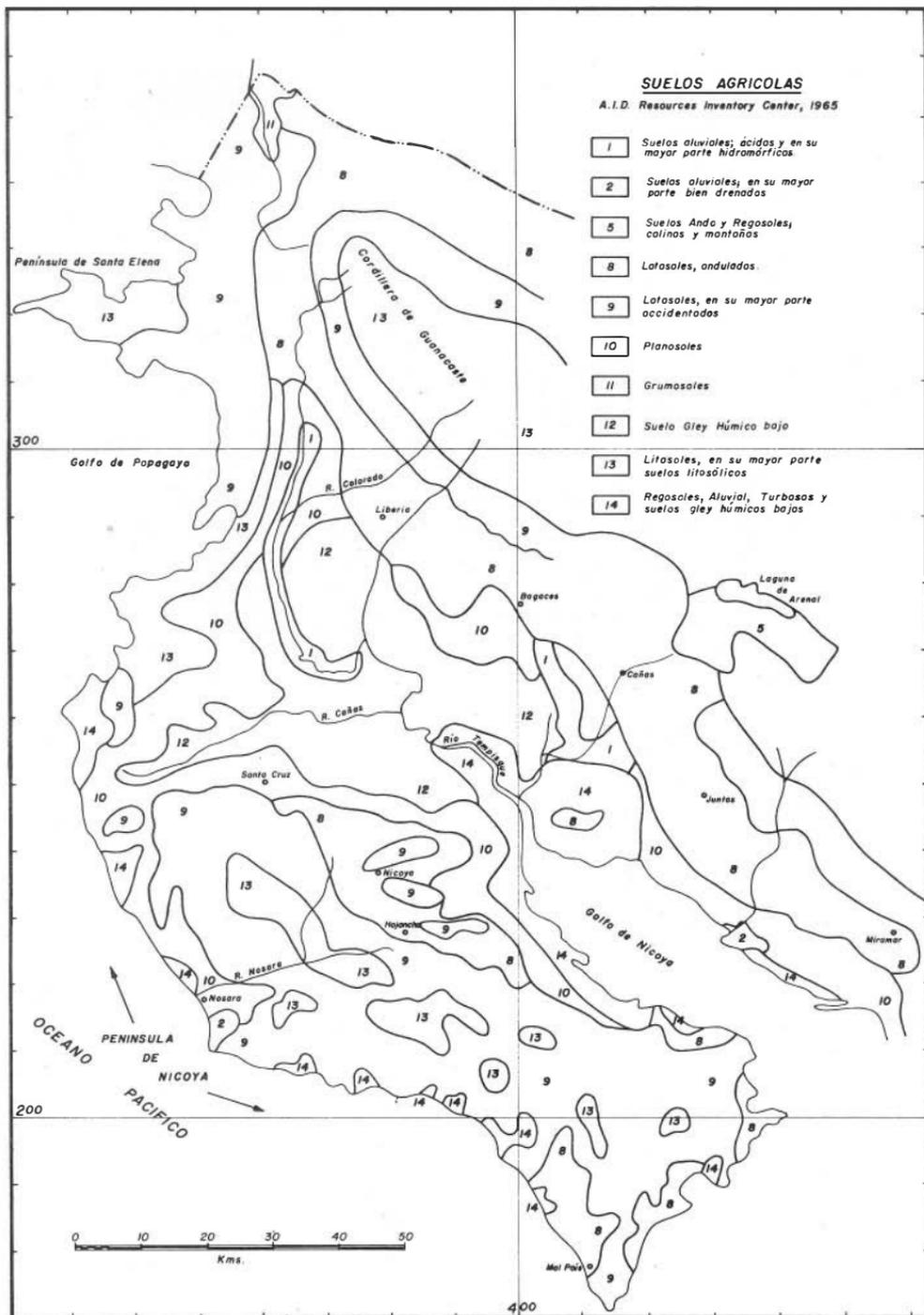


Fig. 3. Mapa de suelos agrícolas de la Península de Nicoya y otras áreas de la provincia de Guanacaste.

Figs. 4, 7, 10, 13, 16, 22, 25, 28 y 31. Mapas edafoquímicos de concentración de los elementos estudiados en cada sitio de muestreo (datos originales) dentro de un intervalo de concentración.

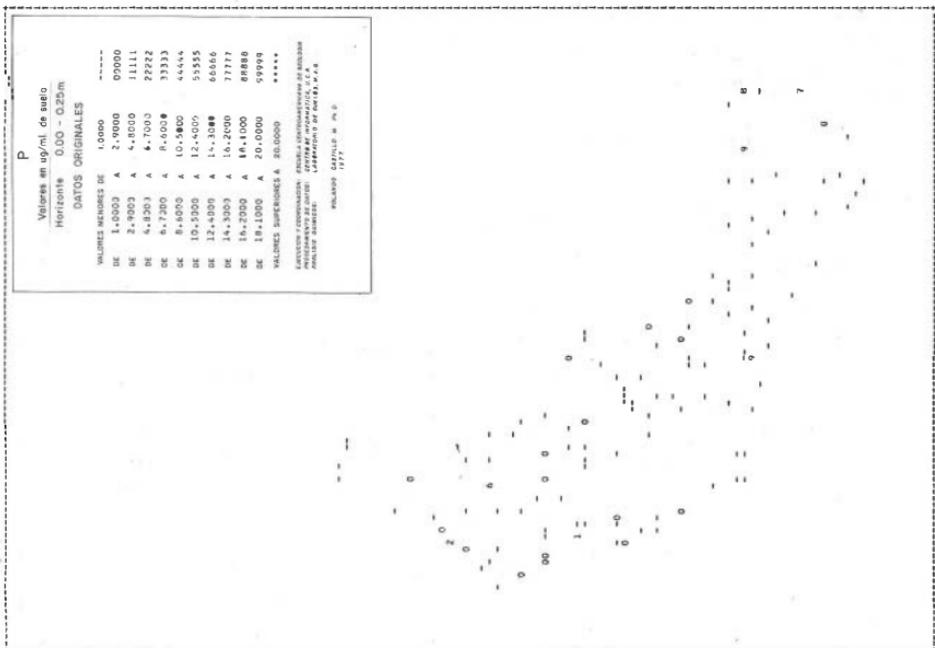
Figs. 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26, 29 y 31. Mapas edafoquímicos mostrando los patrones de concentración de los elementos estudiados, suavizados por medio de la media móvil pesada.

Figs. 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30 y 33. Mapas edafoquímicos preparados con base en los mapas de datos originales y suavizados, con disminución del número de clases de concentración.

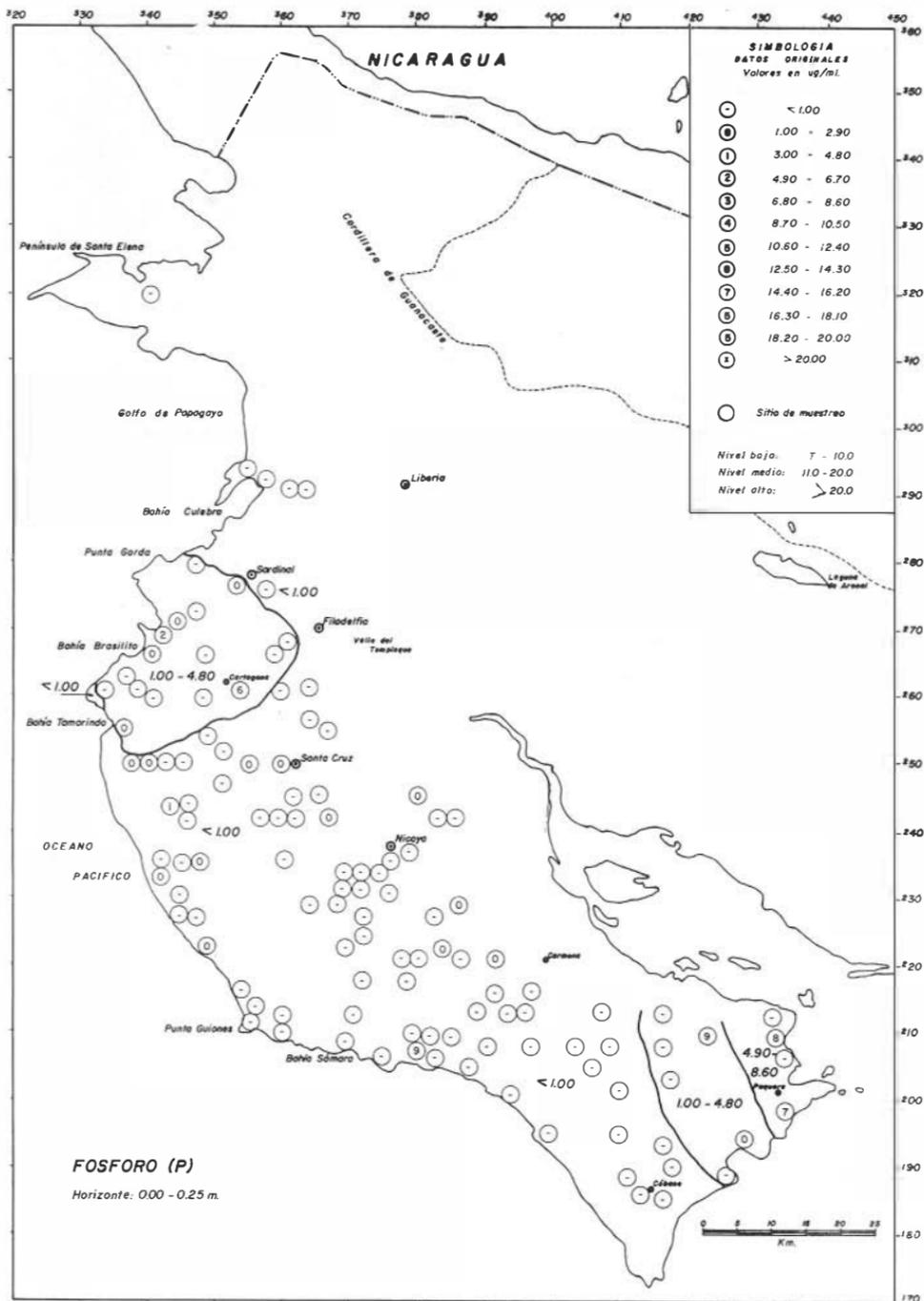


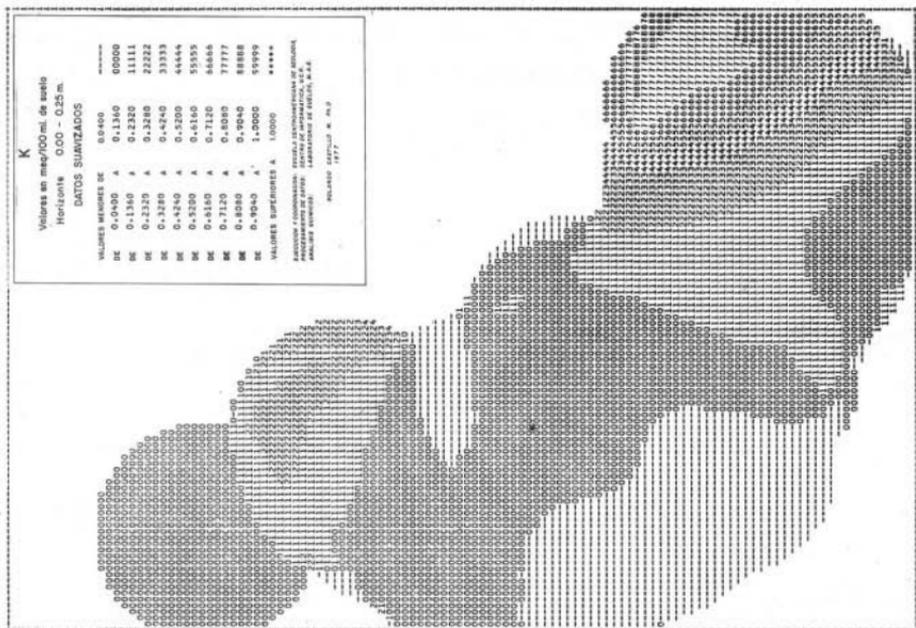


8

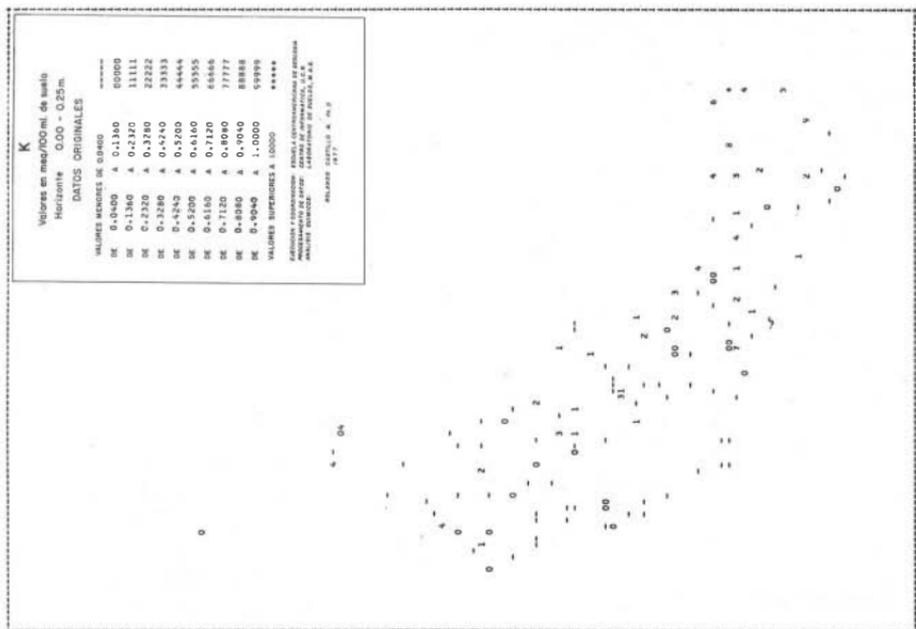


7

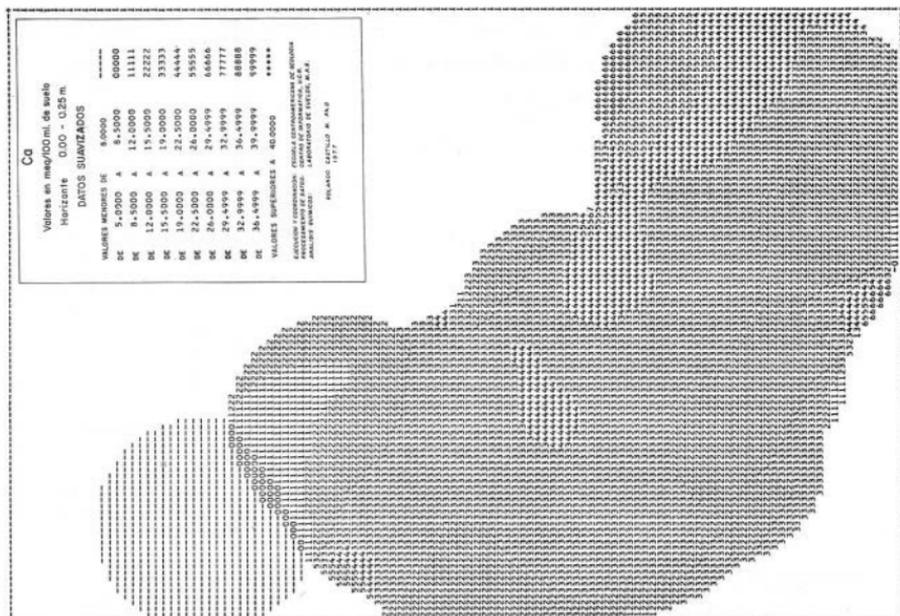




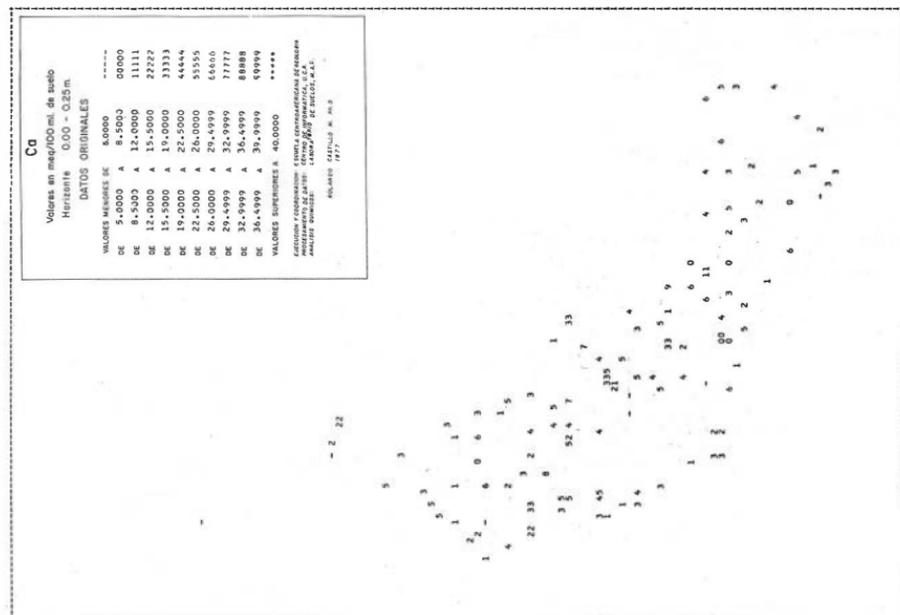
11



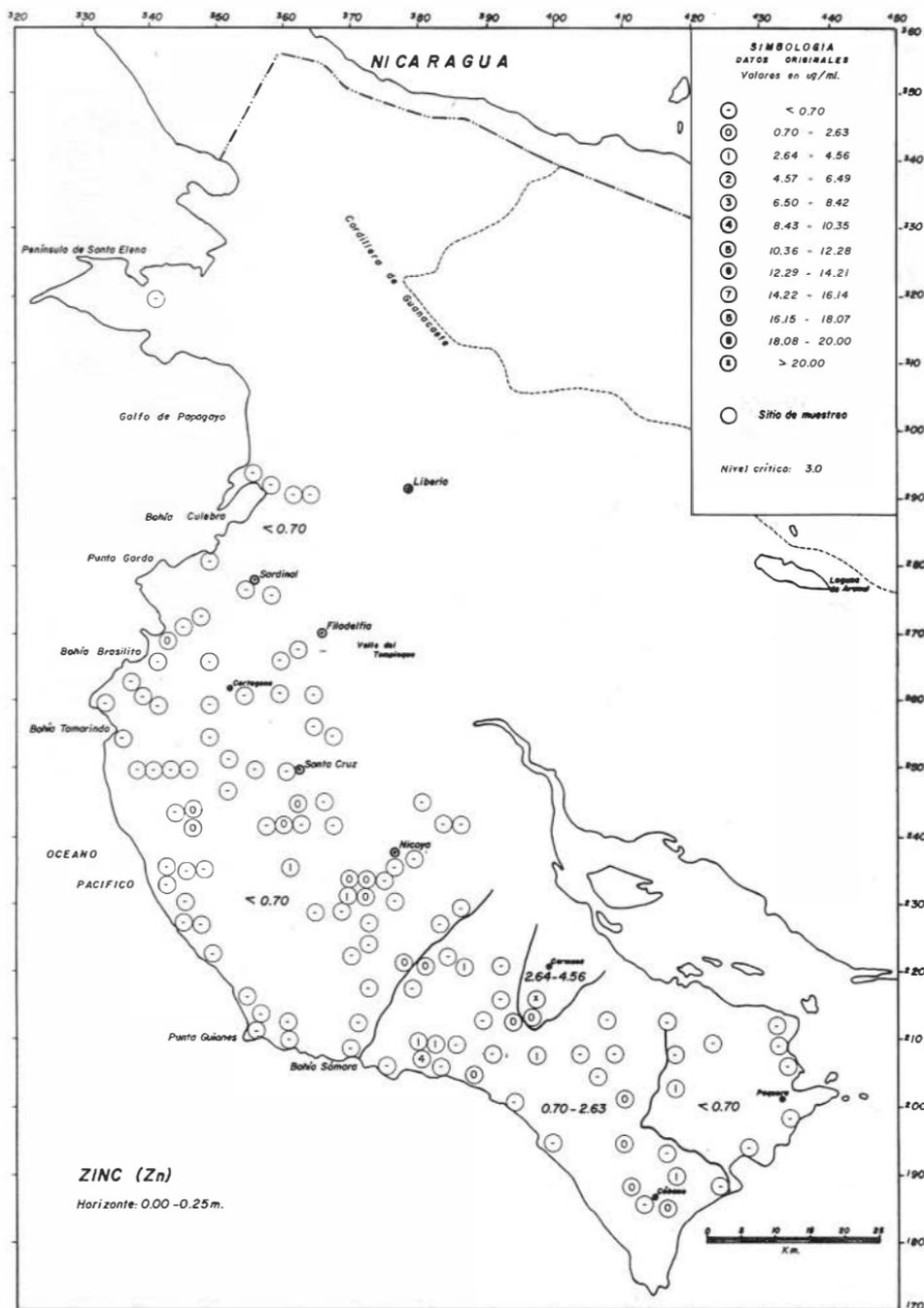
10

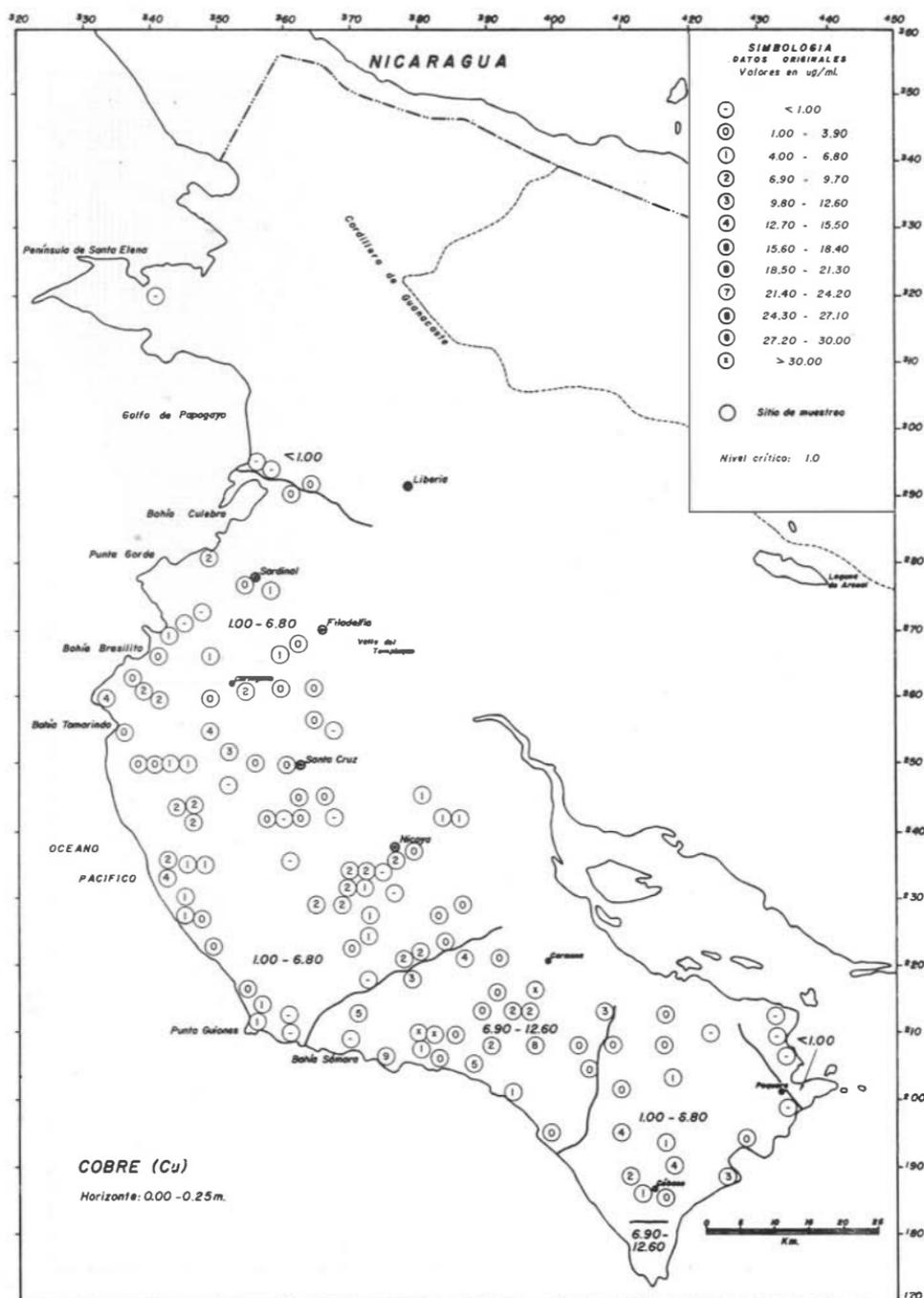


14



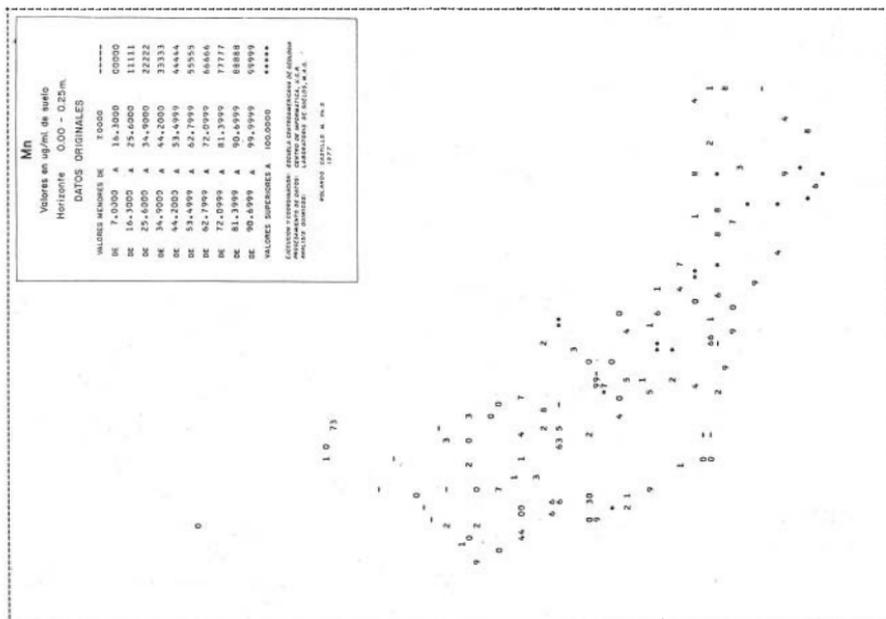
13



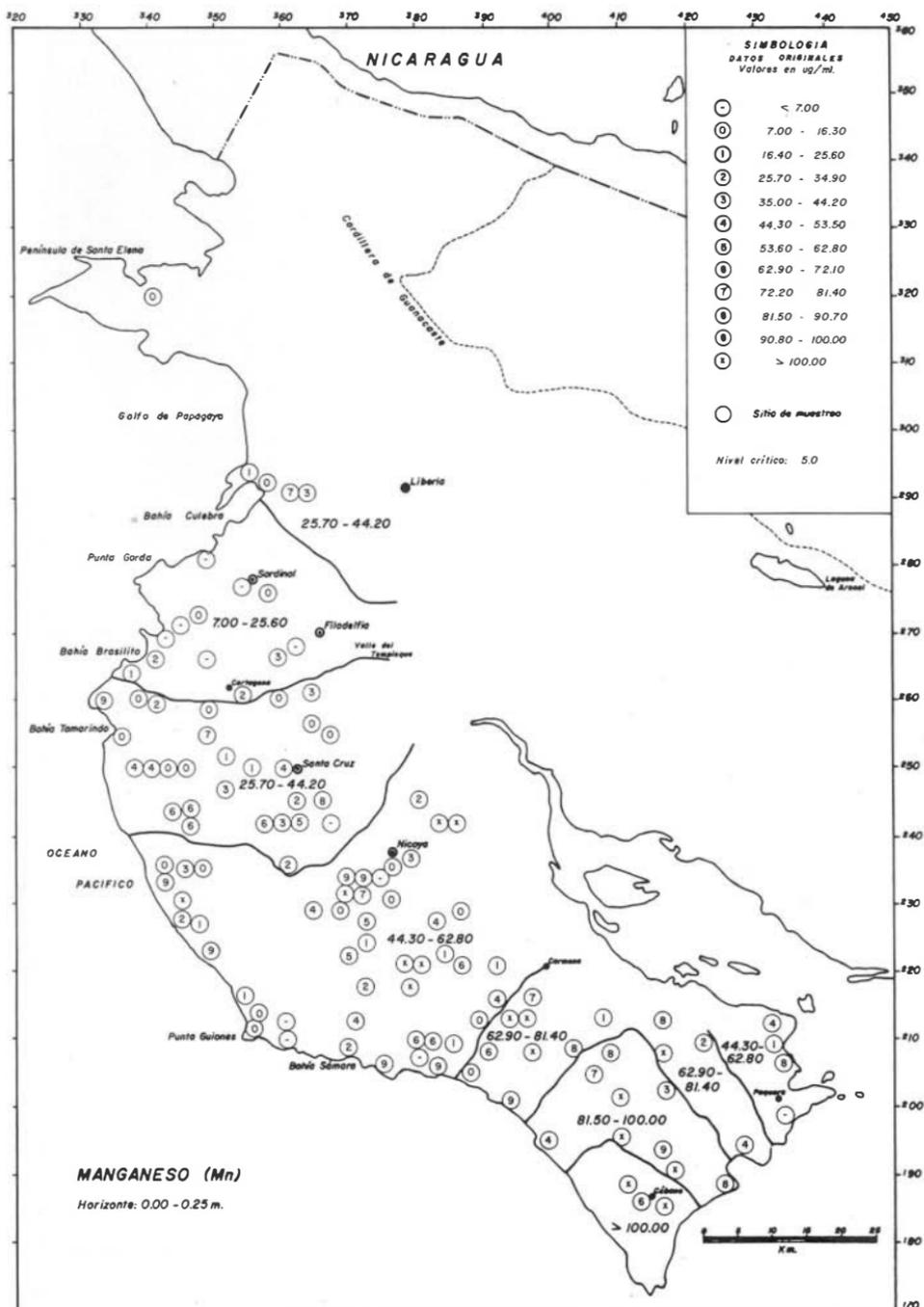


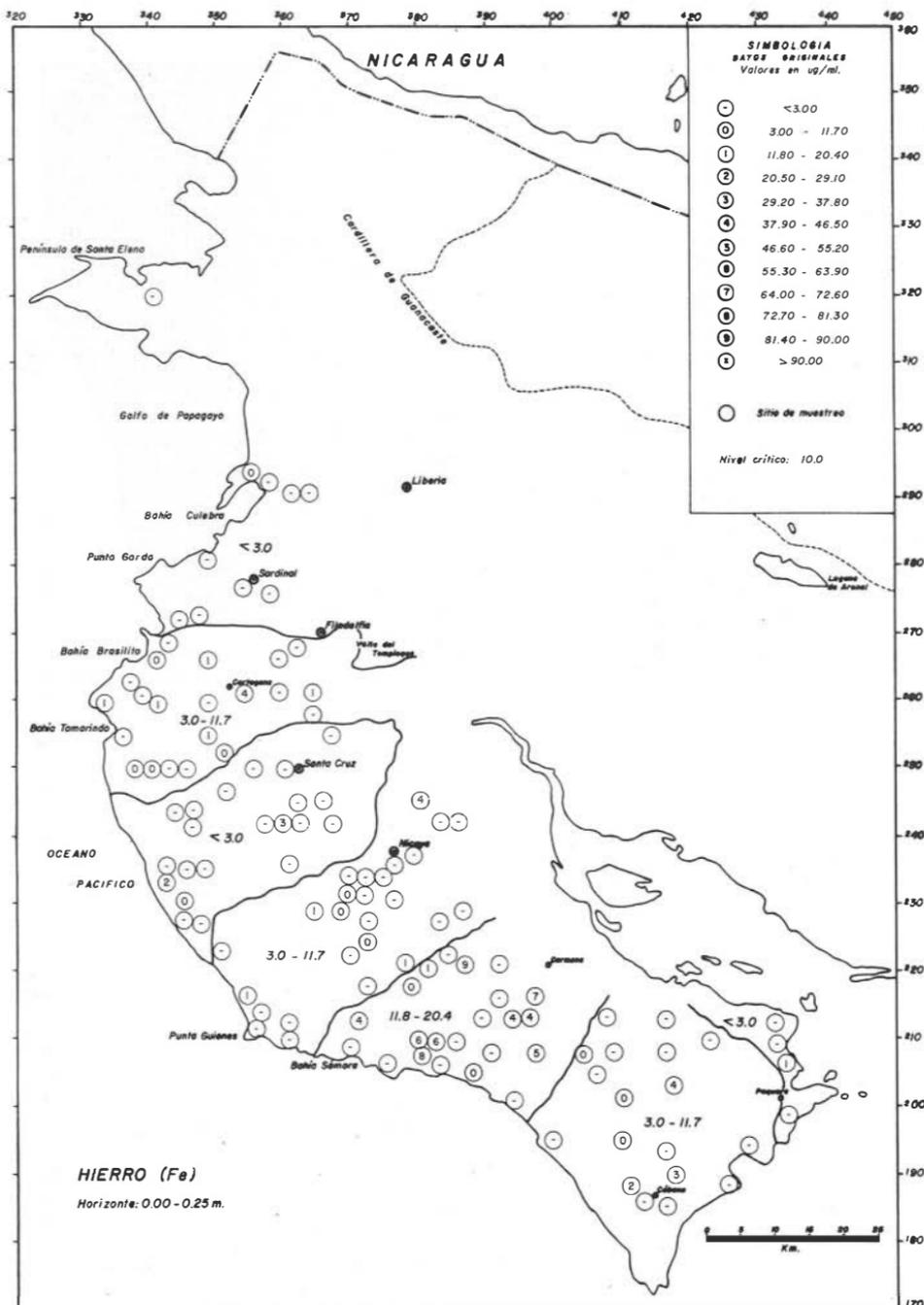


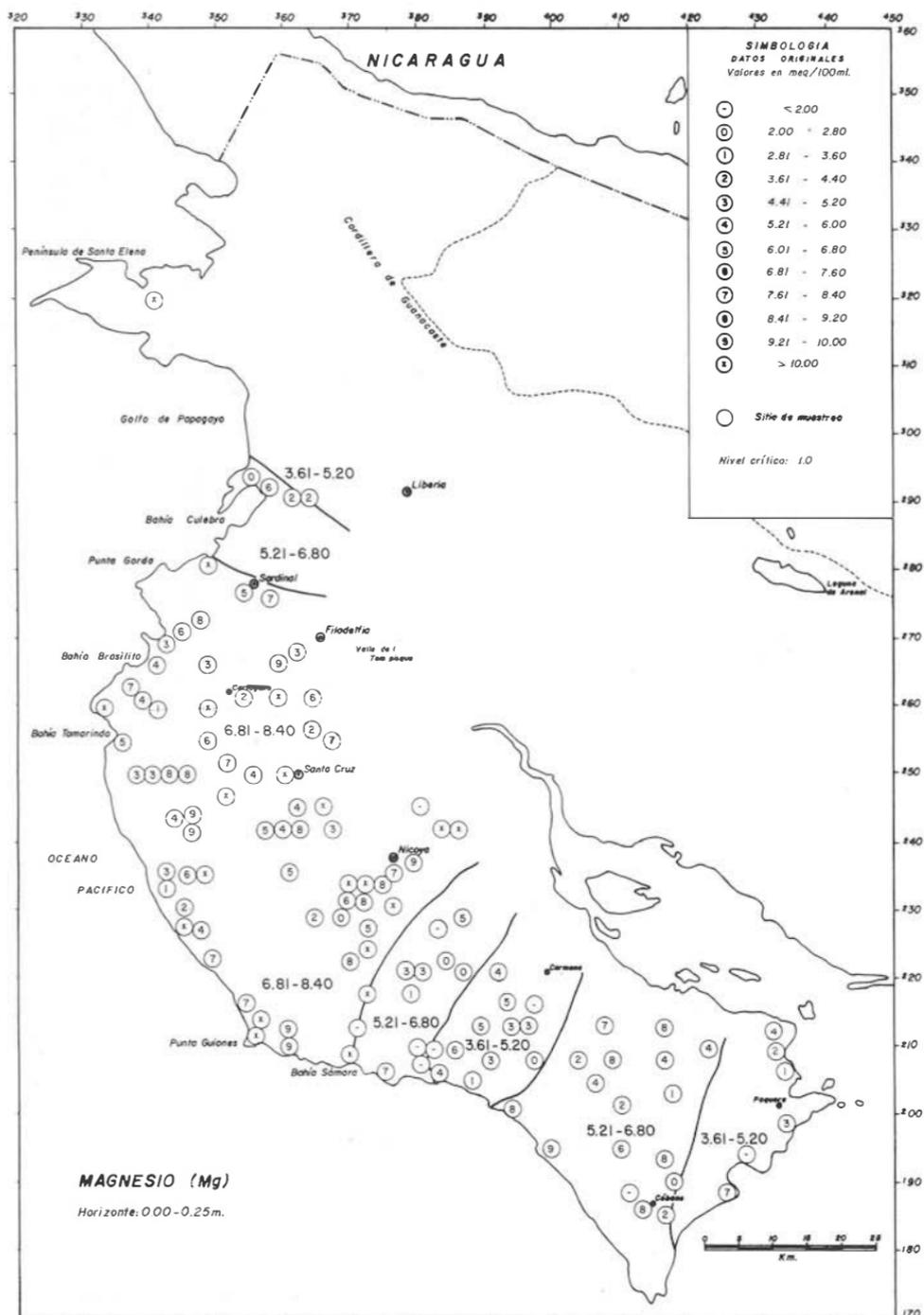
23

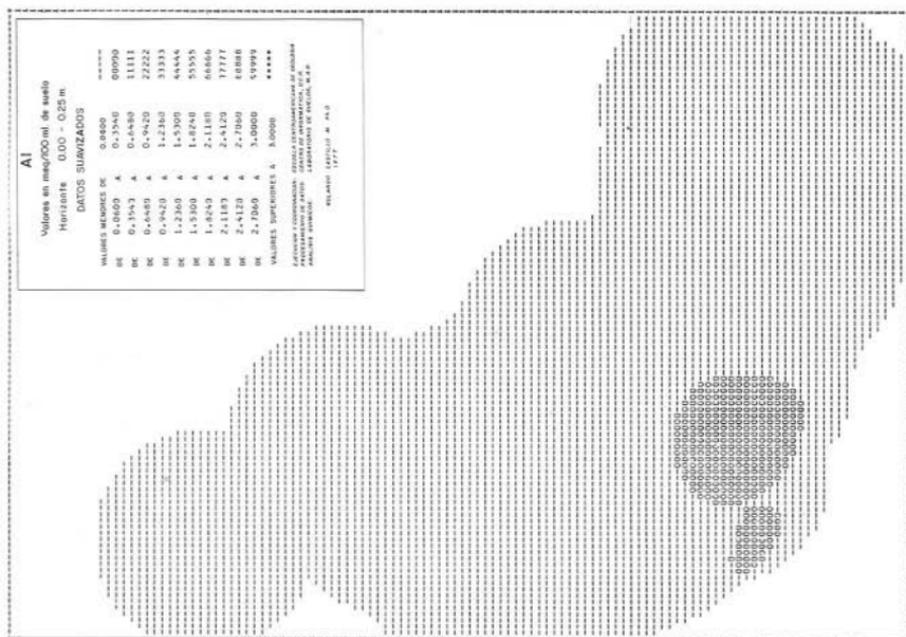


22

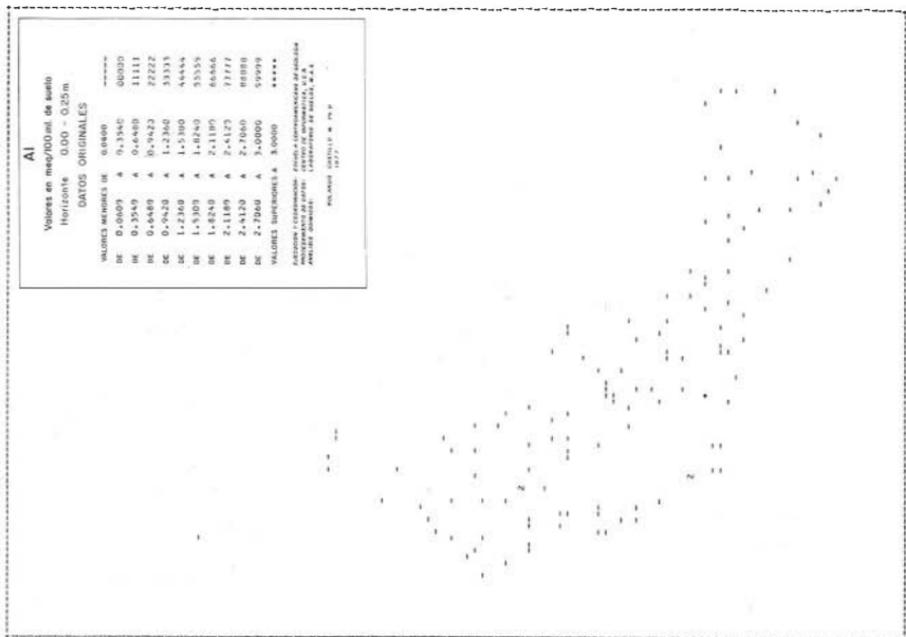








32



31

