

Cartografía Geoquímica de Venezuela. Parte I. Elementos Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, Mn y S en sedimentos fluviales finos.

Jean Pasquali Z.¹, J.V. Gutierrez, Alexis Lira, C.J. López, Santiago Marrero, R.S. Sifontes G., J.J. Tapia, Tommaso Toslani, y Carlos Yanes.

Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Apartado Postal 3895, Caracas 1010-A, Venezuela.

¹ jpz@ reacclun.ve; jpasqual@ gea.ciens.ucv.ve

RESUMEN

Se recolectaron 102 muestras de sedimentos finos depositados en las márgenes de los ríos de mayor tamaño de Venezuela, que representan un 75 por ciento de la superficie de la nación. La fracción menor de 120 mallas (125µm) ha sido analizada para SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, MnO₂ y S.

Los resultados analíticos son presentados en forma de tabla, mapas de distribución e histogramas. Las concentraciones promedio encontradas son : SiO₂, 72,8 %; Al₂O₃, 13,7 %; Fe₂O₃, 4,12 %; MgO, 0,53 %; CaO, 1,08 %; Na₂O, 0,98 %; K₂O, 1,78 %; TiO₂, 1,22 %; MnO₂, 0,11 % y S, 280 ppm. El orden decreciente del coeficiente de variación de los componentes, un índice de movilidad y presencia de anomalías, es: CaO>S>MgO>MnO₂>Na₂O>TiO₂>K₂O>Fe₂O₃>Al₂O₃>SiO₂.

Los resultados obtenidos han permitido detectar una anomalía de unos 120.000 km² en la parte oeste del estado Bolívar, para los elementos Fe, Ti, K y Mn. También se ha encontrado que los efectos de las actividades humanas sobre la composición de los sedimentos finos de los ríos se reflejan en concentraciones altas de Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, S y, en algunos casos, de MgO y CaO.

Se hacen recomendaciones para continuar y mejorar el estudio.

Palabras clave: Venezuela, geoquímica, sedimentos de ríos, sedimentos finos, composición química.

ABSTRACT

One hundred and two fine sediment samples were collected along the margins of the major Venezuelan rivers. These samples represent 75 per cent of the country's surface area. The minus 120-mesh fraction (125 µm) has been analyzed for SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, MnO₂ and S.

Analytical results are presented in table form, distribution maps and histograms. Average concentrations found are: SiO₂, 72, 8%; Al₂O₃, 13,7 %; Fe₂O₃, 4,12 %; MgO, 0,53 %; CaO, 1,08 %; Na₂O, 0,98 %; K₂O, 1,78 %; TiO₂, 1,22 %; MnO₂, 0,11 % and S, 280 ppm. The decreasing order of the variation coefficient, an index of mobility and presence of anomalies, is: CaO>S>MgO>MnO₂>Na₂O>TiO₂>K₂O>Fe₂O₃>Al₂O₃>SiO₂.

An area of 120.000 Km² in the western Bolívar state has been found to be anomalous for elements Fe, Ti, K and Mn.

Human activities are reflected in the composition of the fine sediments of rivers through an increase in concentrations of Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O and S and, sometimes, of MgO and CaO.

Key words: Venezuela, geochemistry, rivers' sediments, fine-grained sediments, chemical composition.

Introducción

La cartografía geoquímica está siendo utilizada ampliamente en los diversos países con varios propósitos. A nivel local, se utiliza mayormente para detectar y delinear áreas anómalas que puedan estar asociadas a yacimientos minerales o áreas contaminadas. A nivel regional se utiliza mayormente para la determinación de valores de fondo o línea base, la detección de mineralizaciones amplias, el efecto contaminante de zonas industriales, o causas de la distribución de enfermedades endémicas. A nivel nacional o continental, se utiliza mayormente para determinar variaciones en la composición de la corteza terrestre, que están relacionadas con grandes anomalías de aparente importancia económica y de salud, además de hacerle seguimiento a eventos catastróficos como el accidente de la planta nucleoelectrónica de Chernobil, Ucrania.

La detección de las grandes anomalías, del orden del millón de Km^2 , sólo es posible a través de la cartografía de países de una gran superficie como China (Xuejing, Xuzhan y Tianxiang, 1997), o a través de correlaciones entre diversos países. Para esto es necesario, o altamente recomendable, coordinar previamente el tipo de muestra, la densidad de muestreo, el tratamiento previo al análisis, la fracción a analizar y la utilización de muestras de referencia entre laboratorios. A este fin, las Naciones Unidas han mantenido un programa el IGCP 259 cuyos resultados han sido resumidos por Darnley (1995). Es de hacer notar que algunos países cuentan con cartografía geoquímica, detallada para varios tipos de muestras, mientras que la mayor parte de la superficie terrestre no ha sido cartografiada sistemáticamente.

En Venezuela se ha hecho muchos trabajos geoquímicos detallados utilizando muestras de suelos y rocas, mayormente con fines de prospección geoquímica. También se han realizado algunos trabajos regionales utilizando muestras de sedimentos, tanto de finos, como de minerales pesados, como suspendidos y aguas. Buena parte de estos estudios ha sido realizados o apoyados por la Corporación Venezolana de Guayana (CVG) (por ejemplo, Torres, 1989). Según el conocimiento de los autores, éste es el primer trabajo de cartografía geoquímica que se realiza a nivel nacional (Pasquali et al., 1997).

El propósito de este trabajo es el de determinar la composición química de los sedimentos acarreados por los ríos de orden 8 (Escandón y Pasquali, 1985; orden basado en mapas topográficos 1:25.000), a través de Venezuela, y de examinar dicha composición con relación a su distribución geográfica y otras variables.

Se ha seleccionado los sedimentos de ríos como tipo de muestra porque representan un área grande con una sola muestra. En algunas áreas, debido a su tamaño

inferior al que corresponde a un drenaje de orden 8, se tomaron muestras en ríos de orden inferior, a fin de tener una mayor representación del área total de Venezuela, o con el propósito de explorar variaciones debidas a cuencas hidrográficas de pequeña área. En algunas áreas no se pudo tomar muestra, ya sea por ser regiones con problemas de seguridad personal, o por no haber logrado la colaboración de las autoridades locales, indispensable, por ser áreas muy inaccesibles.

El número total de muestras tomadas fue de 102.

En este artículo se presentan los resultados analíticos de los componentes SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 y MnO_2 y S. Estos resultados establecen una base cuantitativa general para los sedimentos de los ríos de Venezuela en sus componentes mayoritarios, permiten una descripción de la distribución de esos elementos, pero no permiten interpretaciones sobre las causas de esa distribución, en la mayoría de los casos. Un próximo artículo, en el que se presentarán los resultados analíticos de una serie de elementos traza, posiblemente se pueda avanzar en la interpretación de dichas causas y así describir regiones, áreas o cuencas que puedan ser de interés para diversos propósitos.

Metodología

Las muestras de sedimentos fueron tomadas en el campo por los diversos autores de este artículo, cada uno en una región distinta, en la época de sequía de los años 1994 y 1995. El punto de muestreo se localizó en un trecho de cada río en donde, por las condiciones locales, dominaran los sedimentos finos recientemente depositados. En algunos casos se tomaron varias muestras en una misma localidad a fin de evaluar la variabilidad intrínseca de las muestras. Las muestras húmedas fueron secadas en el laboratorio a 40°C , tamizadas a 120 mallas ($125\ \mu\text{m}$) para su posterior análisis químico.

El SiO_2 fue analizado por espectrometría de emisión óptica por plasma de argón inductivamente acoplado (ICP), después de fundir la muestra con tetraborato de litio y ponerla en solución con ácido nítrico diluido. Los componentes Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , y MnO_2 fueron analizados por absorción atómica después de poner la muestra en solución con una mezcla de ácido nítrico, ácido clorhídrico y ácido sulfúrico, comprobar su disolución total y disolverla nuevamente en ácido nítrico diluido. El Ti fue analizado por colorimetría, utilizando una alícuota de la solución de los mayoritarios analizados por absorción atómica. El S fue determinado con un analizador de azufre marca Leco, por el Dr. Manuel Martínez (Instituto de Ciencias de la Tierra, Universidad Central de Venezuela). Este método consiste en oxidar a altas temperaturas y medir las diversas formas de azufre; con él se pueden estimar, azufre en compuestos

orgánicos, en sulfuros inorgánicos y en sulfatos. El límite inferior de determinación del método utilizado para el S, en las condiciones de los análisis hechos, es de 200 ppm, pero se estimaron las concentraciones por debajo de las 200 ppm.

El error estimado en las determinaciones es el siguiente:

Componente	Error estimado (% del valor)
SiO ₂	2
Al ₂ O ₃	2,7
Fe ₂ O ₃	2,8
MgO	6,8
CaO	4,6
Na ₂ O	3,9
K ₂ O	3,3
TiO ₂	4
MnO ₂	0,2
S	2

La variabilidad intrínseca de las muestras, es decir, la diferencia composicional entre submuestras tomadas en una determinada localidad, de la misma forma como se toma una sola muestra en otras localidades, varía considerablemente de un elemento a otro. Para dos localidades en donde se tomaron 4 y 3

muestras equivalentes, respectivamente, en la misma fecha, los resultados de esa variabilidad, expresada como coeficiente de variación es la siguiente para los elementos indicados:

Componente	Coeficiente de variación	
	(3 muestras)	(4 muestras)
SiO ₂	1,9	1,3
Al ₂ O ₃	0,9	1,8
Fe ₂ O ₃	13,1	7,1
MgO	17,0	7,4
CaO	16,7	6,9
Na ₂ O	32,8	11,5
K ₂ O	8,2	1,6
TiO ₂	33,0	24,4
MnO	7,7	12,2
S	2,1	20,1

Como puede apreciarse, la variabilidad intrínseca de las muestras, sin tomar en cuenta su variabilidad en el tiempo, es, en general, mayor que los errores analíticos estimados para cada componentes determinado. Se percibe claramente la utilidad de estudiar en mayor detalle el tema de la variabilidad intrínseca de las muestras de sedimentos de ríos, en sus diversos factores, incluyendo el tiempo.



Fig.1
Posición geográfica de las muestras tomadas

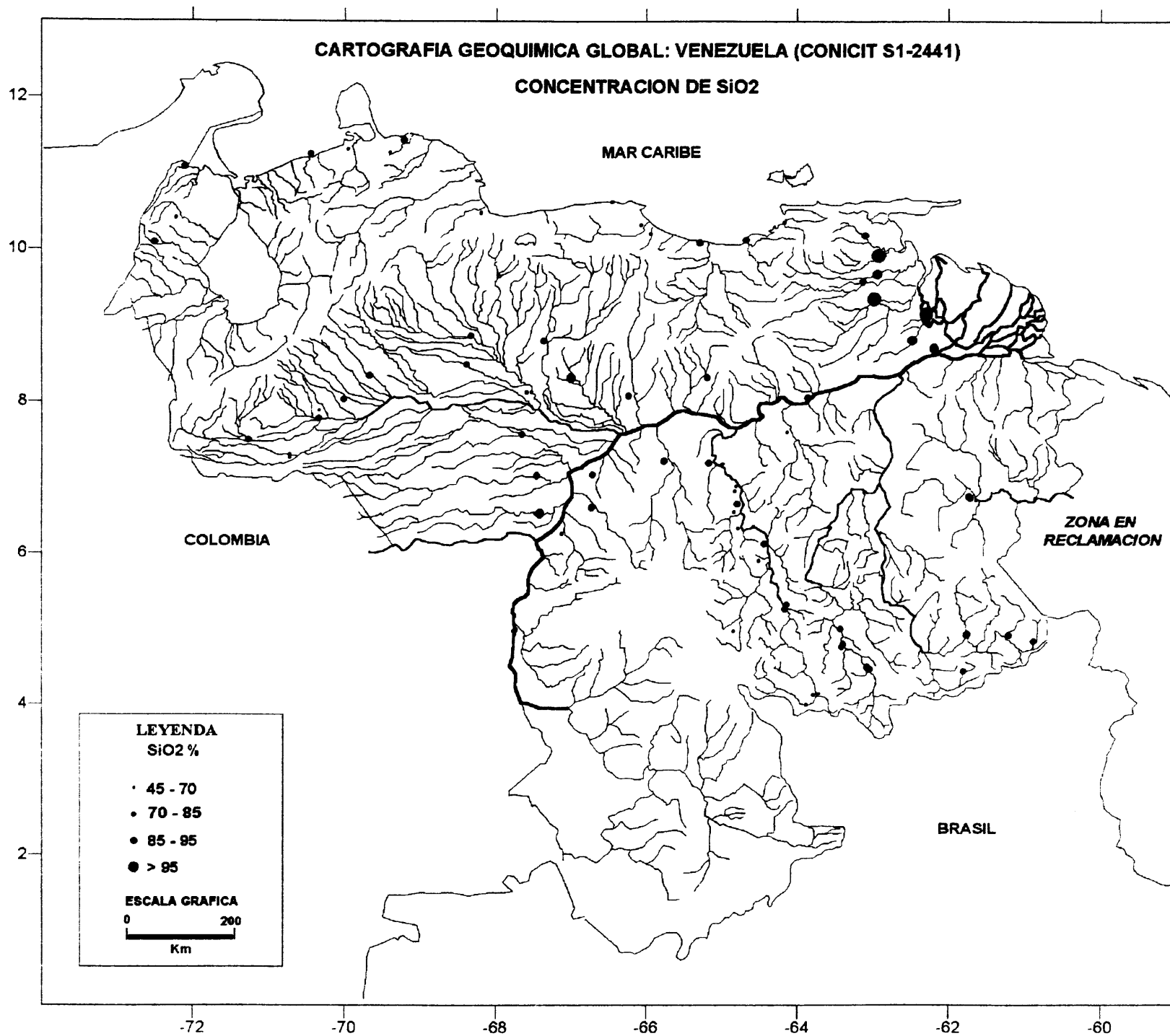


Fig.2
Distribución Geográfica del SiO₂, en los sedimentos finos

SiO₂

El promedio de la concentración de Si, expresada como SiO₂, en los sedimentos recolectados de los ríos de Venezuela es de 72,8 %, la desviación estándar es 9,55 y el coeficiente de variación es 13,1. La distribución geográfica de las concentraciones puede ser observada en la Figura 2 y el histograma correspondiente en la Figura 3. Este componente está representado mineralógicamente, de manera mayoritaria, por cuarzo y caolinita. Se observa que las concentraciones muy altas y altas están asociadas a la región deltaica, a sectores de Los Llanos y a los sedimentos derivados de las rocas del Grupo Roraima. Las concentraciones bajas están asociadas a ríos de áreas pequeñas de drenaje, ríos contaminados (Tuy), con actividades mineras (Cuyuni y Yuruari). De especial interés son los ríos Aro y Merevari, los cuales parecen representar anomalías de baja concentración de SiO₂ aunque no tienen contaminación y tienen considerable áreas de drenaje.

La composición de las muestras recolectadas puede ser comparada con la composición de las muestras de sólidos suspendidos, por una parte, y con los sedimentos transportados en formas no suspendidas o en

suspensión breve por saltación, por la otra. Cada muestra en particular será una mezcla de esos dos tipos de materiales, lo que determinará, en parte, una variabilidad intrínseca de las diversas muestras procedentes de un mismo sector de un río. En el ensayo realizado con dos grupos de muestras, uno de tres y el otro de cuatro submuestras, se ha establecido que la variación intrínseca para el SiO₂ es muy baja, con un coeficiente de variación entre 1 y 2 por ciento.

Los sólidos suspendidos en los ríos que drenan hacia el Orinoco y el Cuyuni (Yanes, 1997) tienen una concentración promedio de 46,7 % en SiO₂, los de Estados Unidos un promedio de 55,94 % (Canfield, 1997), y los de la Tierra un promedio de 54,80 % (Gordeyev, 1980). La alta concentración promedio de SiO₂ de los sedimentos recolectados, la cual es un 50 por ciento superior a la concentración de los sedimentos suspendidos de los ríos de la Guayana venezolana y de los Estados Unidos, parece indicar que el mayor componente mineralógico es el cuarzo, que se encuentra preferentemente en la fracción textural de los limos.

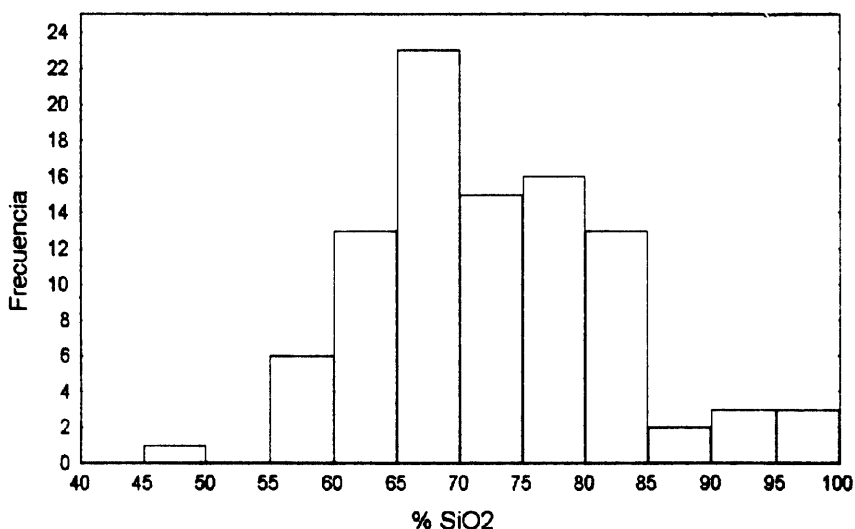
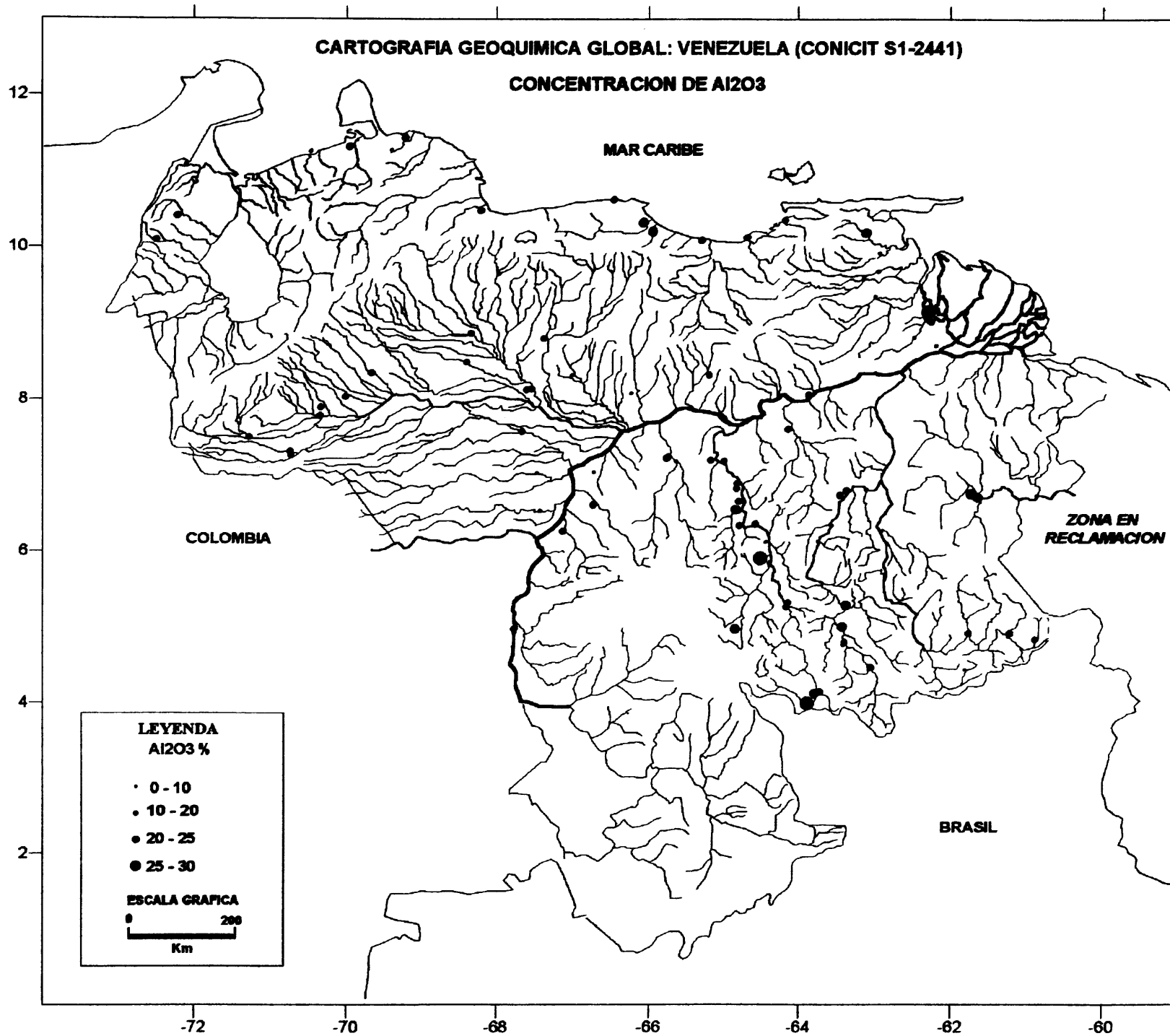


Fig. 3
Histograma de distribución de la concentración SiO₂ en los sedimentos finos



Al_2O_3

El promedio de la concentración de Al, expresada como Al_2O_3 , en los sedimentos recolectados de los ríos de Venezuela es de 13,7 %, la desviación estándar es 5,84 y el coeficiente de variación es 42,5. El histograma de frecuencia de las concentraciones puede ser observado en la Figura 5 y su distribución geográfica en la Figura 4. Este componente está probablemente representado mineralógicamente por caolinita y, ocasionalmente, por otros minerales de arcilla o de bauxita. Se observa que las muestras de concentraciones bajas están asociadas a Los Llanos y a la Gran Sabana, los cuales tienen regiones extensas dominadas por suelos arenosos. Las muestras con concentraciones altas están asociadas a la cuenca media y alta del Caura, la cuenca alta del Paragua y el río Aro; el resto, como el Cuyuní, San Juan, Morichal Largo, Tuy y Guapo, pueden ser debidas a movimientos de tierra causados por actividades industriales, los cuales introducen arcillas. Las altas concentraciones de Al_2O_3 que presentan las muestras de los ríos Aro, Caura y Paragua pueden ser causadas por la composición litológica de buena parte de sus áreas de drenaje. La Provincia de Cuchivero, dominada por riolitas, y dacitas, es la principal fuente de sedimentos finos en el Escudo de Guayana, debido a que han sido sometidas a un proceso de meteorización avanzada, bajo condiciones de alta precipitación y escorrentía (Yanes, 1997). En el caso del río Aro, la presencia de rocas máficas, con una alta susceptibilidad a la meteorización química, parece determinar una alta proporción de arcillas que se

incorporan al sistema de drenaje.

La composición de las muestras recolectadas puede ser comparada con la composición de las muestras de sólidos suspendidos, por una parte, y con los sedimentos transportados en formas no suspendidas o en suspensión breve por saltación, por otra. Según el sitio específico de donde provenga una muestra en particular, ésta será una mezcla de material transportado cerca del fondo y material en suspensión que se depositó al bajar la energía de la corriente que lo transportaba. Estos procesos se repiten en el tiempo de manera no uniforme, que depende de la distribución de las precipitaciones dentro de la cuenca hidrográfica. Este factor introduce una variabilidad intrínseca en la composición de las muestras, tanto debido al sitio específico de recolección, como debido a la época o año en que fue recolectada. Esta variabilidad intrínseca limita la utilidad de las muestras para la detección de fenómenos cuyos efectos sean mayores que ella y, por ende, distinguibles.

Para el Al_2O_3 se esperaría que los sólidos suspendidos asociados tuviesen una concentración mayor, porque las arcillas son mantenidas más fácilmente en suspensión por su pequeño tamaño y su carga eléctrica. En efecto, los sólidos suspendidos en los ríos que drenan hacia el Orinoco y el Cuyuní (Yanes, 1997), tienen una concentración promedio de 21,5 % en Al_2O_3 , los de Estados Unidos un promedio de 15,4 % (Canfield, 1997), y los de la Tierra un promedio de 15,65% (Gordeyev, 1980).

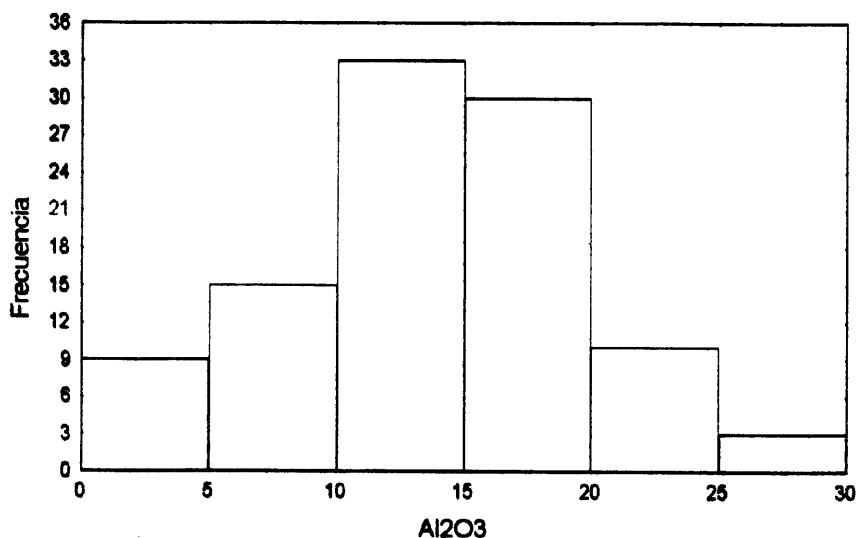


Fig. 5
Histograma de distribución de la concentración de Al_2O_3 en los sedimentos finos

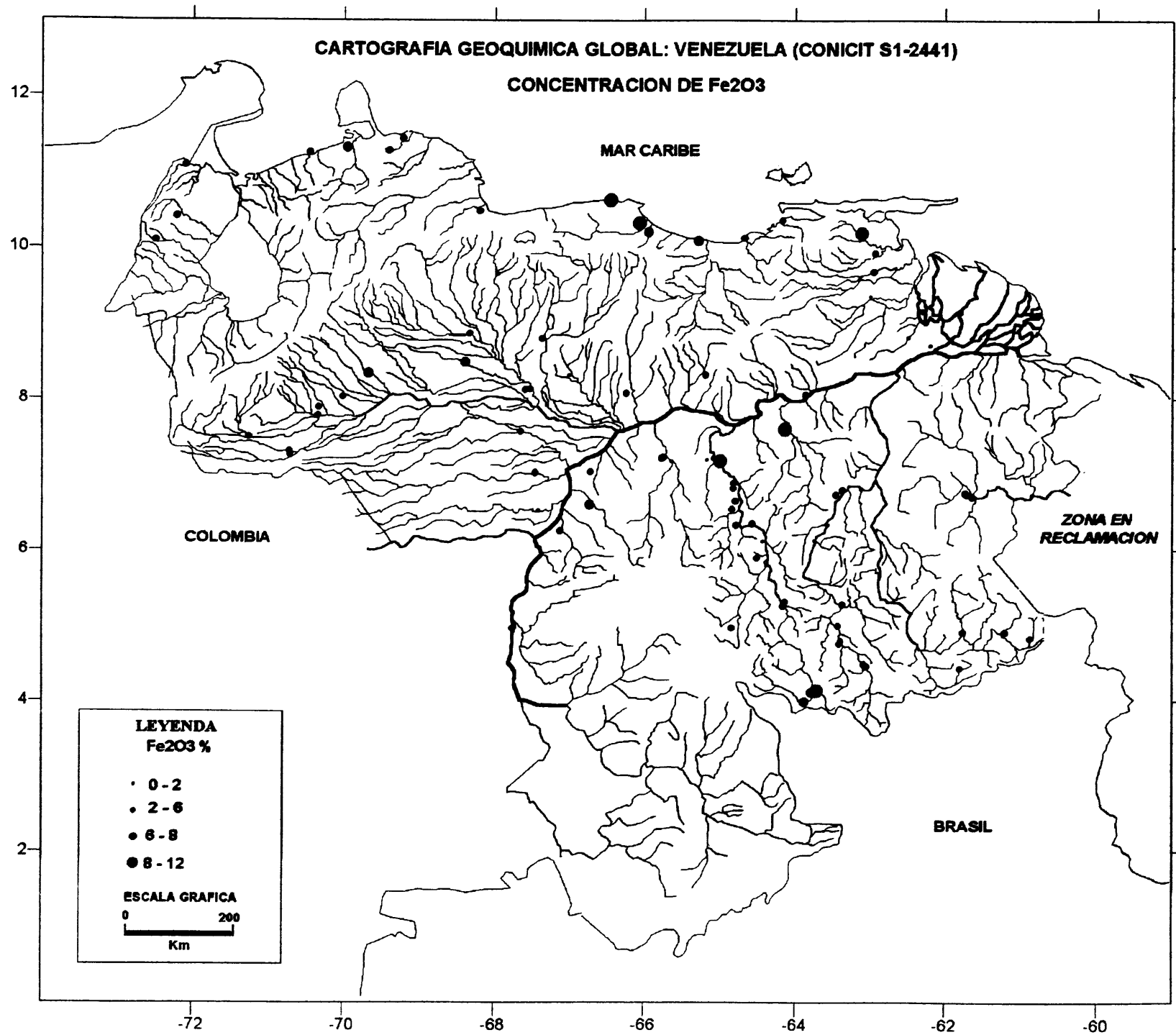


Fig. 6
Distribución geográfica del Fe_2O_3 en los sedimentos finos

Fe_2O_3

El promedio de la concentración de Fe, expresada como Fe_2O_3 , en los sedimentos recolectados de los ríos de Venezuela es de 4,12 %, la desviación estándar es de 2,00 y el coeficiente de variación es 50. El histograma de las concentraciones puede ser observado en la Figura 7 y su distribución geográfica en la Figura 6. Este componente está probablemente representado mineralógicamente por goethita e ilmenita, en su mayor parte.

El factor dominante en la determinación de la concentración de Fe en los sedimentos de una cuenca es la extensión superficial de rocas con altas concentraciones de Fe en dicha cuenca, aunque puede haber un efecto local causado por la materia orgánica. Los ríos que presentan mayores concentraciones de Fe_2O_3 son ríos de orden bajo como El Quino, afluente del Caura, Todasana del Litoral Central, y el Guapo del estado Miranda. Otros de orden 8, como el Aro, el Caura y el Merevari, probablemente deben sus altas concentraciones en Fe_2O_3 a rocas de litologías básicas en sus cuencas; mientras que los ríos con concentraciones

muy bajas en Fe_2O_3 , como el Yuruaní, Cinaruco, Caruai, Morichal Largo y Tonoro, son de orden 8 y drenan áreas de rocas o suelos muy silíceos, con concentraciones bajas de Fe y alta concentración de materia orgánica disuelta en sus aguas.

La concentración de Fe_2O_3 en las muestras de este trabajo puede ser comparada con la composición de las muestras de sólidos suspendidos y los sedimentos transportados cerca del lecho del río (véase las consideraciones hechas para el Al_2O_3 , p. 15). Los sólidos suspendidos en los ríos que drenan hacia el Orinoco y el Cuyuní (Yanes, 1997), tienen una concentración promedio de 5,58 %, un poco más alta que 4,12 % de las muestras de este trabajo. De interés es que los ríos Aro y Ventuari aparecen como de los más altos en ambos trabajos, no así el Cuchivero que es inferior al promedio en este trabajo (2,73 %), y aparece como de muy alta concentración (9,85 %) en el trabajo de Yanes (1997). Los sólidos suspendidos en ríos del mundo tienen una concentración promedio de 7,28 % Fe_2O_3 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$) (Gordeyev, 1980, p. 150) y los de los Estados Unidos una concentración promedio de 6,30 % (Canfield, 1997).

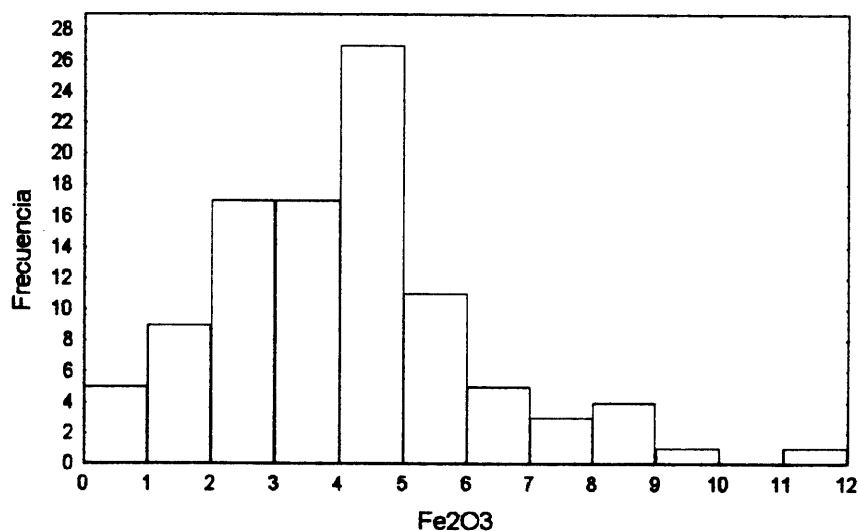


Fig.7
Histograma de distribución de la concentración de Fe_2O_3 en los sedimentos finos

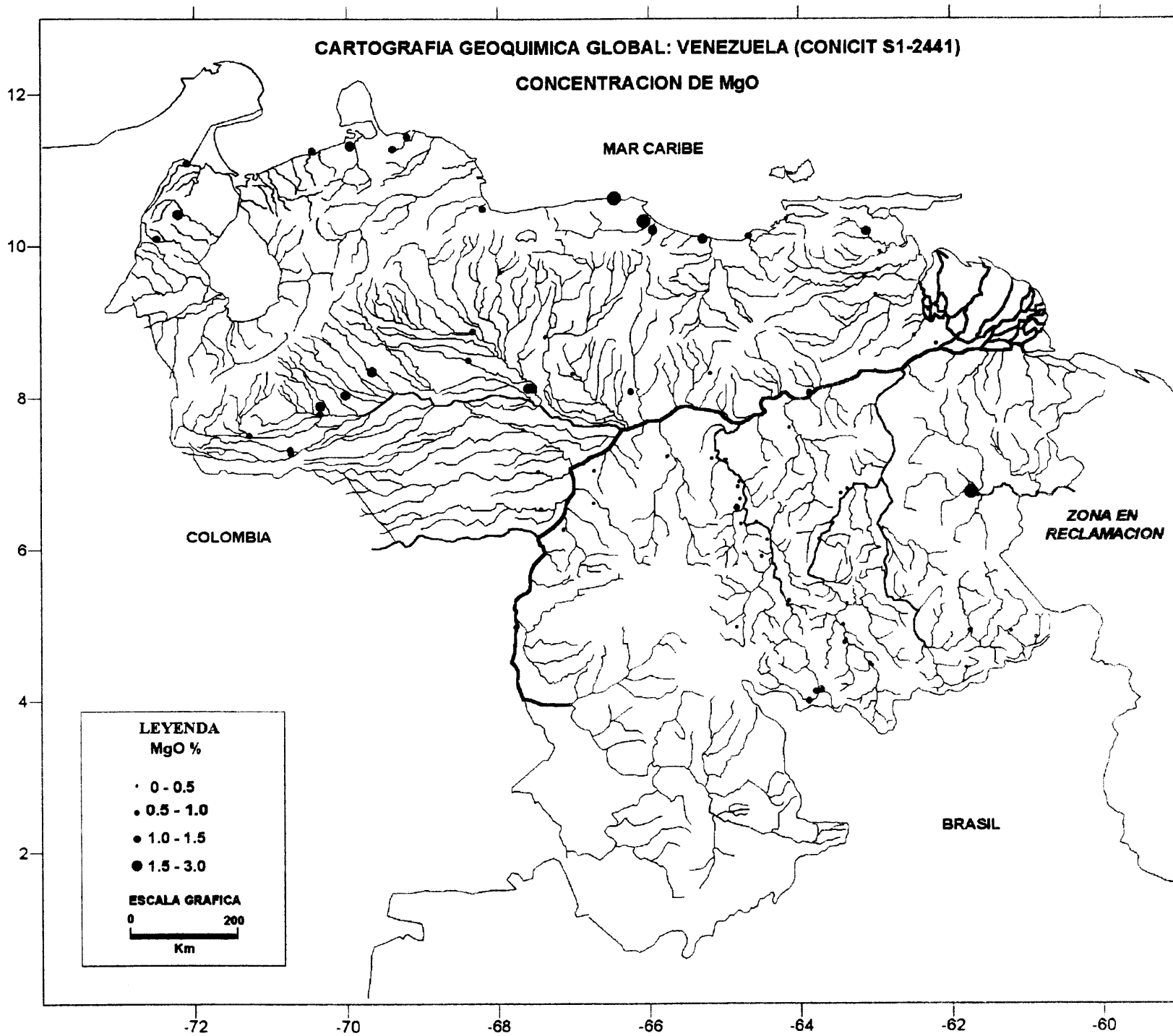


Fig. 8
Distribución geográfica de MgO en los sedimentos finos

MgO

El promedio de la concentración de Mg, expresada como MgO, en los sedimentos recolectados de los ríos de Venezuela es de 0,53 %, la desviación estándar es 0,47 y el coeficiente de variación es 88,7. La distribución geográfica de las concentraciones puede ser observada en la Figura 8, y el histograma correspondiente en la Figura 9. Puede observarse una distribución donde los valores bajos de concentración se tornan regularmente menos frecuentes. Tres valores anómalos altos están asociados a un río pequeño (Todasana), contaminado (Tuy), y con rocas básicas, en donde hay minería en la actualidad (Yuruary). Los valores altos parecen estar asociados con ríos que drenan áreas topográficamente altas, de tal manera de que están supliendo material que no ha tenido mucho tiempo sometido a meteorización intensa y, por eso, no han sido completamente destruidas las estructuras de los silicatos magnesianos presentes.

La concentración de MgO de las muestras de este

trabajo puede ser comparada con la composición de las muestras de sólidos suspendidos y los sedimentos transportados cerca del lecho del río (véase las consideraciones hechas para el Al_2O_3 , p. 15). Los sólidos suspendidos en los ríos que drenan hacia el Orinoco y el Cuyuní (Yanes, 1997) tienen una concentración promedio de 0,46 % MgO, un poco más baja que 0,53 % de las muestras de este trabajo, probablemente porque las muestras de este trabajo incorporan partículas de mayor tamaño y, por ende, menos meteorizadas; entendiéndose que, a meteorización más avanzada, más Mg^{++} pasa a solución y menos Mg^{++} se queda con las partículas. Los sólidos suspendidos en ríos del mundo tienen una concentración promedio de 2,07 % (Gordeyev, 1980, p. 150), que es mucho más alta que la de este trabajo, y refleja el hecho de que, fuera de las zonas tropicales lluviosas, la meteorización de silicatos es mucho menos eficiente. En los ríos de los Estados Unidos la concentración promedio en los sólidos suspendidos es de 1,56 % MgO (Canfield, 1997).

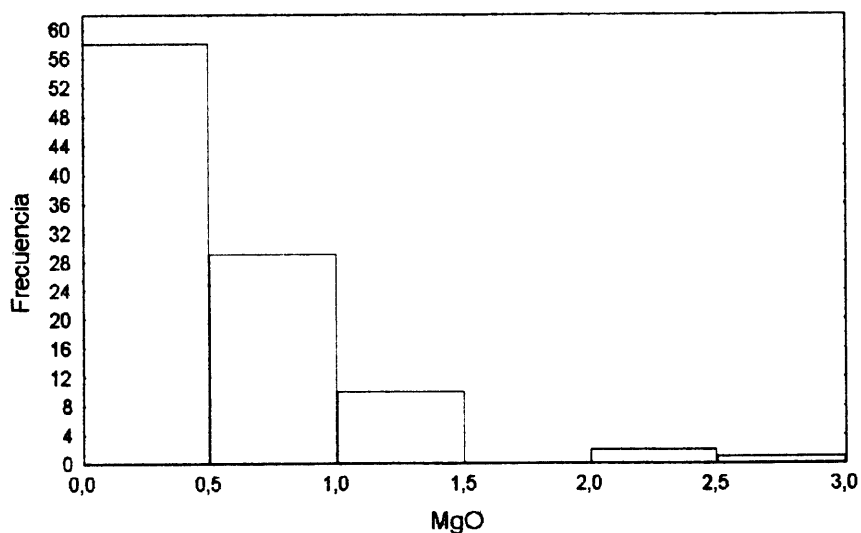
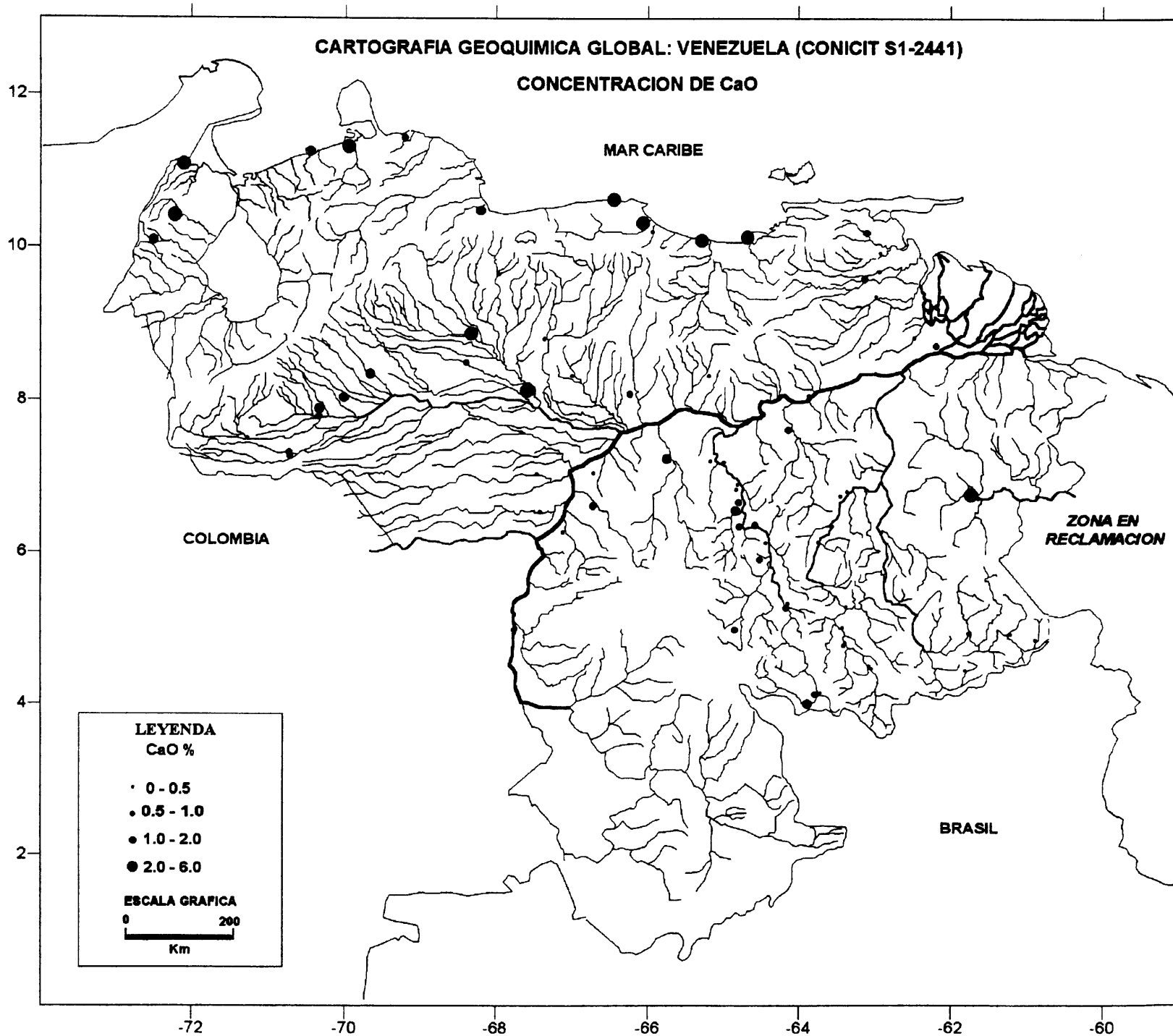


Fig.9
Histograma de distribución de la concentración de MgO en los sedimentos finos



CaO

El promedio de la concentración de Ca, expresada como CaO, en los sedimentos recolectados de los ríos de Venezuela es de 1,08 %, la desviación estándar es 1,54 y el coeficiente de variación es 143. La distribución geográfica de las concentraciones puede ser observada en la Figura 10, y el histograma correspondiente en la Figura 11. Puede observarse una mayoría de muestras con valores bajos, con algunas muestras con valores altos. Las concentraciones más bajas están asociadas a los estados Bolívar, Apure, Monagas y Guárico, en donde las rocas dominantes tienen bajas concentraciones de CaO. Las concentraciones más altas están asociadas a los estados Sucre, Anzoátegui, Zulia, Barinas y Falcón, en donde afloran calizas en abundancia. A similitud con el MgO, la concentración del CaO relacionada con el río Yuruary es alta (3,68 %) y puede ser debida a la incompleta destrucción de las estructuras de los silicatos cálcicos y magnesianos que son liberados por las actividades mineras del distrito aurífero de El Callao.

La concentración de CaO de las muestras de este trabajo puede ser comparada con la composición de las muestras de sólidos suspendidos y los sedimentos transportados cerca del lecho del río (véase las

consideraciones hechas para el Al_2O_3 , p.15). Los sólidos suspendidos en los ríos que drenan hacia el Orinoco y el Cuyuní (Yanes, 1997), tienen una concentración promedio de 0,36 % CaO, bastante inferior al 1,08 % de las muestras de este trabajo. Es probable que las muestras de este trabajo, al incluir, en general, partículas de mayor tamaño que los sólidos suspendidos, incluyan minerales no tan lixiviados que retengan más Ca; una situación similar, pero no tan pronunciada la presenta el Mg. Los sólidos suspendidos en ríos del mundo tienen una concentración promedio de 3,52 % (Gordeyev, 1980, p. 150), que es mucho más alta que la de este trabajo, y refleja el hecho que en las zonas tropicales lluviosas, la meteorización de los silicatos es muy eficiente, en comparación con otras zonas. En los ríos de los Estados Unidos la concentración promedio en los sólidos suspendidos es de 3,40 % CaO (Canfield, 1997); pero al excluir el río Grande y el río Colorado (17,3 y 10,2 % CaO) el promedio sería 2,38 % CaO. El Ca, de los elementos analizados en este trabajo, tiene la mayor relación valor máximo a valor mínimo, que es de 219, demostrando una gran movilidad, combinada con una gran variabilidad de su concentración en los tipos comunes de rocas.

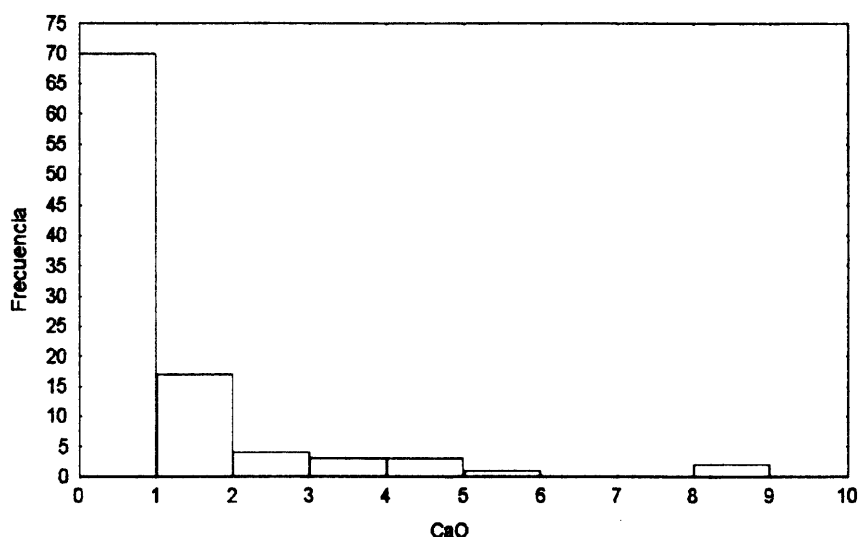
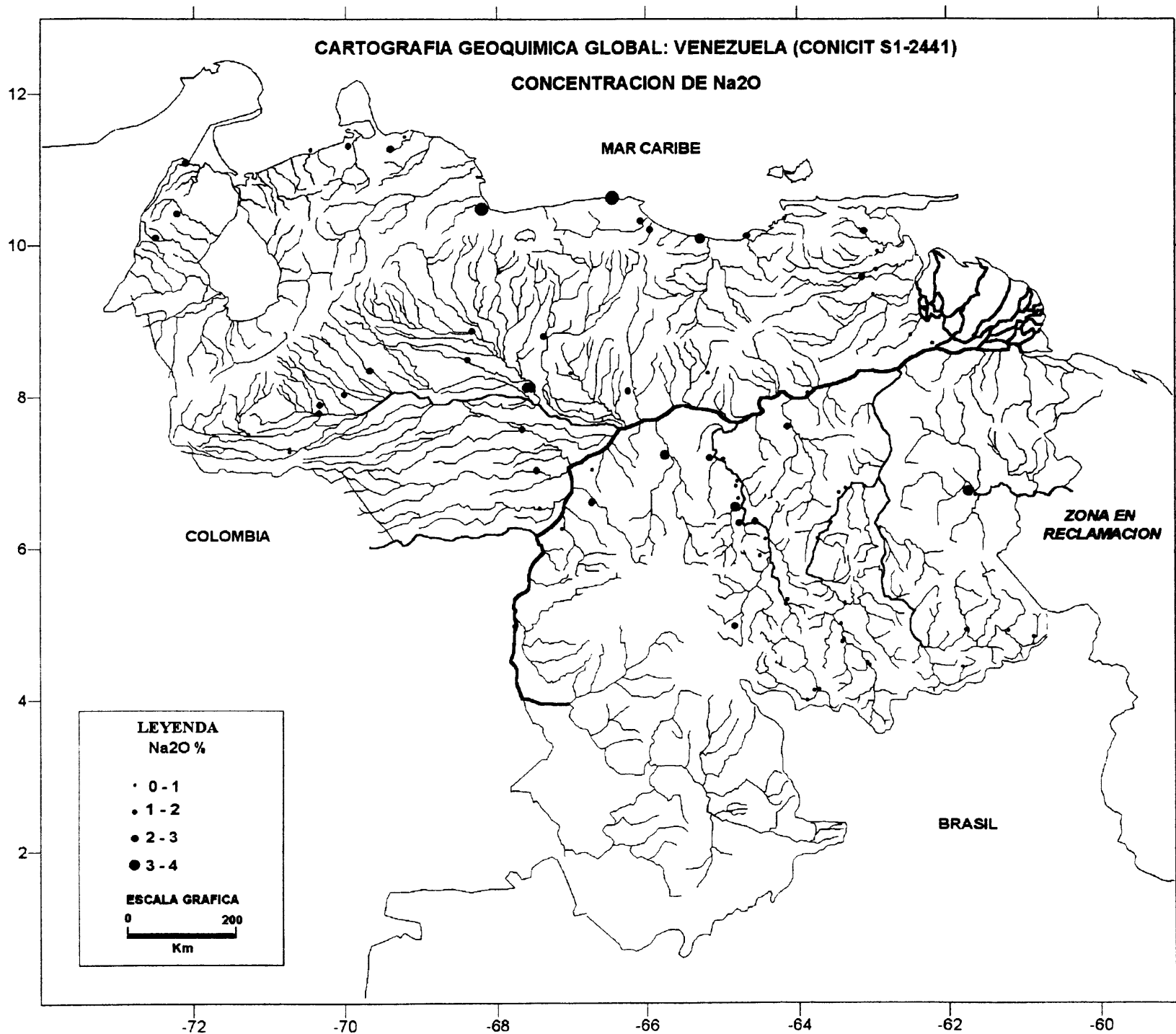


Fig.11
Histograma de distribución de la concentración de CaO en los sedimentos finos



Na₂O

El promedio de la concentración de sodio, expresada como Na₂O, en los sedimentos recolectados de los ríos de Venezuela es de 0,98 %, la desviación estándar es 0,75 y el coeficiente de variación es 76,5. La distribución geográfica de las concentraciones puede ser observada en la Figura 12 y el histograma correspondiente en la Figura 13. Puede observarse una mayoría de muestras con valores bajos, con una disminución muy regular de muestras hacia valores altos. Las concentraciones más bajas están asociadas a los estados Bolívar, Monagas y Apure; mientras que las más altas están asociadas al Distrito Federal, Carabobo, Barinas y Guárico. Esta distribución refleja un menor tiempo para la meteorización de las rocas en regiones topográficamente accidentadas y ríos de menor tamaño. Las muestras que representan a los ríos Cuchivero y Nichare tienen concentraciones altas 2,26 y 2,56 % Na₂O respectivamente, que no pueden ser explicadas con las informaciones actuales y se consideran anómalas, y se recomienda volverlas a recolectar. La alta concentración asociada al río Yuruari puede estar asociada a las actividades mineras del distrito aurífero de El Callao.

La concentración de Na₂O de las muestras de este trabajo puede ser comparada con la composición de las muestras de sólidos suspendidos y los sedimentos transportados cerca del lecho del río (véase las consideraciones hechas por el Al₂O₃, p. 15). Los sólidos suspendidos en los ríos que drenan al Orinoco y el Cuyuní (Yanes, 1997), tienen una concentración promedio de 0,25 % Na₂O, bastante inferior a 0,98 % de las muestras de este trabajo, de forma similar para el MgO y el CaO. Los sólidos suspendidos de los ríos del mundo tienen una concentración promedio de 1,35 % Na₂O (Gordeyev, 1980, p. 150), que es más alta, pero comparable, a la de este trabajo. En los ríos de los Estados Unidos la concentración promedio en los sólidos suspendidos es de 0,69 % Na₂O (Canfield, 1997); pudiera esperarse que las muestras de este trabajo tuviesen una concentración de Na₂O inferior a las de Estados Unidos por ser más lixiviadas debido al ambiente tropical lluvioso pero, aparentemente, el hecho de que incluyen partículas de mayor tamaño y, por ende, menos expuestas a la lixiviación, contribuye a que su concentración sea mayor.

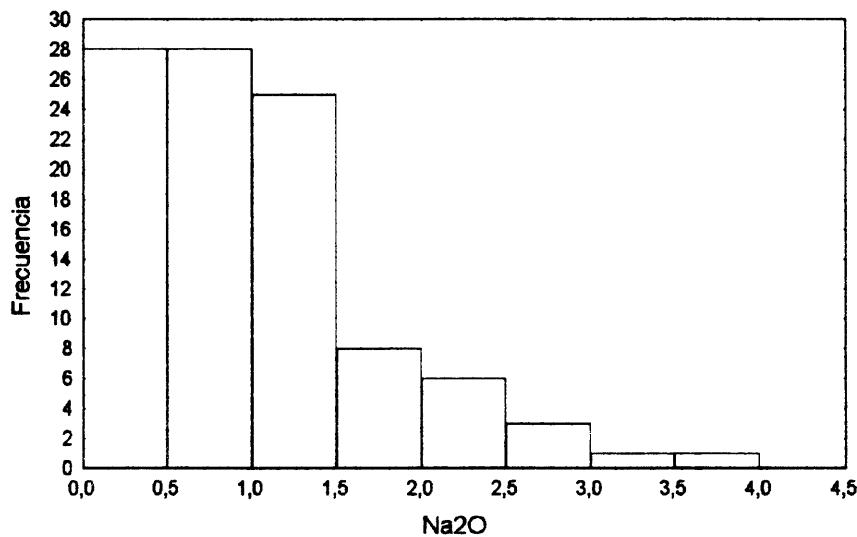
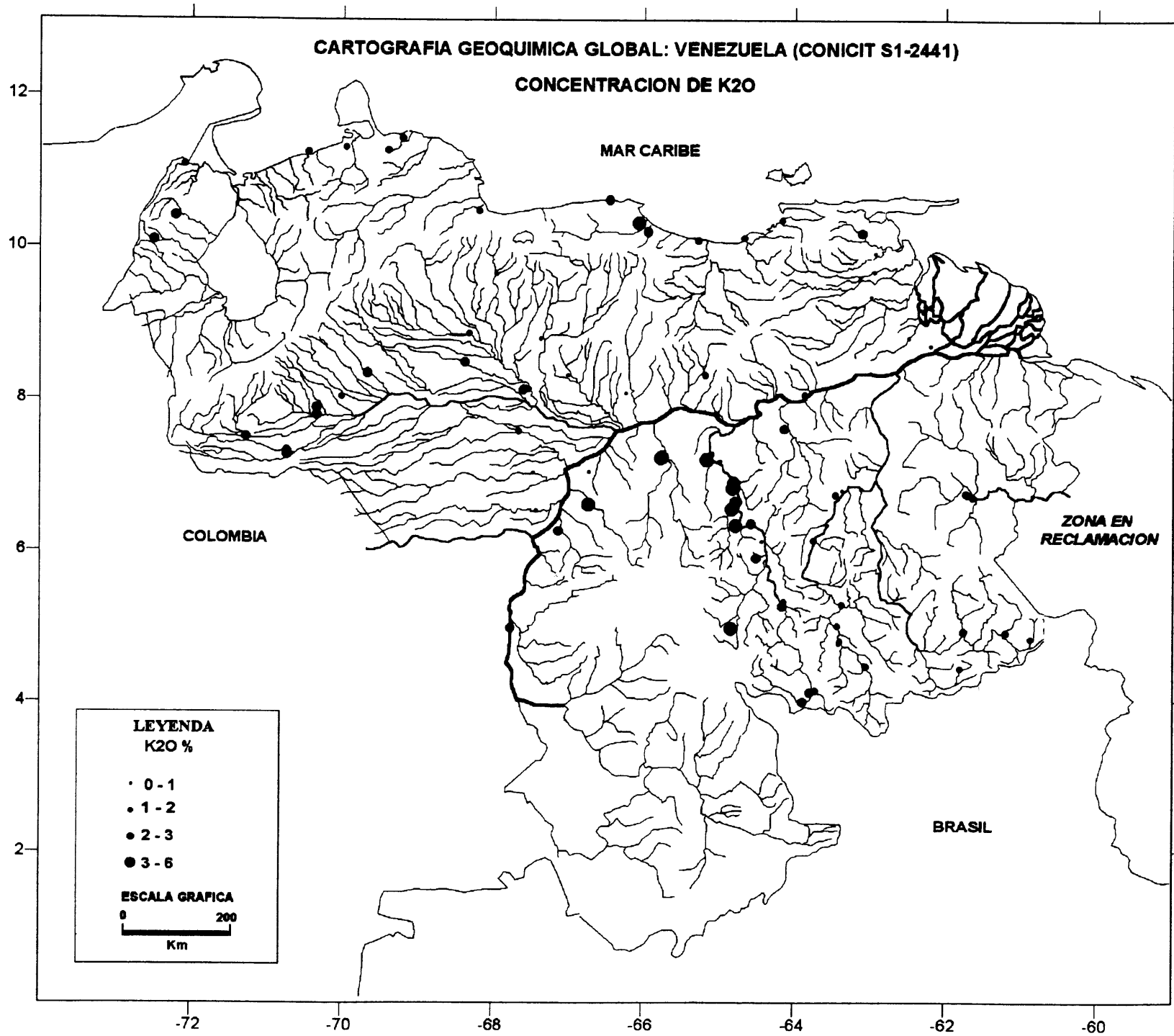


Fig. 13
Histograma de distribución de la concentración de Na₂O en los sedimentos finos



K₂O

El promedio de concentración de potasio, expresada como K₂O, en los sedimentos recolectados de los ríos de Venezuela es de 1,78 %, la desviación estándar es 1,07 y el coeficiente de variación es 60,1. La distribución geográfica de las concentraciones puede ser observada en la Figura 14 y el histograma correspondiente en la Figura 15. Puede observarse la presencia de dos poblaciones bastante bien separadas alrededor de 3 % K₂O, en donde la población de concentraciones inferiores es la mayoritaria. La población con concentraciones más altas es la más interesante desde el punto de vista geoquímico. La misma está compuesta por dos tipos de muestras. El primer tipo incluye el río Tuy y el río San Juan y, quizás, el río Sanare, en donde el K es posiblemente determinado por la contaminación; el Tuy por efecto de actividades asociadas a la agricultura y la intensidad de la población, mientras que los otros dos, por efecto de actividades asociadas a la explotación de hidrocarburos. Naturalmente, esta interpretación debe ser estudiada y verificada o descartada con trabajos de detalle. El segundo grupo o tipo, que incluye los ríos Caura, Cani, Erebató, Tacoto, Suapure, Guaniamo, Mato, Cucharó, Cuchivero y Nichare, no permite una interpretación que incluya efectos de contaminación ya que drenan áreas

esencialmente despobladas. La interpretación más sencilla de estos valores altos, geográficamente relacionados, la constituye una anomalía geoquímica del orden de 80.000 Km².

La concentración de K₂O de las muestras de este trabajo puede ser comparada con la composición de las muestras de sólidos suspendidos y los sedimentos transportados cerca del lecho del río (véase las consideraciones hechas para el Al₂O₃, p. 15). Los sólidos suspendidos en los ríos que drenan al Orinoco y al Cuyuní (Yanes, 1997), tienen una concentración promedio de 1,75 % K₂O que es, esencialmente, la misma concentración promedio encontrada en este trabajo (1,78 %). Sin embargo, esta coincidencia es engañosa; cuando se comparan las concentraciones río por río, se observan grandes diferencias, que pueden ser debidas a la naturaleza distinta de las muestras, es decir, sedimentos depositados en un caso y sedimentos suspendidos en el otro, pero que son importantes y deberían ser objeto de estudio. Los sólidos suspendidos de los ríos del mundo tienen una concentración de 1,81 % K₂O, (Gordeyev, 1980, p. 150), que es comparable con la de este trabajo. En los ríos de Estados Unidos la concentración promedio en los sólidos suspendidos es de 2,12 % K₂O, un poco más alta que la de este trabajo (Canfield, 1997).

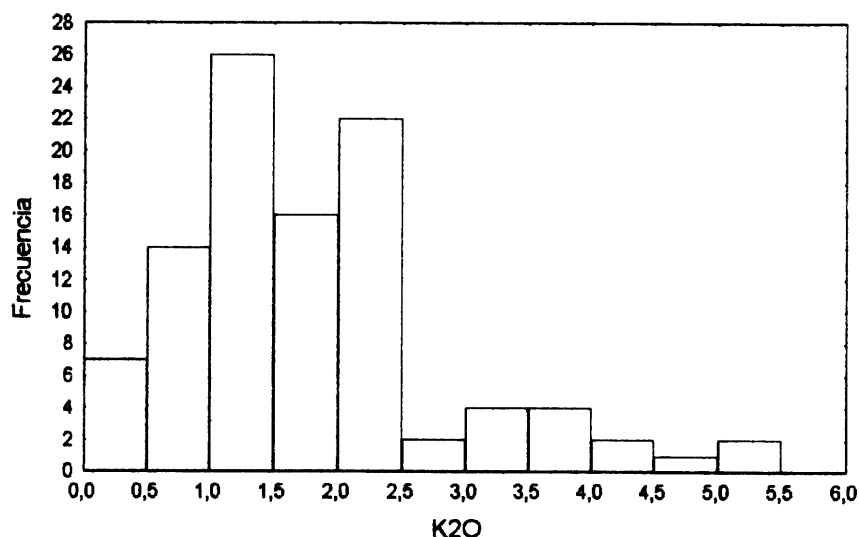


Fig. 15

Histograma de distribución de la concentración de K₂O en los sedimentos finos

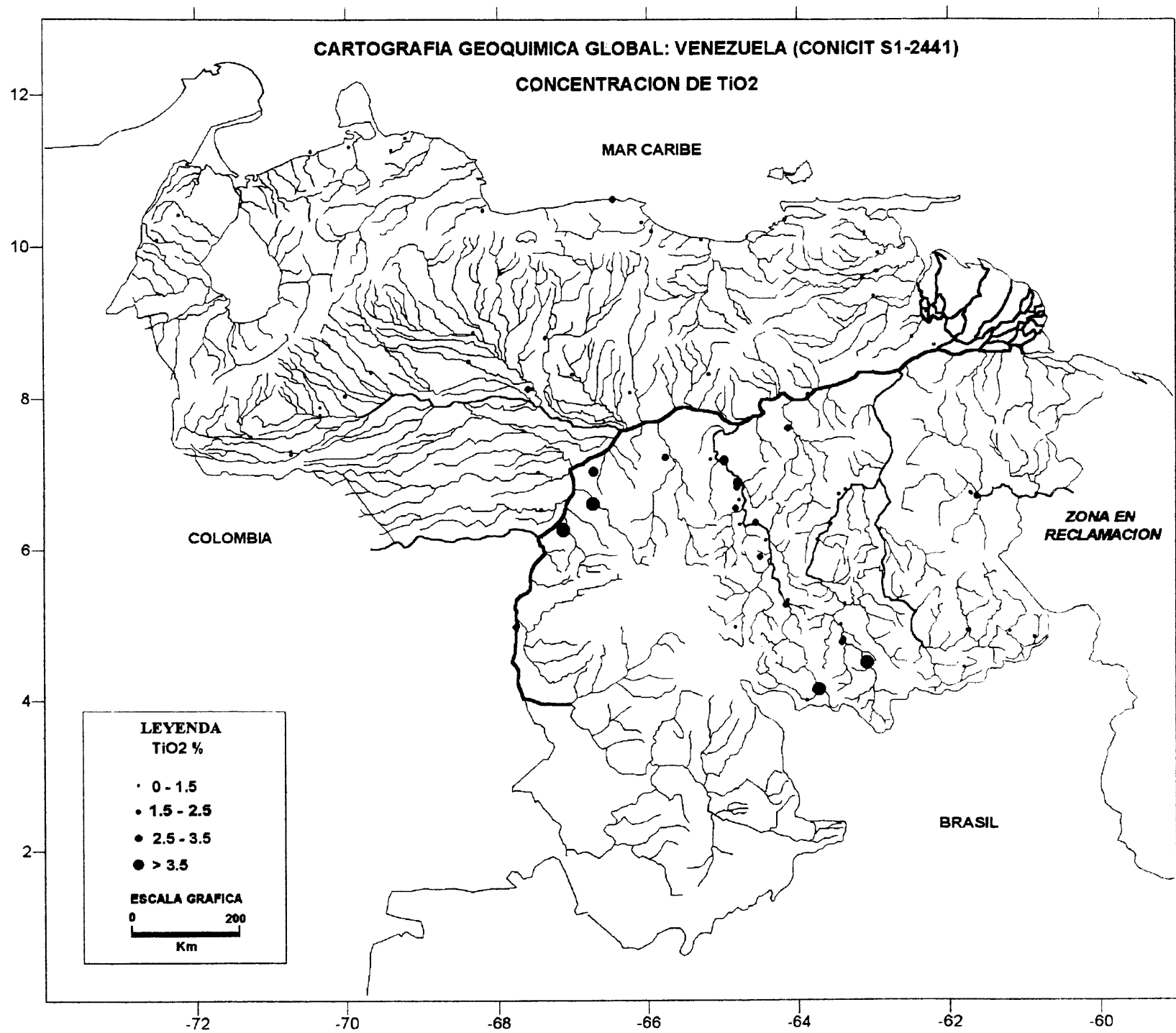


Fig. 16
Distribucion geográfica de TiO_2 en los sedimentos finos

TiO₂

El promedio de la concentración de titanio, expresada como TiO₂, en los sedimentos recolectados de los ríos de Venezuela es de 1,22 %, la desviación estándar es 0,91 y el coeficiente de variación es 75. La distribución geográfica de las concentraciones puede ser observada en la Figura 16 y el histograma correspondiente en la Figura 17. Puede observarse la presencia de una población dominante alrededor del promedio y algunas muestras con valores altos. Estas muestras con valores altos se asocian geográficamente con los drenajes del oeste del estado Bolívar, el río Caura y las cabeceras del río Paragua; con el conocimiento actual es difícil explicar esta distribución y merece atención en el futuro.

La concentración de TiO₂ de las muestras de este trabajo puede ser comparada con la composición de las muestras de sólidos suspendidos y los sedimentos transportados cerca del lecho del río (véase las

consideraciones hechas para el Al₂O₃, p. 15). Los sólidos suspendidos en los ríos que drenan el Orinoco y el Cuyuní (Yanes, 1997), tienen una concentración promedio de 1,11% TiO₂ que es, esencialmente, la misma concentración promedio encontrada en este trabajo (1,22%); sin embargo, aunque analizando cada río hay coincidencias importantes, en algunos casos, las diferencias son notables y dignas de estudios posteriores. Los sólidos suspendidos de los ríos del mundo tienen una concentración promedio de 0,67 % TiO₂ (Gordeyev, 1980, p.150), que es muy inferior a la de este trabajo. La concentración promedio de TiO₂ en la corteza terrestre es de 0,73 % y en las lutitas de 0,77% (Mason, 1966). La notable alta concentración de TiO₂ en los sedimentos finos, aproximadamente comparables con lutitas, de partes del estado Bolívar es indicativa de una importante anomalía regional de Ti, cuya extensión total en Venezuela puede determinarse completando la cobertura con muestras en el estado Amazonas.

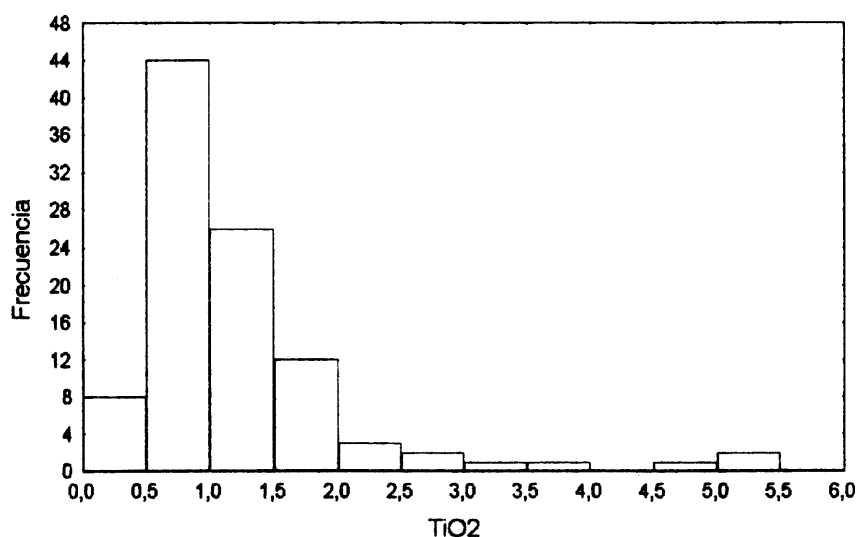
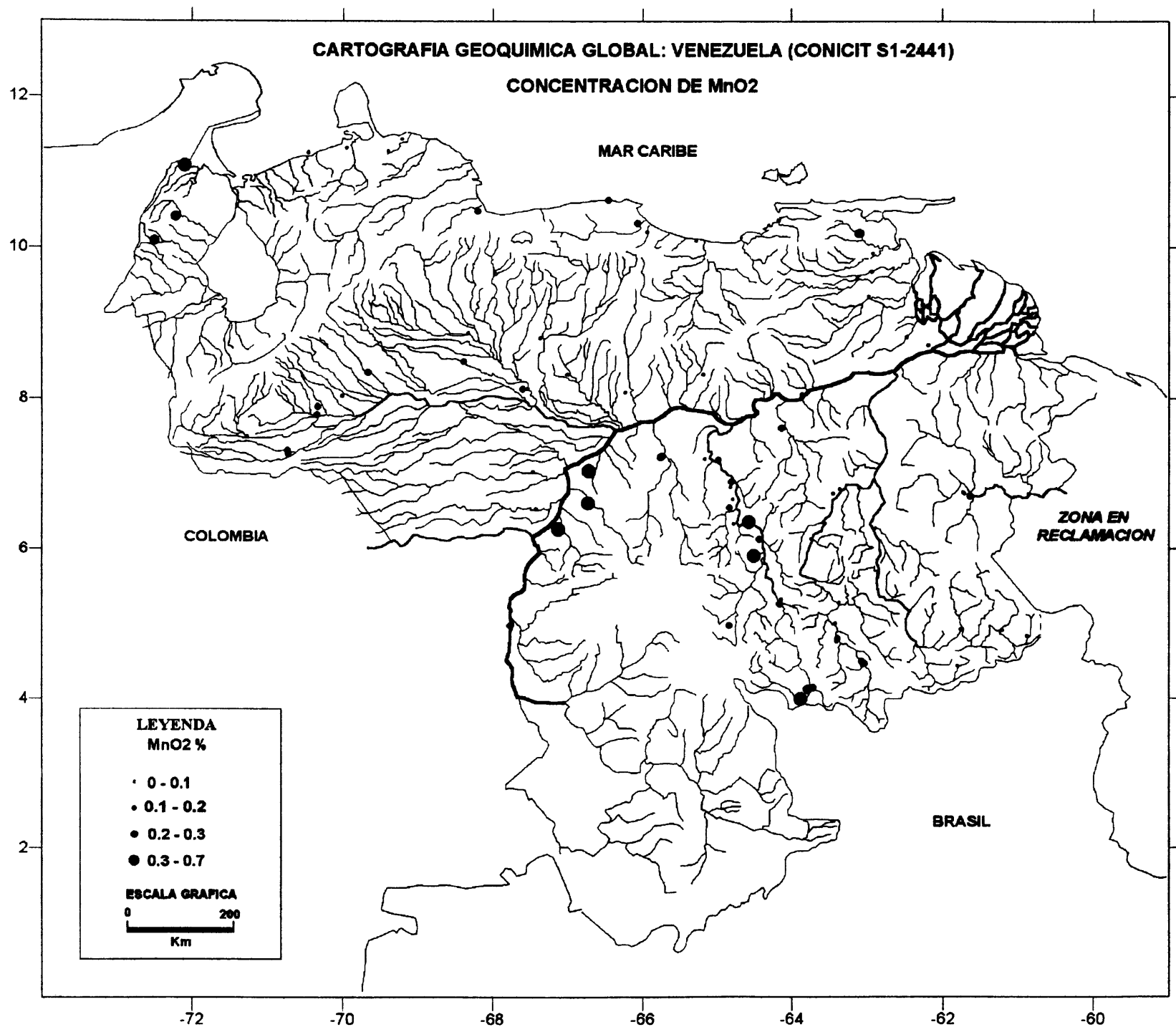


Fig.17
Histograma de distribución de la concentración de TiO₂ en los sedimentos finos



MnO₂

El promedio de la concentración de manganeso, expresada como MnO₂, en los sedimentos recolectados de los ríos de Venezuela es de 0,11 %, la desviación estándar es de 0,09 y el coeficiente de variación es 82. La distribución geográfica de las concentraciones puede ser observada en la Figura 18 y el histograma correspondiente en la Figura 19. Puede observarse la presencia de dos poblaciones bastante bien separadas alrededor de 0,25 % MnO₂, en donde la población de concentraciones inferiores es la mayoritaria. La población con concentraciones más altas se distribuye geográficamente en el estado Bolívar, de manera similar al TiO₂, a excepción del alto Paragua, en el noroeste del estado Zulia y, puntualmente, en el río San Juan del estado Monagas. Se interpreta que existe una extensa anomalía de Mn en el estado Bolívar y otra en el estado Zulia, cuyas causas no pueden ser determinadas con los conocimientos actuales.

La concentración de MnO₂ de este trabajo puede ser comparada con la composición de las muestras de sólidos suspendidos y los sedimentos transportados cerca del lecho del río (véase las consideraciones hechas para el Al₂O₃, p. 15). Los sólidos suspendidos en los ríos que drenan al Orinoco y el Cuyuní (Yanes, 1997) tienen una concentración promedio de 0,12 % MnO₂, que es, esencialmente, equivalente a la encontrada por este trabajo (0,11 %); sin embargo aunque hay, para varios ríos, coincidencias importantes, en algunos casos, las diferencias son notables y dignas de estudios posteriores. Los sólidos suspendidos de los ríos del mundo tienen una concentración promedio de 0,17 % MnO₂ (Gordeyev, 1980, p. 150), que es un 50 por ciento superior a la de este trabajo. En los ríos de Estados Unidos la concentración promedio en los sólidos suspendidos es de 0,24 % MnO₂ (Canfield, 1997, p. 3353), considerablemente más alta que la de este trabajo.

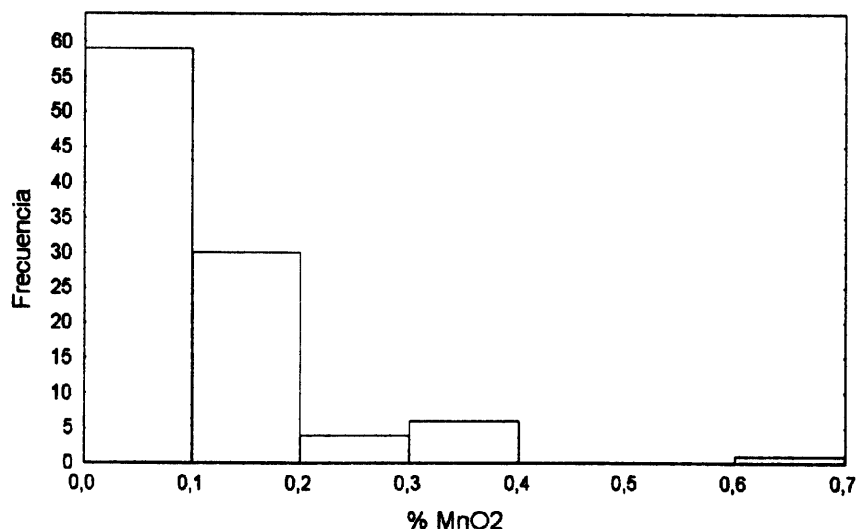


Fig. 19
Histograma de distribución de la concentración de MnO₂ en los sedimentos finos

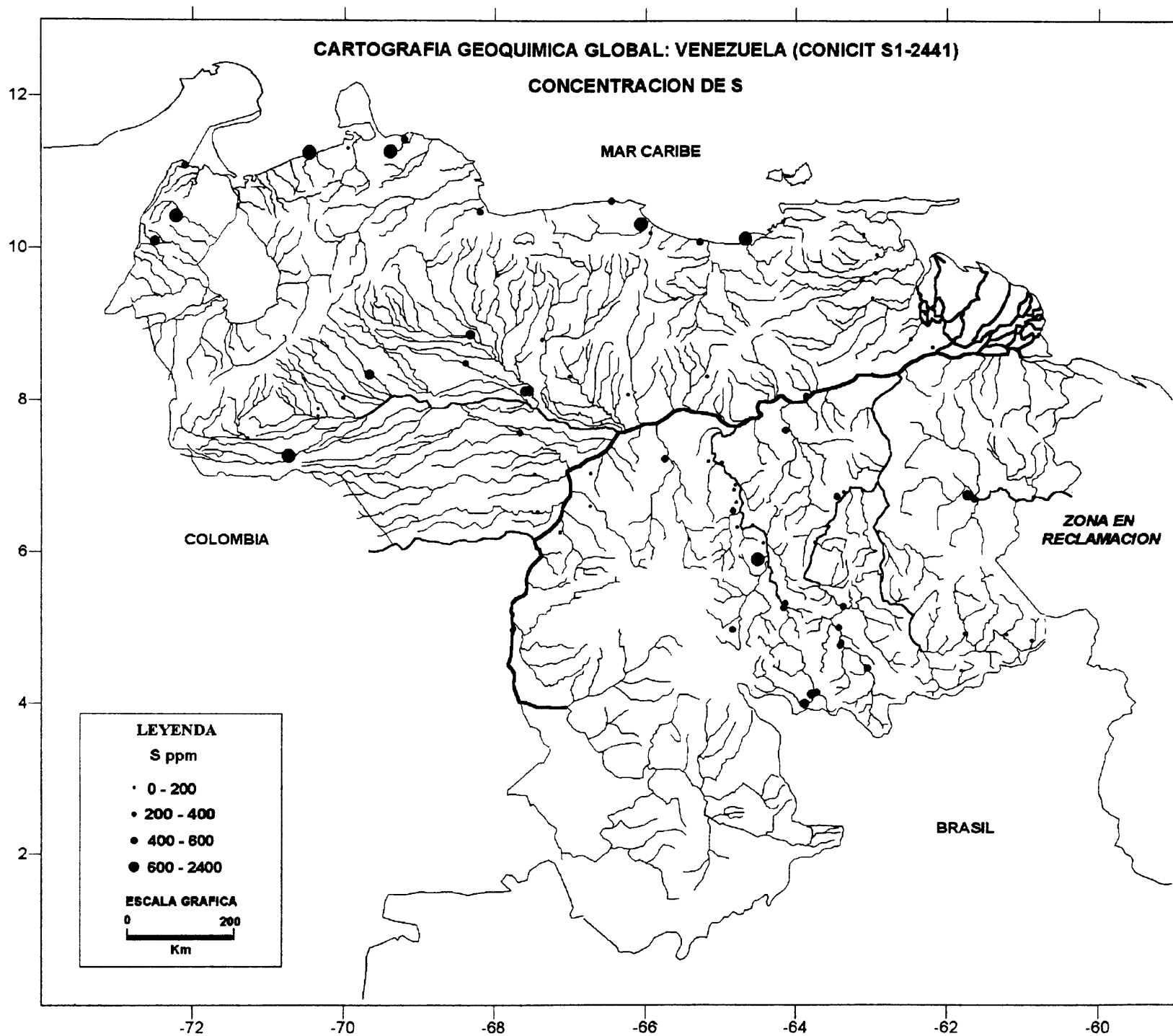


Fig. 20
Distribución geográfica del S en los sedimentos finos

S

El promedio de la concentración, expresada como S en los sedimentos recolectados de los ríos de Venezuela es de 280 ppm, la desviación estándar es 312 y el coeficiente de variación es 111. La distribución geográfica de las concentraciones puede ser observada en la Figura 20 y el histograma correspondiente en la Figura 21. Puede observarse una población dominante con valores alrededor del promedio y una serie de concentraciones altas en un intervalo muy extenso, desde las 350 ppm, hasta las 2300 ppm S. Algunos de los valores altos, como las 2240 ppm S del río Tuy, pueden asociarse a contaminación debida a ciudades y a actividades agrícolas, mientras que otras requieren trabajos de detalle para esclarecer sus causas.

El método analítico usado para determinar azufre

permite determinar si el azufre tiene una, dos, o tres formas de presentarse en la muestra, según la cinética de combustión de los compuestos orgánicos de azufre, los sulfuros inorgánicos y los sulfatos. Aproximadamente la mitad de las muestras presenta el S en una sola forma y la otra mitad en dos formas, mientras que 2 muestras lo presentan en tres formas.

El S no es un elemento comúnmente analizado en sedimentos suspendidos o depositados en los ríos. Su concentración promedio en las lutitas (dominantemente marinas) es de 2400 ppm y 260 ppm en las rocas ígneas y corteza terrestre; constituye alrededor de 500 ppm de las plantas terrestres vivientes (Hutchinson *en* Mason, 1966, p. 228). Su presencia en las muestras es debida a compuestos orgánicos y a mezclas de compuestos orgánicos con inorgánicos.

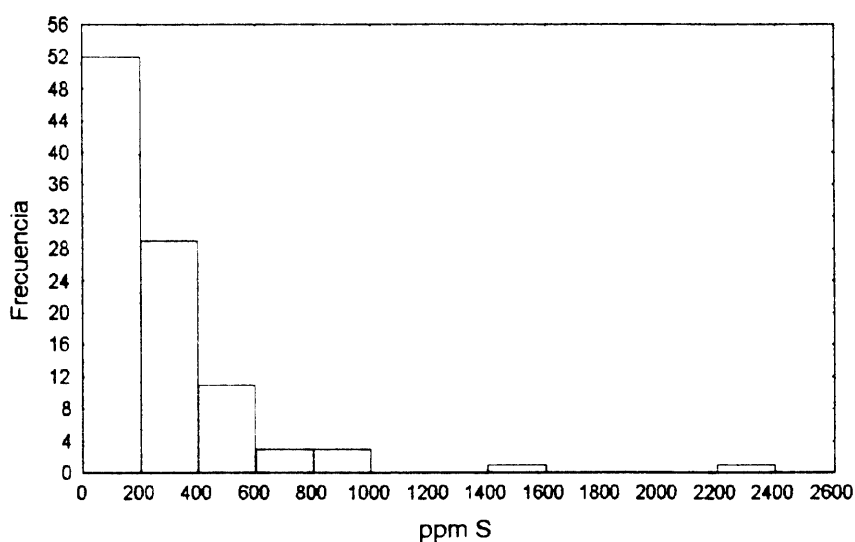


Fig. 21

Histograma de distribución de la concentración de S en los sedimentos finos

Latitud	Longitud	Muestra	Rio	% SiO2	%Al2O3	%Fe2O3	%MgO	%CaO	%Na2O	%K2O	%TiO2	MnO2	ppm S
10.0919	-72.4919	1	Apon	73.79	11.51	4.25	0.92	1.25	1.33	2.21	0.82	0.24	508
10.4153	-72.2167	4	Palmar	64.79	13.64	5.10	1.15	3.27	1.12	2.45	0.83	0.30	691
11.0844	-72.1000	6	Guasare	71.61	9.88	3.80	0.71	4.50	1.28	1.64	0.53	0.36	295
11.4344	-69.2167	8	Ricoa	75.02	14.14	5.83	0.62	0.99	0.76	1.56	1.01	0.06	377
11.2728	-69.4000	9	Ricoa	61.56	9.86	4.22	0.76	8.52	1.08	1.36	0.44	0.03	1550
11.2536	-70.4575	11	Zazarida	72.1	8.36	4.31	0.59	1.84	0.42	1.02	0.62	0.08	980
11.3153	-69.9575	13	Mitare	56.95	14.50	6.76	1.08	2.89	1.38	1.72	0.81	0.04	190
10.4808	-68.1989	15-a	Morón	63.04	14.14	4.33	0.85	1.62	2.86	1.72	0.64	0.12	248
10.4808	-68.1989	15-b	Morón	63.14	13.16	4.39	0.83	1.73	3.06	1.76	0.51	0.12	256
7.2656	-70.7254	17	Sarare	64.63	16.01	4.93	1.00	0.81	0.90	2.99	0.78	0.12	874
7.2656	-70.7254	18	Sarare	68.79	13.09	3.91	0.81	0.86	0.81	2.41	0.76	0.09	883
7.3071	-70.7317	20	Uribante	67.84	15.83	4.35	0.54	0.50	0.50	2.12	0.51	0.17	180
7.4977	-71.2710	23	Caparo	72.66	11.10	3.99	0.70	0.31	0.82	2.07	1.05	0.06	70
7.7859	-70.3433	25	Suripá	71.09	13.14	4.45	0.91	0.51	1.03	2.50	1.39	0.11	90
7.8907	-70.3397	27	Anaro	68.31	13.04	4.65	1.14	1.53	1.45	2.21	0.95	0.11	70
8.0361	-70.0108	29	Canagua	81.33	12.12	4.13	1.07	1.89	1.39	1.72	0.63	0.10	70
8.3433	-69.6685	31	Masparro	70.07	15.68	6.04	1.22	1.19	1.02	2.26	0.91	0.14	525
8.3433	-69.6685	32	Masparro	73.15	12.64	4.56	0.86	0.91	1.04	2.04	0.78	0.09	224
8.8672	-68.3252	34	Portuguesa	71.97	12.82	4.93	0.81	5.75	1.12	1.40	0.70	0.06	599
8.4878	-68.3884	35	Guanare	79.12	17.80	6.23	0.75	0.80	1.82	2.09	0.88	0.14	267
8.8000	-67.3667	38	Orituco	83.25	10.40	2.82	0.35	0.13	1.40	0.80	0.80	0.01	160
8.3167	-67.0000	39	San José	87.13	7.63	1.90	0.17	0.07	0.57	0.33	0.58	0.03	50
8.1333	-67.5333	41-A	Guárico	67.84	16.08	3.96	1.03	1.23	2.35	1.30	0.66	0.04	390
8.1333	-67.5333	41-B	Guárico	69.81	15.77	4.56	0.93	1.06	1.72	1.23	0.98	0.04	412
8.1333	-67.5333	41-C	Guárico		15.95	4.84	1.00	1.11	2.02	1.28	1.14	0.04	337
8.1333	-67.5333	41-D	Guárico	68.04	15.31	4.54	0.84	1.24	2.23	1.28	0.66	0.05	568
8.1269	-67.5959	42-A	Portuguesa	64.18	17.73	4.83	0.73	1.93	1.41	1.87	0.75	0.11	427
8.1269	-67.5959	42-B	Portuguesa	65.01	17.86	4.35	1.11	2.81	2.64	2.17	1.50	0.11	446
8.1269	-67.5959	42-C	Portuguesa	67.17	17.48	5.93	0.97	2.10	1.36	1.80	0.83	0.10	446
7.5751	-67.6575	44	Arauca	76.88	10.57	3.21	0.42	0.25	1.13	1.79	0.69	0.08	390
7.0301	-67.4632	46	Capanaparo	78.79	6.94	2.19	0.16	0.16	1.47	0.87	0.31	0.06	90
6.5316	-67.4202	48	Cinaruco	91.22	1.91	0.52	0.06	0.06	0.09	0.15	0.31	0.02	10
7.0409	-66.7158	58	Tortuga	78.37	4.78	2.54	0.04	0.04	0.43	0.90	2.79	0.31	30
4.9754	-67.7653	50	Sipapo	68.34	17.83	2.78	0.06	0.06	0.75	2.34	1.86	0.14	100
6.2613	-67.1201	52	Parguaza	68.02	11.44	5.98	0.05	0.23	0.59	2.23	5.08	0.33	30
6.6099	-66.7276	56	Suapure	70.51	11.94	6.23	0.22	0.79	1.60	3.82	5.27	0.61	80

Tabla 1-1/3

Tabla 1-2/3

Latitud	Longitud	Muestra	Rio	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% MgO	% CaO		% K ₂ O	% TiO ₂	MnO ₂	ppm S
7.2229	-65.7579	62	Guaniamo	70.81	12.69	3.84	0.24	0.56	0.95	3.99	1.94	0.15	30
7.2316	-65.7430	64	Cuchivero	67.86	16.15	2.73	0.43	1.12	2.26	4.63	1.10	0.11	340
8.0833	-66.2333	67	Manapire	80.67	7.80	3.44	0.31	0.31	0.64	0.52	0.55	0.09	170
8.0833	-66.2333	68	Manapire	83.54	8.24	3.90	0.52	0.67	1.04	0.69	0.93	0.09	140
8.3167	-65.1833	72	Zuata	77.51	12.35	5.32	0.35	0.30	0.84	1.14	0.80	0.08	180
3.9918	-63.8740	73	Merevari	57.81	25.49	7.18	0.73	1.04	0.63	2.49	1.36	0.31	532
4.1400	-63.7081	74	Guaña	68.98	11.04	8.67	0.51	0.45	0.59	1.38	4.88	0.17	320
4.1200	-63.7800	77	Caura	60.66	24.18	7.32	0.63	0.94	0.54	2.46	1.49	0.24	544
4.9733	-64.8333	81a	Erebato	66.92	21.51	3.35	0.41	0.76	1.38	3.56	1.28	0.13	281
4.9733	-64.8333	81	Erebato	68.67	19.25	4.13	0.31	0.41	0.48	3.42	1.49	0.15	277
5.3219	-64.1325	82	Savarú	75.67	19.66	2.78	0.15	0.28	0.49	1.18	0.95	0.10	279
5.2614	-64.1553	84	Caura	72.31	16.78	3.51	0.33	0.48	0.68	2.08	1.43	0.09	265
5.2614	-64.1553	86	Caura	69.55	13.28	3.86	0.31	0.58	0.62	1.99	1.94	0.15	180
5.9014	-64.5000	87	Erebato	57.7	29.02	5.91	0.44	0.84	0.46	2.42	1.52	0.38	639
6.1250	-64.4239	9	Yuruani	79.32	2.85	0.47	0.12	0.38	0.82	0.63	1.01	0.10	190
6.3357	-64.7750	92	Cucharo	67.87	17.51	3.61	0.21	0.58	1.47	4.41	1.50	0.05	70
6.3573	-64.5642	93	Caura	68.34	17.10	4.61	0.37	0.84	1.38	2.15	2.12	0.35	160
6.5488	-64.8287	95	Nichare	63.19	19.74	4.27	0.46	0.86	1.85	5.07	1.95	0.09	319
6.5488	-64.8287	96	Nichare	64.42	22.69	5.59	0.60	1.13	2.56	5.22	1.56	0.18	378
6.6583	-64.7845	98	Caurita	76.69	10.06	2.14	0.24	0.58	0.86	2.21	1.06	0.07	165
6.8250	-64.8167	100	Cani	68.95	17.29	2.25	0.12	0.30	0.74	3.00	1.77	0.09	130
6.8890	-64.8045	104	Tacoto	68.46	17.31	5.78	0.17	0.33	0.61	3.73	2.65	0.17	140
7.1833	-64.9833	106	El Quino	64.03	16.53	11.93	0.10	0.10	0.30	0.06	3.42	0.10	100
7.1958	-65.1623	107	Mato	78.29	13.88	1.80	0.19	0.44	1.09	4.23	0.89	0.04	80
8.0567	-63.8557	109	Orinoco	74.18	13.50	4.71	0.56	0.42	0.76	1.83	0.67	0.07	229
7.6055	-64.1277	112	Aro	65.62	19.32	9.52	0.33	0.75	1.05	2.03	1.99	0.19	324
4.7667	-63.4000	113	Ichún	84.75	3.53	2.12	0.12	0.08	0.05	0.32	1.80	0.05	278
4.8000	-63.3833	115	Paragua	79.61	14.48	4.71	0.30	0.21	0.23	1.28	2.17	0.14	202
5.0000	-63.4167	116	Paragua	80.74	23.78	4.03	0.46	0.35	0.58	1.84	1.48	0.05	266
5.2819	-63.3619	117	Carún		22.45	4.61	0.27	0.18	0.18	1.75	1.30	0.09	300
6.7365	-63.4443	120	Paragua		16.31	3.66	0.26	0.19	0.23	1.36	1.24	0.06	240
6.7964	-63.3553	122	Paragua		11.94	2.80	0.22	0.10	0.15	0.99	1.37	0.07	160
6.1333	-63.7333	125	Tonoro		9.67	0.95	0.21	0.08	0.12	1.43	0.70	0.01	180
4.4922	-63.0721	127	Paragua	83.7	8.10	5.03	0.22	0.11	0.10	0.76	3.63	0.12	160
4.4605	-63.0361	128	Paragua	83.63	11.14	4.11	0.26	0.24	0.12	1.05	2.32	0.13	264
6.7014	-61.6342	130	Cuyuni	65.71	19.10	5.14	0.27	0.23	0.30	1.38	1.34	0.07	200

Latitud	Longitud	Muestra	Rio	% SiO2	%Al2O3	%Fe2O3	%MgO	%CaO	%Na2O	%K2O	%TiO2	MnO2	ppm S
6.7014	-61.6342	131	Cuyuni	65.83	18.82	4.44	0.28	0.42	0.69	1.58	1.84	0.11	140
6.7083	-61.6300	134	Cuyuni	61.91	24.10	4.34	0.36	0.45	0.98	1.48	1.39	0.12	227
6.7525	-61.7225	136	Yuruari	55.9	23.78	5.60	2.11	3.69	2.09	1.25	1.14	0.04	476
6.7525	-61.7225	137	Yuruari	58.14	16.98	1.38	0.53	1.11	0.90	0.99	1.12	0.07	253
6.7525	-61.7225	138	Yuruán	76.61	6.92	1.56	0.18	0.76	0.66	1.30	0.73	0.04	140
6.7369	-61.7047	140	Yuruán	76.36	11.42	2.20	0.30	1.04	1.74	1.41	1.20	0.05	200
4.9280	-61.7509	143	Caruai	77.41	6.58	1.95	0.13	0.15	0.15	0.76	1.18	0.04	80
4.9285	-61.7512	145	Caruai	81.47	5.26	0.61	0.41	0.14	0.13	1.07	1.02	0.06	160
4.8353	-60.8706	147	Cuquenán	73.14	10.29	2.31	0.15	0.20	0.16	1.05	0.33	0.02	100
4.9132	-61.2036	150	Cuquenán	82.71	12.24	2.73	0.23	0.15	0.15	1.55	0.55	0.03	90
4.9195	-61.7537	152	Caroni	83.66	10.67	2.39	0.16	0.12	0.08	1.09	0.76	0.03	90
4.4366	-61.7982	154	Uaiparú	84.21	8.85	2.33	0.14	0.10	0.15	1.17	0.74	0.02	60
8.7044	-62.1842	157	Orinoco	91.18	3.10	1.69	0.21	0.51	0.21	0.72	0.73	0.07	60
8.8081	-62.4722	159	Uracoa	90.86	3.36	1.65	0.05	0.13	0.33	0.32	0.42	0.01	30
9.1489	-62.2903	162	Morichal Largo	97.22	29.60	0.74	0.03	0.11	0.05	0.13	0.40	0.01	30
9.3500	-62.9797	163	Tigre	95.73	3.54	1.22	0.07	0.15	0.26	0.91	0.63	0.02	60
9.5783	-63.1236	165	Guanipa	71.82	3.64	1.72	0.26	0.84	1.99	0.59	0.85	0.03	50
9.6742	-62.9369	167	Amana	86.27	3.02	2.13	0.09	0.12	0.12	0.30	0.22	0.08	50
9.9217	-62.9167	169	Guarapiche	96.37	6.91	3.22	0.19	0.40	0.34	0.60	0.34	0.04	50
10.1869	-63.0933	171	San Juan	75.71	20.81	8.62	1.27	0.92	1.60	2.51	0.93	0.21	50
10.3547	-64.1667	175	Manzanares	62.04	10.96	3.98	0.32	8.75	0.78	1.66	0.56	0.06	50
10.1300	-64.6667	177	Neveri	74.52	11.09	3.89	0.67	3.17	1.45	1.20	0.63	0.02	794
10.0900	-65.2800	179-a	Unare	65.4	15.29	6.59	1.14	0.99	1.23	1.42	0.74	0.09	269
10.0900	-65.2800	179-b	Unare	83.24	9.71	3.76	0.57	4.86	2.06	1.07	0.55	0.08	50
10.2083	-65.9400	181	Guapo	60.64	21.05	7.74	1.22	0.24	1.07	2.29	0.90	0.08	50
10.3250	-66.0667	183	Tuy	49.25	20.64	8.66	2.39	4.71	1.79	3.44	1.09	0.17	2240
10.6269	-66.4528	185	Todasana	57.69	17.29	8.48	2.61	2.95	3.97	2.22	1.62	0.18	268
PROMEDIO				72.63	13.77	4.16	0.54	1.10	1.00	1.78	1.23	0.110	280.2
DESV. ESTD.				9.61	5.89	2.07	0.47	1.56	0.76	1.07	0.93	0.095	311.7
CV				13.2	42.8	49.7	87.3	141.4	75.6	60.2	75.1	86.33	111.2

Tabla 1-3/3

Resultados y Discusión

Los resultados analíticos se presentan en la Tabla 1, en donde aparece la posición geográfica de la muestra en longitud y latitud, el número de muestra, el río, y la concentración de los componentes SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , MnO_2 y S. Adicionalmente, la distribución de cada componente dentro de Venezuela es presentada en las figuras 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20; mientras que los histogramas de cada componente se presentan en las figuras 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19 y 21. A continuación se considera cada uno de los componentes por separado, en donde se incluye una comparación de las concentraciones encontradas con datos de sedimentos en suspensión de los ríos de Venezuela, de Estados Unidos y del mundo. Estas descripciones y comparaciones, por considerar las mismas variables de manera sistemática y paralela para los diversos componentes, pueden resultar algo monótonas y repetitivas, pero tienen la virtud de que cada componente puede ser considerado por sí solo. Posteriormente se hace una discusión general breve.

Discusión General

Se ha presentado los resultados analíticos de las muestras de sedimentos finos recolectados en ríos de Venezuela para cada uno de los componentes SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , MnO_2 y S, junto con sus promedios, desviaciones estándar, coeficientes de variación, distribución geográfica e histogramas. Para cada elemento se ha intentado una interpretación primaria de su distribución y se ha hecho comparaciones con muestras similares de otras regiones.

El ejercicio ha servido para establecer una base composicional para este tipo de sedimentos y, en especial, para detectar tópicos que pudieran ser estudiados en el futuro con provecho, como lo es la variabilidad de las muestras, la influencia de las actividades humanas y el estudio de áreas anómalas en los diversos elementos. La interpretación de los resultados ha sido incipiente, pero ésta podrá mejorarse a través del análisis de elementos traza en las mismas muestras, lo que está próximo a realizarse.

La variabilidad intrínseca de las muestras, es decir, aquella debida a la diferencia entre submuestras tomadas en la misma localidad, o localidad vecina, equivalente a los ojos del colector, a través del tiempo, solo se ha ensayado para 2 grupos de muestras, de 3 y 4 muestras, respectivamente, tomadas en la misma fecha. La mejor determinación o evaluación de esta variable es importante para efectuar interpretaciones de resultados, ya que permitiría discernir diferencias estables a través del tiempo para un determinado drenaje. Este conocimiento es esencial para detectar, sin ambigüedades, cambios composicionales, a través del

tiempo, causados por actividades humanas. El trabajo de Carvalho et al. (1999), realizado, en este sentido, para los elementos Cu, Cr, Zn, Mn y Fe, en su variación estacional, indica que estos cambios composicionales pueden ser muy grandes.

Conclusiones

El trabajo realizado permite llegar a las siguientes conclusiones:

1. La composición promedio de los sedimentos finos proveniente de los ríos de Venezuela es de SiO_2 , 72,8 %; Al_2O_3 , 13,7 %; Fe_2O_3 , 4,12 %; MgO , 0,53 %; CaO , 1,08 %; Na_2O , 0,98 %; K_2O , 1,78 %; TiO_2 , 1,22 %, MnO_2 , 0,11 %; y S, 280 ppm.

2. Las concentraciones altas en Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , K_2O y S, pueden ser indicios de efectos debidos a actividades humanas.

3. La parte oeste del estado Bolívar es anómala en varios elementos, entre ellos Fe, Mn, Ti y K; sobre la base de los datos con que se cuenta, no es posible determinar su causa.

4. El orden decreciente del coeficiente de variación de los componentes estudiados es $\text{CaO} > \text{S} > \text{MgO} > \text{MnO}_2 > \text{Na}_2\text{O} > \text{TiO}_2 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{SiO}_2$. Este orden es indicativo de movilidad relativa o presencia de anomalías.

5. La variabilidad de las concentraciones en las muestras entre sí puede apreciarse ordenando los elementos según su coeficiente de variación de la siguiente forma:

CaO , 143; S, 111; MgO , 89; MnO_2 , 82; Na_2O , 77; TiO_2 , 75; K_2O , 60; Fe_2O_3 , 50; Al_2O_3 , 43; y SiO_2 , 13.

Los elementos más móviles tienen un coeficiente de variación más alto. La posición intermedia del Ti sorprende y es probablemente causada por anomalías en este elemento.

Recomendaciones

El trabajo realizado permite recomendar:

1. Completar la recolección de muestras en ríos de orden 8 en las áreas donde no fue posible hacerlo en este trabajo.

2. Estudiar, lo que se ha llamado, la variabilidad intrínseca de las muestras para los diversos elementos o compuestos.

3. Estudiar en detalle aquellas áreas que se han delineado como anómalas para cada elemento o grupos de elementos.

4. Ampliar el estudio de las muestras a los elementos traza, que bien podrían asistir a una mejor

interpretación de los resultados obtenidos.

5. Estudiar mineralógicamente la composición de las muestras.

Agradecimientos

Es para los autores un deber y un placer agradecer la asistencia y colaboración de aquellos individuos y organizaciones que hicieron posible este trabajo. Se desea destacar al CONICIT, quien a través del proyecto S1-2441 financió, las labores de campo y los análisis; a EDELCA (Electrificación del Caroni C.A de la Corporación Venezolana de Guayana) en su apoyo logístico en buena parte del estado Bolívar; al Dr. Manuel Martínez, por los análisis de azufre; a un árbitro anónimo, por sus sugerencias constructivas; y al Instituto de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela, su infraestructura y ambiente académico.

Bibliografía

- Canfield, D.E. 1997. The Geochemistry of river particulates from the continental USA: Major elements: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 61, p. 3349-3365.
- Carvalho, C.E.V., et al. 1999. Seasonal variation of particulate heavy metals in the Lower Paraíba do Sul river, R.J., Brazil: *Environmental Geology*, v. 37, n. 4, p. 297-302
- Darnley, A.G. 1995 International geochemical mapping-a review: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 55, n. 1-3, p. 5-10.
- Darnley, A.G. 1997. A global geochemical reference network : the foundation for geochemical baselines: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 60, n. 1 p. 1-5.
- Darnley, A.G., Björklund, A.J., Bolviken, Bolviken, B., Gustavsson, N., Koval, P.V., Plant, J.A., Steenfelt, A., Tauchid, M., Xie Xuejing, et al. 1995. A global geochemical database for environmental and resource management: recommendations for international geochemical mapping: Paris, UNESCO, Science Report 19, 122 p.
- Gordeyev, V.V. 1980. The average chemical composition of suspensions in the world's rivers and the supply of sediments to the ocean by streams: *Doklady Akad. Nauk SSSR*, v. 238, p. 150-153.
- Escandón, M.J. y Pasquali, J. 1995. Localización de muestras de sedimentos en prospección geoquímica: Mérida, AsoVAC, XXXV Convención Anual, p.113.
- Mason, Brian. 1966. Principles of geochemistry: New York, John Wiley, 329 p.
- Pasquali Z., Jean, Gutiérrez, J.V., Lira, A.A., López, C.J., Marrero, S., Sifontes, R.S., Tapia, J.J. Tosiani, T., y Yanes, C. 1997. Cartografía geoquímica de Venezuela: Elementos mayoritarios en sedimentos finos de ríos: Valencia, AsoVAC, XLVII Convención Anual, 16 al 21 de Noviembre de 1997, 1 p.
- Torres, Juan. 1989. Exploración geoquímica regional de la Guayana Oriental, Edo. Bolívar, Venezuela; Caracas, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Tesis Doctoral, 207 p.
- Xuejing, Xie, Xuzhan, Mu, and Tianxiang, Ren. 1997. Geochemical mapping in China: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 60, n. 1, p. 99-113
- Yanes Carlos. 1997. Estudio geoquímico regional de los ríos del escudo de Guayana: Caracas, Universidad Central de Venezuela, Facultades de Ciencias e Ingeniería, Tesis Doctoral, 313 p.