

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE GEOQUÍMICA



**Determinación de Mn, Fe, Cr, Ni, Co, V y Pt en sedimentos de
la cuenca del río Cuira.**

Trabajo Especial de Grado
presentado ante la Ilustre Universidad
Central de Venezuela por el Br. Lenny
Jhon Torín Martínez como requisito
para aprobar la asignatura Proyecto
Geoquímico II y optar al Título de
Licenciado en Geoquímica.

Caracas, Septiembre 2008

ACTA

Aprobado en nombre de la Universidad Central De Venezuela por los Miembros del Jurado Examinador.

Prof. Armando Ramírez

Tutor

Prof. Santiago Marrero

Jurado

Prof. Ramón Montero

Jurado

DEDICATORIA

A mi Dios, mi más grande colaborador y a mi madre mi mejor socia sin su apoyo jamás habría llegado ni a la mitad del camino. Ellos me han dado siempre más de lo que he pedido sin exigir nada a cambio.

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios por no abandonarnos nunca en los momentos difíciles.

A la Universidad Central de Venezuela por formarme como profesional.

A todos los profesores del Instituto de Ciencias de la Tierra por su consejo, guía y enseñanza durante todos mis años como estudiante de esta facultad.

A la Fundación Amigos de Ciencias por el financiamiento de la etapa de campo.

A las personas del caserío el Jobito por su valiosa ayuda, sin la cual no habríamos podido completar exitosamente el muestreo.

Al Instituto de Ciencias de la Tierra por prestar sus instalaciones, material e instrumental y por el financiamiento de la etapa de laboratorio de este proyecto.

A los profesores, empleados y personal técnico del Instituto de Ciencias de la Tierra por su ayuda y consejo durante la etapa de laboratorio.

A mis compañeros de CECOBIO por brindarme su apoyo a lo largo de todos mis años como estudiante universitario.

A los amigos que de una u otra forma prestaron su ayuda desinteresada en los momentos difíciles, especialmente a: Diego Romero, Rosa Ochoa, Javier De Freitas y Manuel Moreira.

Al mi tutor, profesor Armando Ramírez por su guía, consejo y paciencia.

RESUMEN

En la cuenca del río Cuirá fueron recolectadas 26 muestras de sedimentos en dos salidas de campo, dichas muestras fueron tamizadas a través de 10, 18, 35 y 60 mallas en campo y a través de 120, 230 y 325 mallas en el laboratorio. De las fracciones tamizadas en campo, fueron tomadas muestras a las cuales les fue medida la humedad para recalcular el peso seco de las fracciones en cada punto. Los datos obtenidos permitieron determinar la distribución granulométrica, obteniéndose que la zona de estudio está dominada por las arenas muy gruesas y gruesas. La fracción mayor a diez mallas no fue considerada para este proyecto. A las siete fracciones granulométricas de nueve de los puntos les fue determinada la concentración de Co, Cr, Mn, Ni, Mg y V y Pt con la finalidad de identificar la fracción más adecuada para el estudio de esos elementos en la zona. Los resultados indican que para el área no existe una fracción de tamaño de grano en la cual los elementos estén siendo concentrados significativamente. Los 26 puntos de muestreo fueron analizados empleando la fracción < 325 mallas con el objeto de establecer la relación espacial de Mn, Fe, Cr, Ni, Co, y V los resultados obtenidos muestran que las mayores concentraciones de Fe, Cr, Ni, Co, y V están relacionadas con sedimentos provenientes del Complejo Ultramáfico de Apa, mientras que el Mn no presenta diferencias significativas de concentración en la zona. No obstante el, Cr es, del grupo de los elementos estudiados, el que permite hacer mejor diferenciación entre el Complejo de Ultramáfico de Apa y el resto de las litologías presentes. El elemento Pt está por debajo del límite de detección del método empleado, su concentración en las muestras analizadas es menor a 20 ng/g.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| INTRODUCCIÓN | pp. 10 |
| MARCO TEÓRICO | 13 |
| Bases teóricas | |
| Antecedentes | |
| Características fisiográficas | |
| Ubicación | |
| Geología | |
| MARCO METODOLÓGICO | 26 |
| Recolección de las muestras | |
| Análisis químicos | |
| PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 31 |
| Distribución granulométrica | |
| Distribución de la concentración de Co, Cr, Mn, Ni, Mg y V en las fracciones granulométricas | |
| Distribución espacial de Ni, Cr, Mn, Fe, Mg, Ca y V | |
| CONCLUSIONES | 57 |
| RECOMENDACIONES | 58 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 59 |
| APÉNDICES | 64 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | pp. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Figura 1. Mapa de las zona con puntos de muestreo | 27 |
| Figura 2. Distribución granulométrica del río Arenilla | 35 |
| Figura 3. Concentración de Ni en las fracciones del sedimento | 37 |
| Figura 4. Concentración de Cr en las fracciones del sedimento | 38 |
| Figura 5. Correlación Ni – Cr en todas las fracciones granulométricas de nueve puntos de muestreo | 39 |
| Figura 6. Correlaciones Co - Cr, Mn – Cr, y V - Cr | 41 |
| Figura 7. Concentración de Co en las fracciones del sedimento | 42 |
| Figura 8. Concentración de Mn en las fracciones del sedimento | 43 |
| Figura 9. Concentración de V en las fracciones del sedimento | 45 |
| Figura 10. Concentración de Mg en las fracciones del sedimento | 46 |
| Figura 11. Correlación de los elementos Co, Cr, Mn, Ni, Fe, V y Ca con el Mg en las muestras de sedimentos de los 26 puntos de recolección. | 51 |
| Figura 12: Correlaciones Co – Mg . | 53 |
| Figura 13. Correlaciones Ni – Co y Cr – Co en los 26 puntos de muestreo. | 54 |
| Figura 14. Correlaciones V – Ca, V – Mg, V – Fe y Ca – Fe | 56 |

INDICE DE TABLAS

| | pp. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Tabla 1. Resumen del mapa con los puntos de muestreo | 28 |
| Tabla 2. Concentración de Co, Cr, Mn, Ni, Fe, Mg, V y Ca en una fracción del sedimento recolectado en los 26 puntos muestreados. | 32 |
| Tabla 3. Distribución granulométrica general en los 26 puntos de muestreo de sedimentos (% peso seco) | 33 |

APÉNDICES

| | pp. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| A. Resultados obtenidos en campo y en laboratorio para la distribución granulométrica de cada uno de los puntos de muestreo | 64 |
| B. Resultados obtenidos de los análisis químicos en las fracciones del sedimento | 72 |
| C. Condiciones experimentales del ICP – OES | 75 |

INTRODUCCIÓN

La dispersión geoquímica es el resultado de la interacción de los procesos mecánicos y químicos que conllevan la movilización de los elementos de un ambiente a otro. Esta dispersión puede ser primaria (durante la formación del depósito) o secundaria (posterior a la formación del depósito). El medio Ambiente secundario está caracterizado por su baja presión y temperatura, libre movimiento de las soluciones, abundante oxígeno, agua libre y CO_2 por lo cual en este ambiente la meteorización es muy importante ya que muchos minerales son inestables y son desintegrados como resultado de la oxidación y otras reacciones químicas. Esto conlleva a la dispersión tanto de los minerales como de los elementos indicadores en solución, a través de la escorrentía y de las aguas subterráneas, a veces por relativamente largas distancias dentro del área de drenaje.

La movilidad de los diferentes elementos varía considerablemente dependiendo de varios factores como la adsorción y las condiciones pH – Eh. Los metales y no metales de interés geoquímico son liberados de los minerales primarios y secundarios a través de la acción de procesos de meteorización que los mueven a solución a lo largo de canales hidromórficos. Ellos tienden a ser particionados en diferentes formas químicas asociados con varias fases orgánicas e inorgánicas dependiendo del ambiente químico y geológico.

Los sedimentos generados como producto de la meteorización son mezclas altamente complejas de minerales y compuestos orgánicos con iones asociados por absorción, adsorción o acomplejamiento ([Giancoli et al., 2004](#)). Los ríos son colectores de sedimentos, considerados por varios autores como la mejor mezcla de materiales del área de captación aguas arriba del punto muestreado y como un promedio representativo del área de la cuenca, y por tanto son muy útiles en exploración geoquímica.

El área de estudio forma parte del flanco norte de la Serranía del interior y por sus características selváticas ha sido relativamente poco estudiada. Geológicamente forma parte de la Faja de Villa de Cura, constituida en su mayoría por rocas metavolcánicas y meta sedimentarias. Localmente existen tres unidades litológicas: unidad de metatobas, unidad de esquistos y metatobas y complejo ultramáfico de Apa (un Complejo Ultramáfico Zonado tipo Alaska). De este tipo de litologías es sabido que pueden contener comúnmente mineralizaciones de elementos del grupo del platino (PGE) que incluye los elementos: Pt, Pd, Rh, Ir, Ru y Os, los seis elementos junto con el Au son conocidos colectivamente como metales preciosos Barefoot ([2004](#)).

En exploración geoquímica es común emplear elementos conocidos como trazadores que están cercanamente relacionados con el elemento y/o minerales de interés. Para el estudio de Pt comúnmente son empleados como trazadores Pd, Cr, Ni y Co.

El río Cuira atraviesa la región selvática de Guatopo y es afluente del río Tuy, su cuencas abarca 564 km², este río es un recolector de sedimentos que pueden permitir estudiar la zona.

A pesar de que en la región de Guatopo afloran rocas que pudieran contener posibles mineralizaciones de elementos del grupo del platino, los estudios geoquímicos realizados en la zona están limitados al trabajo de Zerpa (1982). El presente trabajo tiene como finalidad contribuir a mejorar el conocimiento geoquímico de la zona de la zona. Para tal fin son propuestos los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Establecer la distribución espacial y granulométrica de Mn, Fe, Cr, Ni, Co, V y Pt en los sedimentos recolectados en el río Cuira, afluente del río Tuy.

Objetivos específicos:

- Determinar la distribución granulométrica de los sedimentos.
- Determinar la concentración de Mn, Fe, Cr, Ni, Co, V y Pt en las distintas fracciones granulométricas.
- Establecer la relación espacial de Mn, Fe, Cr, Ni, Co, V y Pt.

MARCO TEÓRICO

Bases teóricas

En la zona de estudio, afloran principalmente rocas metavolcánicas y metasedimentarias además de un complejo ultramáfico zonado concéntricamente tipo Alaska, los cuales son considerados como las “raíces” de arcos de isla, formadas en relación con ambientes de márgenes convergentes ([Farahat y Helmy, 2006](#)). Muchos de estos complejos contienen una mineralización del grupo del platino de importancia económica ([Krause et al., 2007](#)).

Los metales y no metales de interés geoquímico son liberados de los minerales primarios y secundarios a través de la acción de procesos de meteorización que los mueven a solución a lo largo de canales hidromórficos, ellos son particionados en diferentes formas químicas asociados con varias fases orgánicas e inorgánicas dependiendo del ambiente químico y geológico. Las fases con fuertes poder de absorción o retención retendrán los elementos cerca de su superficie a través de enlaces fisicoquímicos o incorporándolos en su estructura. El restante de elementos es distribuido competitivamente con una fuerza de enlace variable. Un elemento puede cambiar de una fase a otra al final de un periodo de tiempo ([Chao, 1984](#)).

Los sedimentos son originados por los diversos parámetros que conforman el sistema hidrológico, atmosférico, y biosférico. El origen está relacionado con

la meteorización, erosión y transporte de las partículas y granos derivados de rocas preexistentes, metamórficas y sedimentarias, así como por el producto de precipitaciones químicas y precipitaciones de minerales por organismos.

Los sedimentos antes de litificarse y formar rocas sedimentarias están sujetos a condiciones de madurez textural y química por medio del escogimiento, redondez, fraccionamiento consistente de los granos y pérdida de los minerales más susceptibles a las modificaciones químicas y texturales ([Méndez, 2002](#)), durante el transporte y ya depositados.

Algunas de las características importantes a estudiar de una muestra de sedimentos, son la madurez textural y química. En la madurez textural el transporte de los granos ocasiona cambios físicos como redondez y esfericidad, los cuales son incrementados a medida que el recorrido es mayor. Lo mismo ocurre con la selección y escogimiento del tamaño de los granos. Un recorrido más largo permite una mejor selección en cuanto al tamaño de los granos y partículas.

La madurez química es referida a los componentes mineralógicos. Mientras mayor sea el contenido de cuarzo con respecto a los granos de menor dureza de feldespatos o fragmentos de roca, mayor será la madurez química. La madurez textural y química dependen del tipo de transporte, de la energía presente y del tipo de ambiente sedimentario.

Los sedimentos pueden ser separados, a través de tamices con distinto número de mallas, en partículas del sedimento de acuerdo a su tamaño de grano para establecer la distribución granulométrica. Estas clases (fracciones) han sido definidas sobre una escala geométrica en la cual los órdenes adyacentes dentro de una clase difieren por un factor de 2 (Herrera, 2003).

Los sedimentos fluviales permanecen como el medio de muestreo en exploración geoquímica de reconocimiento regional, en áreas donde el relieve permite el desarrollo de distintos sistemas de drenaje (Cohen *et al.*, 2005) son comúnmente empleados para medir la concentración promedio de elementos químicos en suelos y rocas en áreas extensas para identificar posibles fuentes de anomalía (Spadoni, 2006). Según Chandrajith *et al.* (2001) son un sumidero para elementos derivados de los alrededores de la cuenca y su composición es más representativa de las características geoquímicas de la zona que la de otros tipos de muestra como suelo, plantas y agua subterránea.

Si son apropiadamente colectadas, las muestras representan la mejor mezcla de materiales del área de captación aguas arriba del punto muestreado (Levinson, 1974). Su naturaleza está cercanamente ligada a un número de procesos locales, de origen antropogénico y natural, que pueden afectar significativamente su composición. Esto es aplicable bajo una gran variedad de condiciones climáticas aunque las áreas de la precipitación por lo menos regular son preferidas.

El fundamento de fondo detrás de la prospección con sedimentos es el hecho de que en el ambiente de meteorización, muchos minerales son inestables y son desintegrados como resultado de la oxidación y otras reacciones químicas. Esto termina en una dispersión tanto de los minerales como de los elementos indicadores en solución en escorrentía y aguas subterráneas, a veces por relativamente largas distancias dentro del área de drenaje. La movilidad de los diferentes elementos varia considerablemente dependiendo de varios factores como la adsorción y las condiciones pH – Eh. Eventualmente los sedimentos finos dentro del canal de drenaje, particularmente las arcillas, reflejan un incremento en los elementos minerales o elementos indicadores si hay una mineralización dentro de la cuenca (Levinson, 1974).

Los metales contenidos en los sedimentos fluviales son introducido en solución o bien derivado por medio de un mecanismo secundario, esto es, por movimientos clásticos o mecánicos. En localidades donde la meteorización física es predominante, tales como desiertos o regiones de topografía accidentada donde los minerales pueden ser mecánicamente dispersados en la forma de granos minerales detríticos discretos dentro de los sedimentos fluviales. Gran cantidad de granos detríticos, correspondientes a incrementos en la abundancia de metales o elementos indicadores, serán encontrados a medida que la fuente este más próxima. Pueden producirse también anomalías en los sedimentos clásticos cuando el río intercepta una zona mineralizada.

Los ríos son el mayor medio de transporte para material tanto en partículas como disuelto proveniente de la meteorización en los continentes hacia el océano (Das y Krishnaswami, 2007). Según Spadoni (2006) los sedimentos de diferentes orígenes en algún caso son transportados aguas abajo por muchos ramales de una red hidrográfica y convencionalmente son colectados en un río de segundo orden o superior.

En exploración geoquímica son empleados elementos trazadores que son definidos como elementos (o gases) relativamente móviles que ocurren en asociación con los elementos buscados pero que pueden ser más fácilmente localizados por que forman amplios halos o por que pueden ser más fácilmente detectados por métodos analítico (Levinson, 1974). Al-Atia y Barners (1974) los define como todos aquellos elementos relacionados con mineralizaciones sin tener un significado económico por sí mismos.

El mayor control sobre la dispersión de minerales y elementos trazadores en el ambiente de meteorización son los sitios de reacción en un complejo químico donde los materiales geológicos pasan por numerosas transformaciones químicas, fisicoquímicas y geológicas (Chao, 1984). Los sitios de reacción son óxidos de hierro y manganeso, óxidos de aluminio y silicio, materia orgánica, carbonatos y sulfuros secundarios. Los aluminosilicatos de tamaño arcilla generalmente son considerados como las fracción de suelo y sedimento más activas a causa de su propiedades superficiales sirven esencialmente como vehículos para otros sitios de reacción (Chao, 1984).

Aunque la extremadamente compleja naturaleza de las interacciones desafía la descripción precisa: los procesos importante que operan en suelos y sedimentos son: adsorción y desorción; (2) precipitación y solubilización; (3) formación de complejos de superficie; (4) intercambio iónico; (5) penetración de la estructura cristalina mineral; (6) movilización e inmovilización biológica ([Chao, 1984](#)).

Un problema fundamental en relación a la química de los sedimentos está relacionado a la selección de la fracción adecuada del sedimento que mejor representa las características geoquímicas de la cuenca. La geoquímica de minerales pesados concentrados es generalmente usada para prospección geoquímica en sedimentos para exploración mineral ([Chandrajith et al., 2001](#)).

Los sedimentos fluviales específicamente limos y arcillas, son la base de la mayoría de estudios de áreas de drenaje y tales sedimentos son considerados como representativos de todo (o parte) de un área de captación, la recolección del material correcto es esencial. Usualmente 50 gramos del material es suficiente para propósitos analíticos. Si es necesario incluir material grueso por carecer del fino, una mayor cantidad puede ser necesaria, pero bajo ninguna condición deben ser incluidos guijarros o ramas ([Spadoni, 2006](#)).

Para asegurar el material suficiente del tamaño correcto, es aconsejable cernir los sedimentos mojados cuando son recolectados. Una serie de mallas podrían ser necesarias si hay mucho material de tamaños diferentes. El tamaño menor a 80 mallas

es preferido generalmente, pero un estudio de orientación debe confirmar esto. Si el contenido de minerales pesado de un sedimento fluvial es de interés, debe hacerse un esfuerzo especial para reunir el material tan cerca de la base como sea posible, por ser donde los minerales pesados serán más abundantes.

En exploración geoquímica, uno de los métodos de prospección más comúnmente utilizado está basado en el estudio de los sedimentos fluviales activos ([Spadoni, 2006](#)) que según la definición dada por el “*Forum of the European Geological Surveys*” (FOREGS), son los representados por la fracción de tamaño $< 0,150 \mu\text{m}$ (~ 100 mallas), acarreados y asentados por ríos de segundo orden. Los materiales más extensamente usados en estudios de exploración es la fracción de tamaño menor a $170 \mu\text{m}$ desde arenas finas, limos y arcillas de sedimentos capaces de concentrar y transportar muchos elementos asociados depósitos minerales. Sin embargo los sedimentos fluviales pueden ser transportados a gran distancia de su fuente de origen y en consecuencia la geoquímica de los sedimentos cambia en el proceso ([Chandrajith et al., 2001](#)). Por consiguiente la fracción fina no siempre representa completamente las características geoquímicas relacionadas con las mineralizaciones aguas arriba. Por otro lado la mayoría de los metales pesados son muy resistentes a la meteorización y generalmente están mejor representados en la fracción gruesa de los sedimentos fluviales.

En áreas tropicales de selva lluviosa los materiales finos son más rápidamente removidos en suspensión, sin embargo la fracción fina de los minerales pesados queda

atrás y es acumulada en el fondo de los ríos. Por consiguiente la selección de la fracción adecuada es una consideración importante en un estudio de orientación geoquímica y generalmente una ventaja en los estudios de exploración rutinaria (Chandrajith *et al.*, 2001).

Valencia y Rivera (2005) señalan tres ventajas de analizar la fracción más fina (200 mallas) de los sedimentos fluviales: 1) Contienen mayor número y variabilidad de granos, que incrementan el contenido de cuarzo y minerales de arcillas, causando uniformidad mineralógica; 2) Tienen mayor proporción de iones absorbidos por los minerales de arcillas y los óxidos de Fe; y 3) La malla 80 tiene abundante fragmentos de rocas y granos minerales primarios. Sin embargo, hay algunas desventajas en el uso de la fracción menor a 70 μm como por ejemplo la dilución del material transportado por el viento y la insuficiencia del material (Ranasunghe *et al.* 2002)

Antecedentes

El uso de sedimentos fluviales para inspección de reconocimiento (prospección) comenzó a ser popular a comienzos de 1960 después de que varios estudios, algunos de ellos en la Unión Soviética, probaron que esta técnica era eficaz y económica y podía delinear objetivos para posteriores trabajos. Por muestreo de sedimentos fluviales o minerales pesados separado de ellos, quizás a un intervalo de 4 o 5 muestras por milla (1609 m) , es posible reconocer las anomalías geoquímicas o mineralógicas dentro de una zona de captación y seguirlos a sus orígenes (Levinnson, 1974).

Estudios sobre la composición de las distintas fracciones en sedimentos fluviales han sido llevados a cabo por varios autores como por ejemplo Chandrajith *et al.* (2001) quienes realizaron análisis multielementales en las distintas fracciones granulométricas en la cuenca Walawe Ganga, Sri Lanka. Ranasunghe *et al.* (2002) estudiaron la importancia del tamaño de partícula en sedimentos en la distribución de elementos traza en sedimentos fluviales de terrenos tropicales en Sri Lanka, encontrando que la concentración de los elementos varía significativamente con el tamaño de partícula y que diferentes elementos son concentrados en distintas fracciones.

Tapia y Ramírez (1993) estudiaron la distribución de Au por tamaño de grano en muestras de suelo y sedimento recolectadas en escudo de Guayana con el propósito de establecer el tamaño óptimo de partícula para exploración geoquímica.

Con respecto a prospección en sedimentos de río Zavatti (1982) realizó la prospección geoquímica de la quebrada Maitana afluente del río Tuy analizando el contenido de Au, Ag, As, Cu, Cd, Cr, Co, Hg, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn por espectrofotometría de absorción atómica en la fracción de sedimentos menor a 80 mallas con el fin de localizar posibles mineralizaciones de Au y Cu.

La mayoría de los estudios realizados sobre la región de Guatopo que incluye las cuencas de los ríos Taguaza y Cuirá son de tipo geológico y cartográfico. Vizcarret (1982) estudia la geología cuencas de los ríos Apa y Macaira, Urbani *et al.* (1989) presentan los mapas geológicos del área, integrados a escala 1:25.000, 1:50.000 y

1:100.000 y Urbani *et al.* (1991) presenta la descripción mineralógica y petrológica detallada del área de Guatopo.

Zerpa (1982) determino Au, As, Cu, Cd, Cr, Co, Hg, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn por espectrofotometría de absorción atómica la fracción menor a 80 mallas en los sedimentos de los ríos Cuira, Taguaza y Macaira con el objetivo de localizar mineralizaciones de Au y Cu realizando además un estudio granulométrico en 6 muestras de los sedimentos recolectados.

Ubicación

La zona de estudio está ubicada en la región nor - central del país, formando parte del flanco norte de la Serranía del Interior localizada entre las coordenadas $66^{\circ} 30'$ y $66^{\circ} 7'$ longitud oeste y los $10^{\circ} 00'$ y $10^{\circ} 12' 25''$ de latitud norte. Limita por el norte con el río Tuy, por el sur con la fila maestra de la Serranía del Interior, al este con el Municipio Páez y al Oeste con la carretera Santa Teresa - Altagracia de Orituco, presentando un área aproximada de 1040 Km^2 . El área específica a estudiar está conformada por la Subcuenca del río Cuira que forman parte de la gran cuenca del río Tuy del cual es afluente.

La Subcuenca del río Cuira está limitada por el norte por el río Tuy, por el este la cuenca del río Guapo, por el sur la fila maestra de la serranía del interior, por el oeste limita con las subcuencas de los ríos Macaira y Taguaza, cubriendo un área de aproximadamente 564 Km^2 .

Características Fisiográficas

El relieve topográfico es muy complejo en esta zona presentando un gran número de estribaciones transversales que parten de la fila maestra.

La red hidrográfica está formada por quebradas y ríos de curso consecuente, y debido a la configuración topográfica del relieve son comunes los saltos de agua, de hasta 30 m de altura. En la zona presenta algunos cerros con drenaje radial e irregular que suele ser indicativo de rocas volcánicas.

Es de un bosque húmedo tropical, donde los promedios anuales de precipitación son de al menos de 1800 mm a 3800mm.

Geología

El área de estudio pertenece a la faja de Villa de Cura. Esta faja abarca una distancia de 230 Km. de este a oeste a lo largo del borde meridional de la cordillera de la costa de Venezuela e incluye rocas volcánicas del Grupo Villa de Cura, así como la Formación Tiara.

Vizcarret, (1982) diferencia en el área de Guatopo un complejo de rocas ultramáficas y dos unidades litológicas (metavolcánicas principalmente), basándose en las características de campo, porcentajes relativos y distribución encontrada. Asignó de

manera informal los nombres según el tipo o tipos litológicos predominantes en cada área, a saber:

1. Complejo Ultramáfico de Apa (metapiroxenitas – olvinífera, metadunitas y metagabros)

2. Unidad de metatobas

3. Unidad de esquistos y metatobas esquistosas

Según Urbani *et al.*, (1989) los estudios geológicos llevados a cabo en la Faja de Villa de Cura en la región de Guatopo revelan la presencia de las siguientes unidades:

1. Grupo Villa de Cura dentro del cual son diferenciadas dos zonas:
 - a. Zona con predominio de esquisto, granofel, así como metalava y metatoba, donde a veces el esquisto y la metatoba presentan glaucofano.

 - b. Zona con metatoba, metalava y más raramente granofel con una mineralogía de las Fases de los Esquistos verdes (clorita – clinozoicita)

2. Formación Las Hermanas, donde también son distinguidas dos zonas:

a. Zona con predominio de metatoba pirogénica (volcanoclásticas proximales).

b. Zona con metalava, metatoba y metabrecha pirogénica – anfibolítica - albítica (arco volcánico).

Esta última zona es semejante a las rocas de la localidad tipo en San Sebastián Aragua. Esta formación presenta asociaciones mineralógicas de las Fases de la prehnita-pumpelita, pumpelita-actinolita y esquistos verdes clorita-clinozoicita, progradantes de SE a NO y pertenece a un ambiente de arco volcánico.

3. Complejo de Apa constituido por rocas ultramáficas dunita, dunita wherlita, clinopiroxenita olvinífera, clinopiroxenita y máficas gabro hornbléndico y piroxénico.

El Complejo de Apa tiene características semejantes a los cuerpos ultramáfico de tipo Alaska, lo cual apunta hacia un ambiente de arco volcánico (Urbani *et al.*, 1991).

Las rocas ultramáficas no muestran evidencias de metamorfismo, pero algunas muestras de gabro presentan una asociación mineralógica que sugiere que fueron sometidos a un metamorfismo de muy bajo grado (Urbani *et al.*, 1991)

MARCO METODOLÓGICO

Recolección de las muestras

Un total de 26 muestras de sedimentos fueron recolectadas en las dos salidas de campo realizadas a la cuenca de río Cuira. La **figura 1** muestra la ubicación de los 26 puntos de muestreo; mientras que la **tabla 1** resume la ubicación de los puntos de muestreo en los ríos y quebradas y la litología que drena cada uno. Las muestras fueron tamizadas en húmedo en dos etapas. La primera etapa fue llevada a cabo en campo, donde las muestras fueron tamizadas a través de 10, 18, 35 y 60 mallas, pesadas en húmedo, guardadas en bolsas plásticas y llevadas al laboratorio. La segunda etapa fue realizada en el laboratorio, la fracción menor a 60 mallas fue pasada a través de los tamices de 120, 230, y 325 mallas. Las muestras 12, 13, 14 y 19 no fueron tamizadas en el laboratorio, mientras que las muestras 21 y 25 sólo fueron tamizadas hasta la fracción < 230 mallas debido a que el material en esta fracción fue insuficiente para continuar el tamizado adecuadamente. Adicionalmente, el material que permanecía en suspensión posterior al tamizado en húmedo en el laboratorio fue colocado en reposo en embases plásticos hasta sedimentar, decantado, seguidamente secado al aire libre y etiquetado como D (decantado).

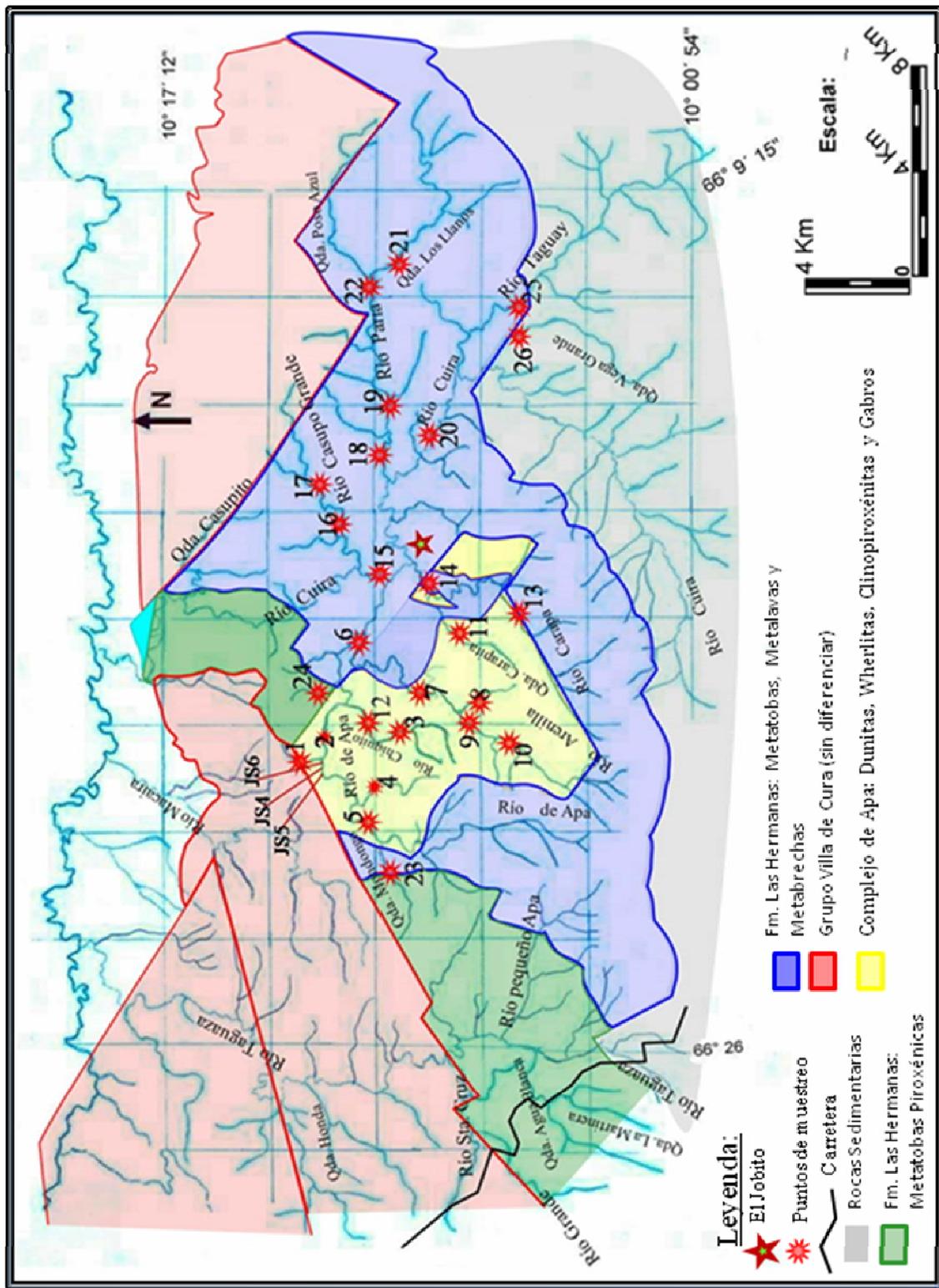


Figura 1: Puntos de muestreo

Tabla 1: Resumen de la ubicación de los puntos de muestreo y rocas que drena el río o quebrada donde se recolectó la muestra.

| Punto de muestreo | Río o quebrada | Unidad donde fue tomada la muestra. | Rocas que afloran en el río o Quebrada. |
|-------------------|-------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1 | - | Grupo Villa de Cura sin diferenciar | ----- |
| 2 | Río Apa | Complejo Ultramáfico de Apa | Dunitas Wherlitas |
| 3 | Río Chiquito | Complejo Ultramáfico de Apa | Wherlitas - Clinopiroxenita |
| 4 | - | Complejo Ultramáfico de Apa | Dunitas Wherlitas |
| 5 | Río Apa | Complejo Ultramáfico de Apa | Dunitas Wherlitas |
| 6 | Río Arenilla | Fm. Las Hermanas | Metatobas, Metalavas y Metabrechas |
| 7 | Río Arenilla | Complejo Ultramáfico de Apa | Clinopiroxenita |
| 8 | Río Arenilla | Complejo Ultramáfico de Apa | Clinopiroxenita |
| 8 | Río Arenilla | Complejo Ultramáfico de Apa | Clinopiroxenita |
| 9 | Río Arenilla | Complejo Ultramáfico de Apa | Clinopiroxenita |
| 9 | Río Arenilla | Complejo Ultramáfico de Apa | Clinopiroxenita |
| 10 | Río Arenilla | Complejo Ultramáfico de Apa | Clinopiroxenita |
| 11 | Qda. Carapita | Complejo Ultramáfico de Apa | Gabros |
| 12 | Río Chiquito | Complejo Ultramáfico de Apa | Wherlitas - Clinopiroxenita |
| 13 | Río Carapa | Complejo Ultramáfico de Apa - Fm. Las Hermanas | Metatobas, Metalavas y Metabrechas |
| 14 | Río Carapa | Fm. Las Hermanas | Metatobas, Metalavas y Metabrechas |
| 15 | Río Casupo Grande | Fm. Las Hermanas | Metatobas, Metalavas y Metabrechas |
| 16 | Río Casupo Grande | Fm. Las Hermanas | Metatobas, Metalavas y Metabrechas |
| 17 | Río Casupo Grande | Fm. Las Hermanas | Metatobas, Metalavas y Metabrechas |
| 18 | Río Paria | Fm. Las Hermanas | Metatobas, Metalavas y Metabrechas |
| 19 | Río Paria | Fm. Las Hermanas | Metatobas, Metalavas y Metabrechas |
| 20 | Río Cuira | Fm. Las Hermanas | Metatobas, Metalavas y Metabrechas |
| 21 | Río Paria | Fm. Las Hermanas | Metatobas, Metalavas y Metabrechas |
| 22 | Río Paria | Fm. Las Hermanas | Metatobas, Metalavas y Metabrechas |
| 23 | Qda Mondongo | Fm. Las Hermanas | Metatobas Piroxénicas |
| 24 | - | Fm. Las Hermanas | Metatobas Piroxénicas |
| 25 | Río Taguay | Flysch de Guatopo | - |
| 26 | Río Taguay | Flysch de Guatopo | - |

Todas las fracciones húmedas menores a 10 mallas fueron pesadas en campo en los 26 puntos de muestreo, en los puntos 3, 8, 9, 12, 21, 25 y 26 la fracción mayor a 10 mallas también fue pesada, pero no fueron tomadas muestras de esta fracción. Las muestras tamizadas en campo fueron colocadas en platos plásticos, pesadas y secadas al sol por varios días, posteriormente fueron pesadas nuevamente para determinar el peso seco y la humedad asociada a cada fracción para cada uno de los puntos muestreados. Las muestras procesadas en el laboratorio fueron secadas en platos plásticos por varios días y posteriormente pesadas. Todas las fracciones fueron guardadas en bolsas plásticas herméticas (tipo Ziploc).

Los datos de humedad permitieron recalcular los pesos secos de campo para cada fracción en cada punto. Con los pesos recalculados fue calculada la distribución granulométrica para cada punto.

Análisis químicos

Aproximadamente 50 g de las 7 fracciones granulométricas de sedimentos 10 – 18, 18 – 35, 35 – 60, 60 – 120, 120 – 230, 230 – 325 y < 325 mallas de los puntos de muestreo 1, 2, 4, 5, 11, 17, 22, 23 y 24 fueron pesados en una balanza analítica y colocados en vasos de precipitado con 36 mL de ácido nítrico al 65 % por tres horas. Los extractos de estas digestiones fueron filtrados en caliente y el residuo fue lavado con agua deionizada caliente. Los extractos fueron llevados a balones de 200 mL y enraizados con agua deionizada. El residuo posterior al lavado fue colocado en una

estufa hasta evaporar completamente y posteriormente fue tratado con una mezcla de 9 mL de ácido nítrico al 65% con 27 mL de HCl concentrado (agua regia) por tres horas. Los extractos de estas digestiones fueron filtrados en caliente, el residuo fue lavado con agua deionizada caliente. Los extractos fueron llevados a balones de 50 mL y aforados con agua deionizada. Los Residuos después de ser lavados fueron dejados en la estufa a hasta sequedad y posteriormente pesados en una balanza analítica.

Por su parte aproximadamente cuatro gramos de la fracción <, 325 mallas de los 26 puntos muestreados y de las tres muestras de suelo recolectadas fueron pesados en una balanza analítica y colocados en vasos de precipitado con 9 mL de HCl concentrado y 3 mL de ácido nítrico por tres horas. Los extractos obtenidos fueron filtrados en caliente, el residuo fue lavado con agua deionizada en caliente. Los extractos fueron llevados a balones de 50 mL y aforados con agua deionizada. Los residuos de estas digestiones fueron llevados a una estufa a hasta sequedad.

Los extractos obtenidos de la digestión secuencial con ácido nítrico y agua regia fueron analizados para determinar la concentración de Co, Cr, Mn, Ni, Mg V y Pt. Los extractos obtenidos de la digestión hecha sólo con agua regia fueron analizados para determinar las concentraciones de, Cr, Mn, Ni, Mg, V, Fe y Ca.

Todos los análisis fueron hechos en un en un espectrómetro de emisión óptica con plasma de inducción acoplado (ICP-OES) marca Jovin Yvol modelo ULTIMA 2, las condiciones experimentales y curvas de calibración del equipo son presentadas en el apéndice C.

PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en campo y en laboratorio para la distribución granulométrica de cada uno de los puntos de muestreo son presentados en el **apéndice A**. Los resultados de los análisis químicos en la fracción < 325 mallas de los sedimentos en los 26 puntos muestreados son presentados en la **tabla 2**. Los resultados obtenidos de los análisis químicos en las fracciones del sedimento son presentados en el **apéndice B**.

En la zona de estudio las gravas representan entre 23 y 77 % del sedimento y junto con las arenas muy gruesas conforman entre 58 y 88 % del material tamizado. En promedio las gravas son dominantes en el sistema, sin embargo pueden ser iguales en proporción a las arenas muy gruesas e incluso menores a las arenas gruesas. Estas fracciones en conjunto representan aproximadamente el 91 % del sedimento presente en los puntos de muestreo siendo la fracción menor a 60 mallas la menos abundante en la zona.

Las concentraciones de Pt t en las muestras analizadas estuvieron por debajo de los límites de detección del método empleado de 20 ng / g.

Distribución granulométrica

La **tabla 3** presenta la distribución en porcentaje peso de los sedimentos en las fracciones 10 – 18, 18 – 35, 35 – 60, 60 – 120, 120 – 230, 230 – 325 y < 325. Los sedimentos en la zona de estudio están dominados por las arenas muy gruesas y

Tabla 2: Concentración de Co, Cr, Mn, Ni, Fe, Mg, V y Ca en una fracción del sedimento recolectado en los 26 puntos muestreados.

| Muestra | Co | Cr | Mn | Ni | Fe | Mg | V | Ca |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| 1:< 325 | 17 | 10 | 469 | 8 | 141610 | 34303 | 202 | 14093 |
| 2:< 325 | 27 | 37 | 708 | 39 | 91390 | 41983 | 114 | 16210 |
| 3:< 325 | 30 | 76 | 545 | 34 | 78434 | 35634 | 126 | 15026 |
| 4:< 325 | 32 | 86 | 505 | 50 | 76189 | 35214 | 159 | 14035 |
| 5:< 325 | 41 | 137 | 773 | 68 | 84571 | 37772 | 170 | 16018 |
| 6:< 325 | 54 | 100 | 868 | 53 | 114865 | 47625 | 210 | 20670 |
| 7:< 325 | 24 | 86 | 273 | 34 | 117988 | 25066 | 373 | 23009 |
| 8A:< 325 | 56 | 25 | 877 | 18 | 140236 | 25597 | 304 | 24710 |
| 8B:< 325 | 44 | 26 | 615 | 18 | 162624 | 21287 | 476 | 29198 |
| 9A:< 325 | 21 | 32 | 218 | 19 | 186956 | 8862 | 740 | 41544 |
| 9B:< 325 | 30 | 62 | 558 | 30 | 104071 | 32444 | 178 | 20236 |
| 10:< 325 | 30 | 68 | 539 | 26 | 108605 | 31364 | 261 | 20188 |
| 11:< 325 | 49 | 63 | 691 | 33 | 135873 | 35160 | 270 | 24830 |
| 12:< 325 | 86 | 321 | 1097 | 170 | 115412 | 67301 | 78 | 20847 |
| 13: 35 - 60 | 19 | 26 | 489 | 11 | 78731 | 30551 | 174 | 14455 |
| 14: 35 - 60 | 22 | 44 | 388 | 19 | 125757 | 22410 | 383 | 24067 |
| 15:< 325 | 20 | 34 | 637 | 26 | 66627 | 36849 | 124 | 10749 |
| 16: 230 - 325 | 10 | 10 | 213 | 7 | 38044 | 16346 | 73 | 6701 |
| 17:< 325 | 18 | 26 | 572 | 21 | 73320 | 60224 | 48 | 12130 |
| 18:< 325 | 21 | 37 | 580 | 23 | 64798 | 44969 | 30 | 10830 |
| 19: 35 - 60 | 15 | 20 | 369 | 12 | 50698 | 29616 | 85 | 8641 |
| 20:< 325 | 22 | 43 | 775 | 56 | 71324 | 23012 | 79 | 11627 |
| 21:< 230 | 15 | 18 | 333 | 14 | 60555 | 26024 | 82 | 10213 |
| 22:< 325 | 20 | 39 | 444 | 28 | 65514 | 45486 | 119 | 11232 |
| 23:< 325 | 20 | 39 | 377 | 31 | 51584 | 43542 | 134 | 8922 |
| 24:< 325 | 26 | 25 | 688 | 21 | 84707 | 49281 | 178 | 15577 |
| 25:< 325 | 15 | 32 | 390 | 49 | 64975 | 18962 | 68 | 10683 |
| 26:< 325 | 13 | 33 | 282 | 46 | 47804 | 15075 | 55 | 8060 |

Tabla 3: Distribución granulométrica general en los 26 puntos de muestreo de sedimentos y en los tres de suelo (% peso seco)

| Fracción: 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| Punto de Muestreo | 10 - 18 | 18 - 35 | 35 - 60 | 60 - 120 | 120 - 230 | 230 - 325 | < 325 |
| 1 | 38,2 | 39,0 | 13,5 | 6,0 | 1,7 | 0,7 | 1,0 |
| 2 | 46,6 | 37,4 | 9,1 | 3,4 | 1,4 | 0,4 | 1,7 |
| 3 | 49,8 | 30,8 | 6,7 | 3,8 | 2,3 | 0,9 | 5,7 |
| 4 | 53,5 | 32,6 | 10,8 | 1,9 | 0,5 | 0,3 | 0,5 |
| 5 | 44,2 | 41,1 | 10,2 | 2,4 | 0,7 | 0,5 | 0,9 |
| 6 | 29,9 | 56,7 | 9,0 | 2,0 | 0,7 | 0,3 | 1,4 |
| 7 | 36,1 | 48,9 | 10,1 | 4,0 | 0,5 | 0,0 | 0,4 |
| 8 | 43,6 | 45,5 | 4,2 | 1,6 | 0,8 | 0,5 | 3,8 |
| 8 | 38,0 | 53,6 | 4,8 | 1,3 | 1,3 | 0,3 | 0,7 |
| 9 | 40,9 | 38,7 | 17,4 | 1,0 | 1,2 | 0,5 | 0,3 |
| 9 | 45,3 | 48,7 | 4,1 | 1,3 | 0,3 | 0,1 | 0,1 |
| 10 | 63,8 | 27,7 | 6,1 | 1,7 | 0,3 | 0,1 | 0,2 |
| 11 | 52,4 | 32,7 | 9,7 | 3,3 | 0,9 | 0,2 | 0,6 |
| 12 | 77,2 | 6,6 | 10,3 | - | - | - | - |
| 13 | 36,8 | 40,4 | 22,8 | - | - | - | - |
| 14 | 73,4 | 17,5 | 4,2 | 4,9 | - | - | - |
| 15 | 31,9 | 35,0 | 22,6 | 8,1 | 0,2 | 0,4 | 1,8 |
| 16 | 51,6 | 33,7 | 5,1 | 5,9 | 2,3 | 0,3 | 1,1 |
| 17 | 38,0 | 38,0 | 15,9 | 5,7 | 0,9 | 0,3 | 1,2 |
| 18 | 20,3 | 42,5 | 26,4 | 7,6 | 1,1 | 0,1 | 2,1 |
| 19 | 55,6 | 36,7 | 7,7 | - | - | - | - |
| 20 | 37,8 | 37,0 | 19,4 | 4,0 | 0,8 | 0,2 | 0,8 |
| 21 | 57,9 | 36,0 | 4,7 | 0,3 | 0,2 | 0,8 | - |
| 22 | 41,1 | 32,0 | 17,0 | 7,2 | 1,1 | 0,2 | 1,5 |
| 23 | 45,4 | 34,4 | 10,9 | 3,5 | 1,3 | 1,8 | 2,6 |
| 24 | 41,4 | 37,9 | 13,4 | 5,1 | 0,8 | 0,2 | 1,1 |
| 25 | 40,7 | 39,0 | 13,3 | 5,1 | 0,6 | 1,2 | - |
| 26 | 41,1 | 21,9 | 15,8 | 12,7 | 4,2 | 0,2 | 4,1 |
| Promedio | 45,4 | 36,5 | 11,6 | 4,2 | 1,1 | 0,4 | 1,5 |

gruesas que totalizan entre 62 y 94 % del sedimento en los puntos de muestreo que junto con la arena media, alcanzan entre 79 y 99% del sedimento. Las arenas finas, muy finas y fracción menor a 325 mallas son mucho menores en el área y sólo en los puntos 18, 3 y 26 alcanzan el 21, 13 y 11 % de los sedimentos respectivamente, en los puntos restantes constituyen 10% o menos del sedimento presente. En los puntos donde la fracción menor a 60 mallas alcanza sus mayores valores, las arenas finas constituyen la mayor parte del sedimento de esa fracción, esta tendencia es la misma para el resto de los puntos. Aunque el porcentaje en peso del sedimento disminuye con el tamaño de partícula la fracción menor a 325 es mayor a la fracción de 230 – 325.

Los sedimentos que están ubicados en puntos que se suceden a lo largo de un mismo canal de drenaje, presentan una variación a lo largo de él, la fracción de arenas muy gruesas disminuye aguas abajo, mientras que la fracción de arenas gruesas aumenta, hasta que las arenas gruesas tienen mayor proporción. Un ejemplo de esto es presentado en la **figura 2**, que muestra la granulometría de los puntos de muestreo tomados a lo largo del río Arenilla. Los puntos de muestreo están enumerados de mayor a menor partiendo del más cercano a la cabecera del río.

Distribución de la concentración de Co, Cr, Mn, Ni, Mg y V en cada una de las fracciones granulométricas.

La concentración de Ni entre las fracciones, presenta una leve tendencia a aumentar hacia las fracciones más finas del sedimentos en varios de los puntos muestreados, sin embargo, las variación en la concentración no es realmente significativa.

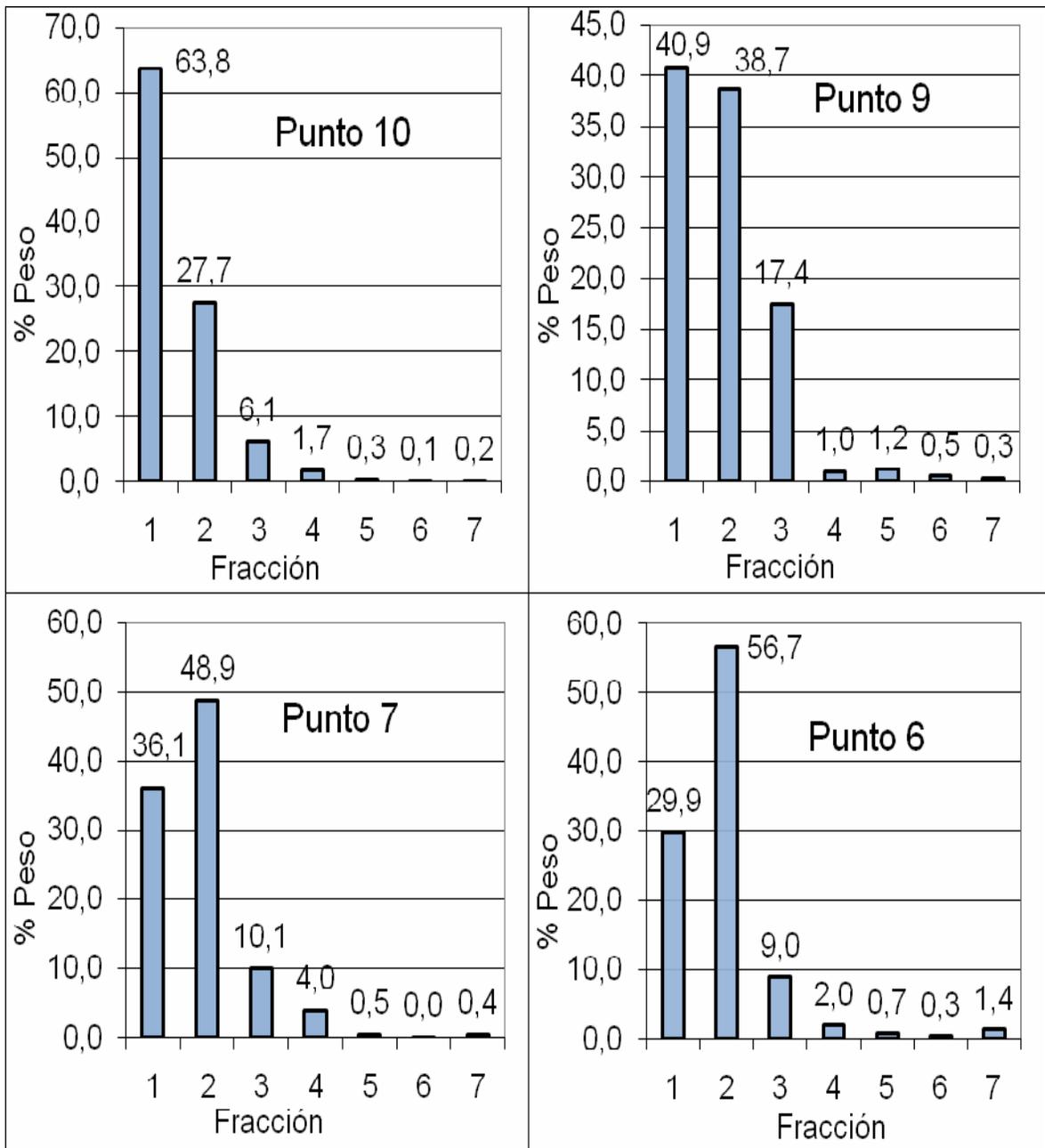


Figura 2: Distribución granulométrica en el río Arenilla.

La concentración en la fracción menor a 325 es mayor que en las otras fracciones con excepción del punto 2 (**figura 3**).

La concentración de Cr en las fracciones de los sedimentos, no presenta diferencias significativas. En la **figura 4** no son apreciadas tendencias al aumento o disminución de la concentración en función del tamaño de partícula con un patrón regular o una acumulación preferencial en algunas de las fracciones. El punto 23 presenta una diferencia resaltante en la concentración de Cr en la fracción 35 – 60 con respecto al resto las fracciones que tienen una concentración relativamente constante, sin embargo este comportamiento no es observado en el resto de las muestras. Por lo tanto no existe una fracción especialmente adecuada para el estudio de Cr en la zona.

En la **figura 5** puede observarse la correlación Ni - Cr, cuyo coeficiente de correlación es de 0,706. En esta figura puede apreciarse que existen dos tendencias diferentes con respecto a la correlación Ni - Cr, en las siete fracciones de las muestras analizadas. Las muestras que no reciben el aporte del complejo presentan una correlación Ni – Cr positiva mientras que las que reciben sedimentos del Complejo no presentan una tendencia clara. En las muestras que no reciben el aporte del Complejo la concentración de Ni incrementa a medida que lo hace la de Cr, mientras que en las muestras que reciben sedimentos del Complejo de Apa la concentración de Ni es relativamente constante entre los 10 y 40 $\mu\text{g} / \text{g}$ sin importar la fracción del sedimento analizada, por lo tanto el Cr puede ser empleado para distinguir entre litologías dentro de la zona de estudio en cualquier fracción del sedimento a diferencia del Ni.

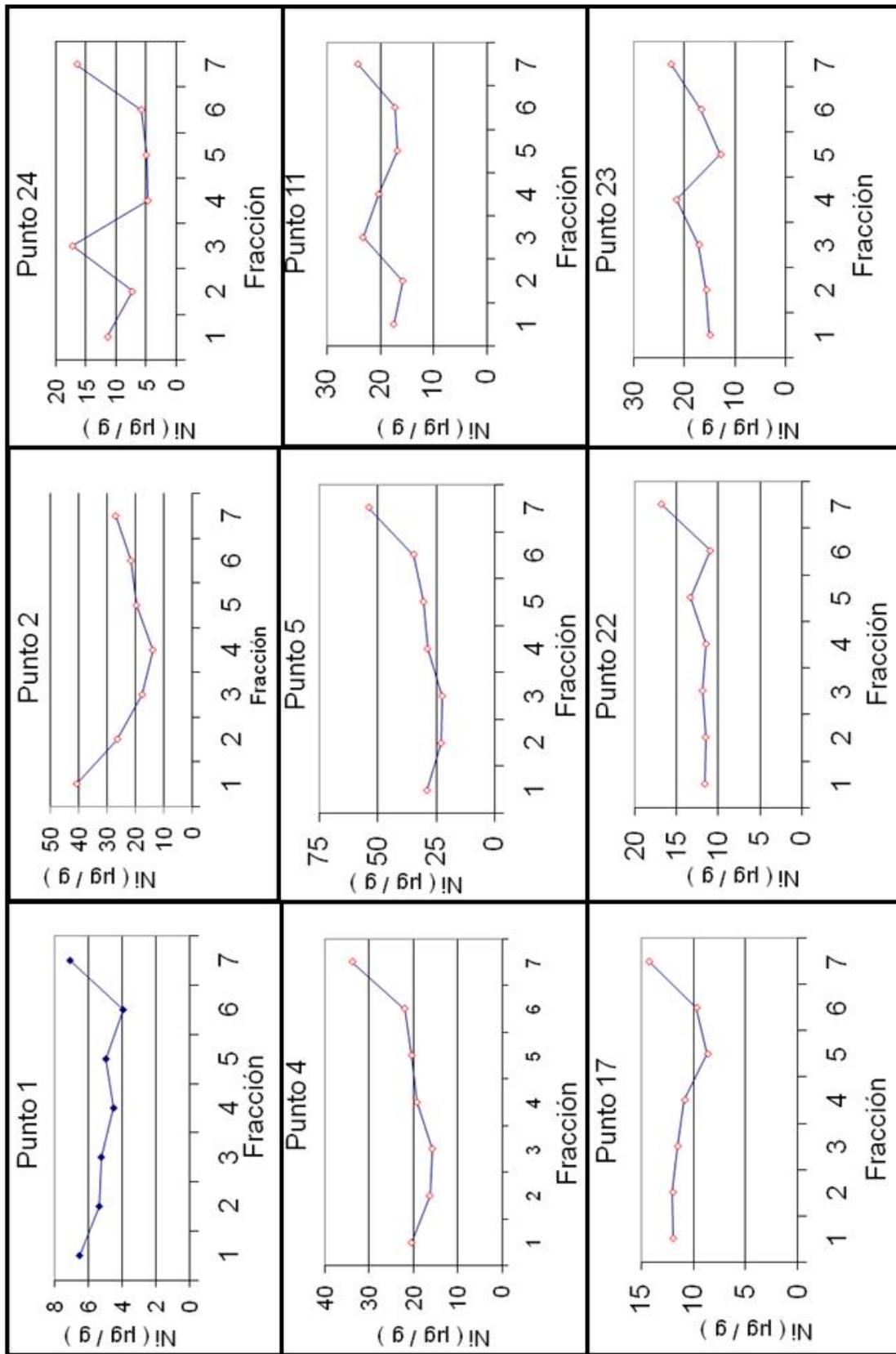


Figura 3: Distribución de la concentración de Ni por tamaño de partícula del sedimento .

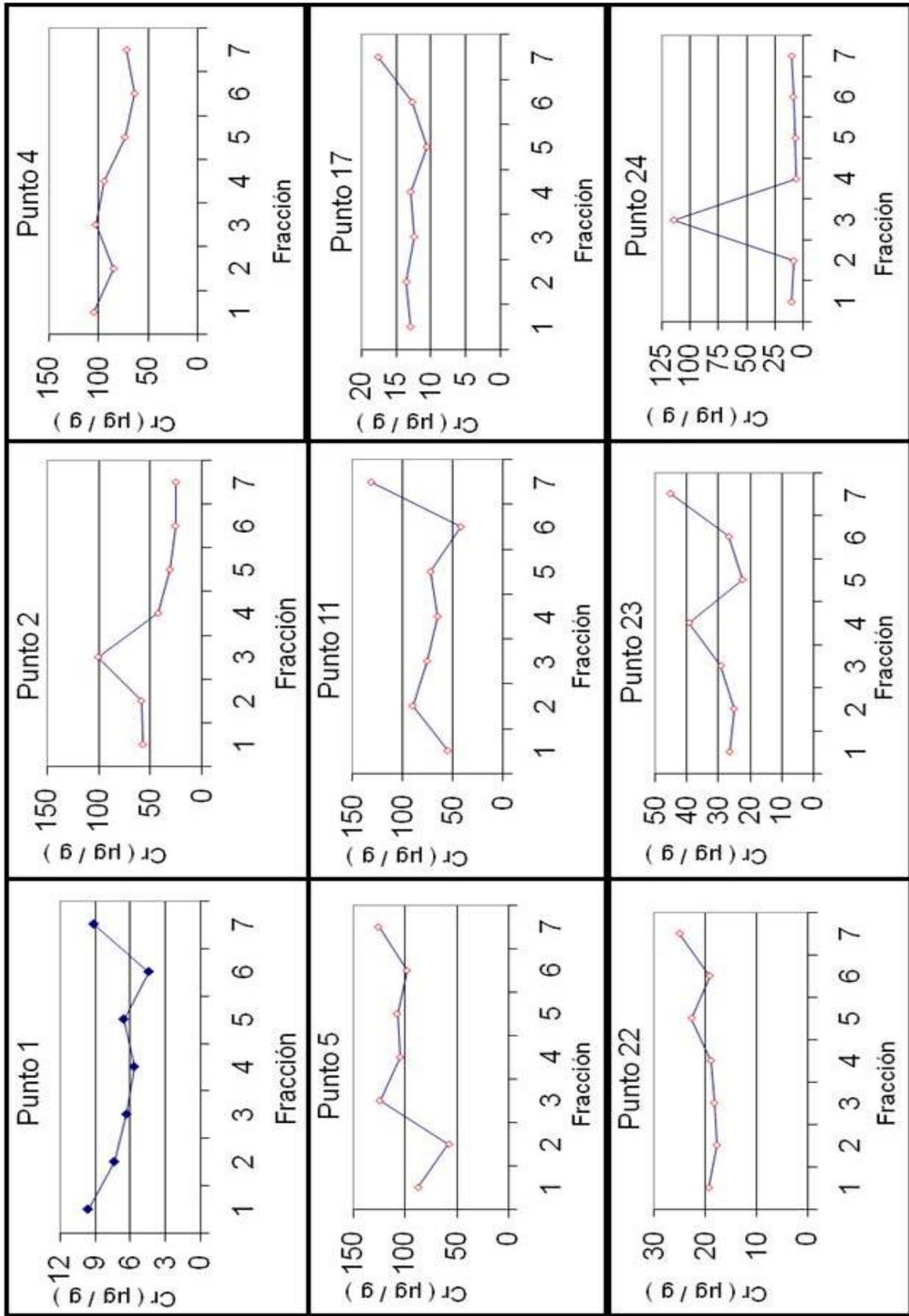


Figura 4: Distribución de la concentración de Cr por tamaño de partícula del sedimento .

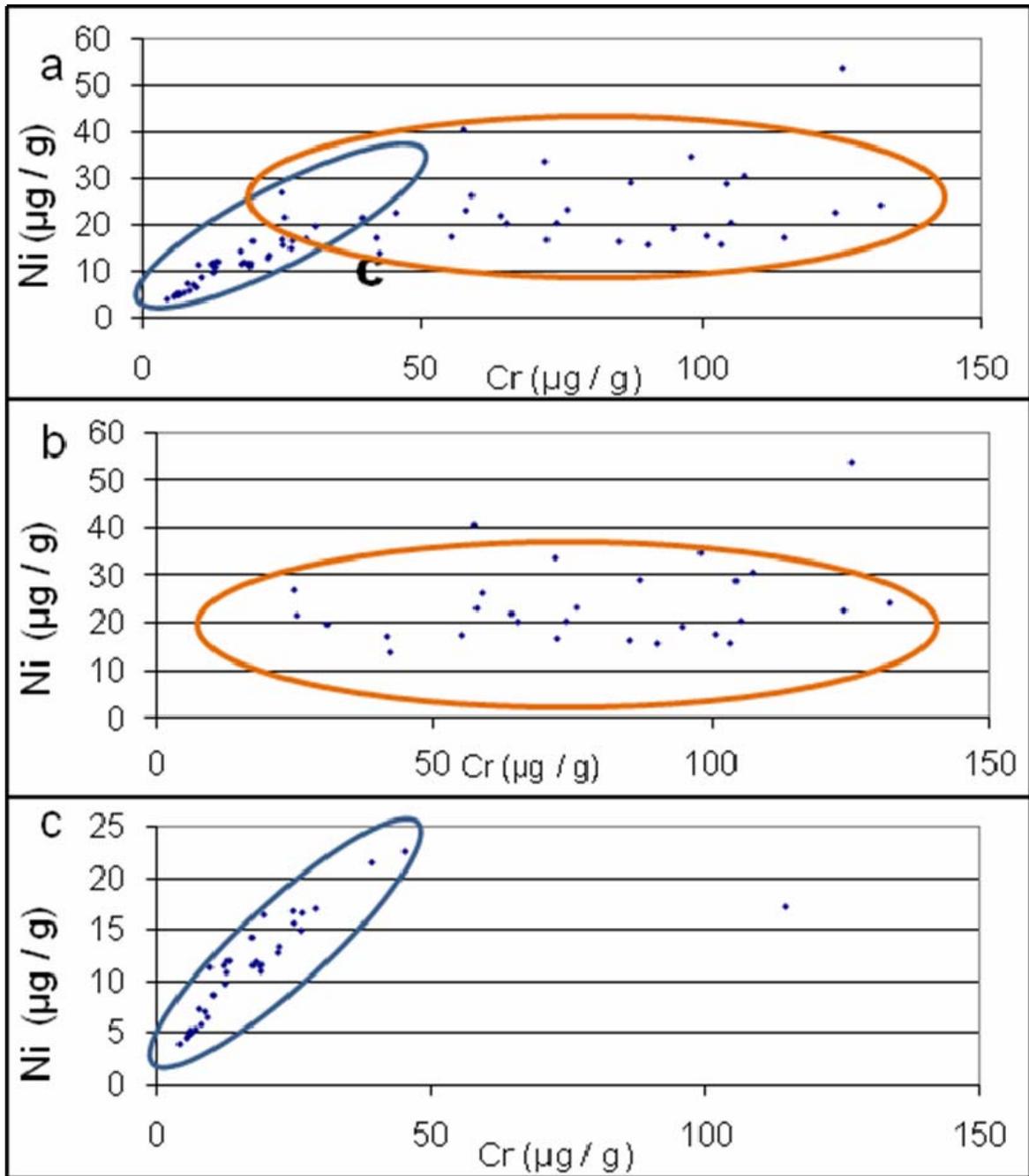


Figura 5: Correlaciones Ni – Cr a) para todas las fracciones en nueve de los puntos de muestreo, b) para todas las fracciones en nueve de los puntos de muestreo considerando sólo puntos que reciben sedimentos del Complejo y c) para todas las fracciones en nueve de los puntos de muestreo considerando sólo puntos que no reciben sedimentos del Complejo.

Las correlaciones del Cr con Co, Mn y V en todas las fracciones del sedimento pueden ser visualizadas en la **figura 6**. La correlación con el Co muestra la misma tendencia que el Cr, es decir es positiva sólo en muestras que no reciben sedimentos del Complejo de Apa, mientras que para V y Mn no hay una correlación evidente. A partir de los 40 $\mu\text{g} / \text{g}$ de Cr la concentración de Co y Ni son independientes de la concentración de Cr, la cual aumenta independientemente de la fracción granulométrica por encima de este valor solo en muestras relacionadas con el Complejo de Apa, por lo cual el Cr es un elemento indicador de litología para la zona

El Co no muestra una tendencia a distribuirse preferencialmente en alguna fracción del sedimento (**figura 7**). A pesar que existen variaciones en la concentración entre las fracciones, las mismas no son significativas y no presentan un patrón regular que pueda ser asociado a la disminución o aumento del tamaño de partícula del sedimento. Tampoco existe una fracción que muestre un incremento o disminución en la concentración de este elemento y sea común a todos los puntos analizados, por lo tanto no hay una fracción preferencial para el análisis de Co en la zona de estudio.

La distribución de la concentración de Mn en las fracciones del sedimento de área muestreada presenta dos tendencias (**figura 8**). Para algunos de los puntos muestreados el Mn presenta una tendencia a incrementar su concentración en las fracciones 10 – 18 y menor a 325 mallas; mientras que, para otros la tendencia es a mantener su concentración relativamente constante, aumentar con el tamaño de partícula o disminuir su concentración con el tamaño de partícula sin un patrón que sea

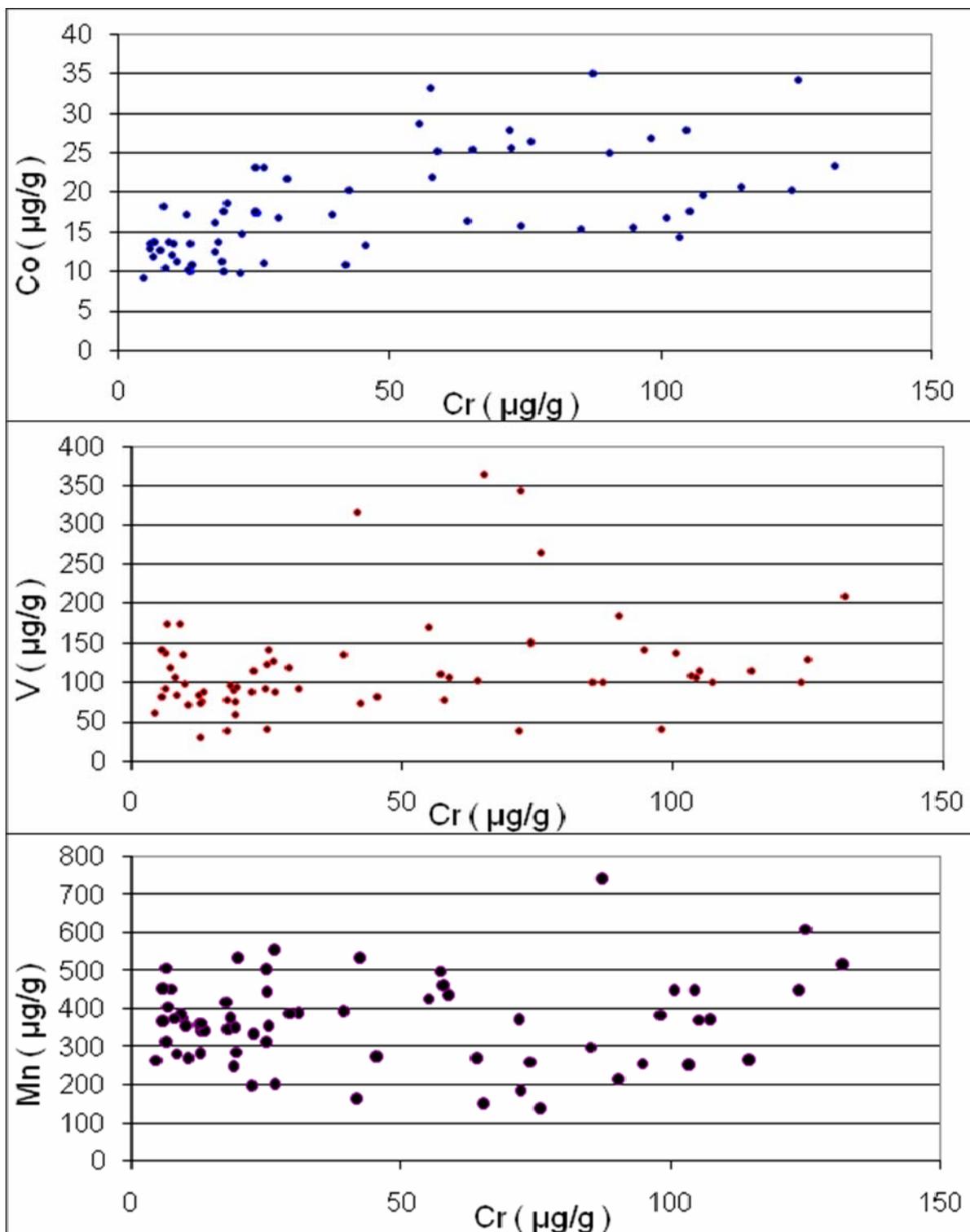


Figura 6: Correlaciones Cr – Co, Cr – Mn y Cr - V

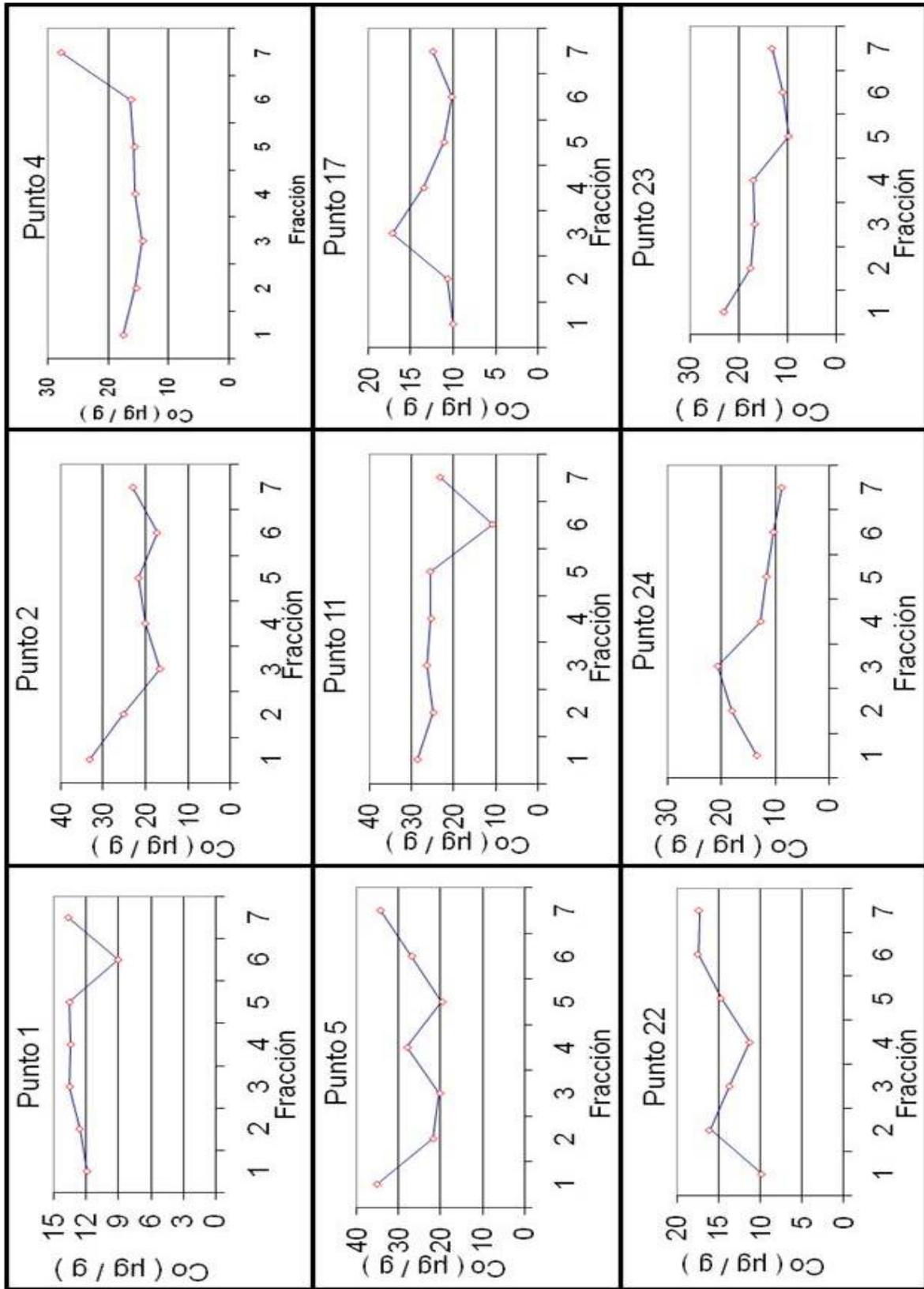


Figura 7: Distribución de la concentración de Co por tamaño de partícula del sedimento .

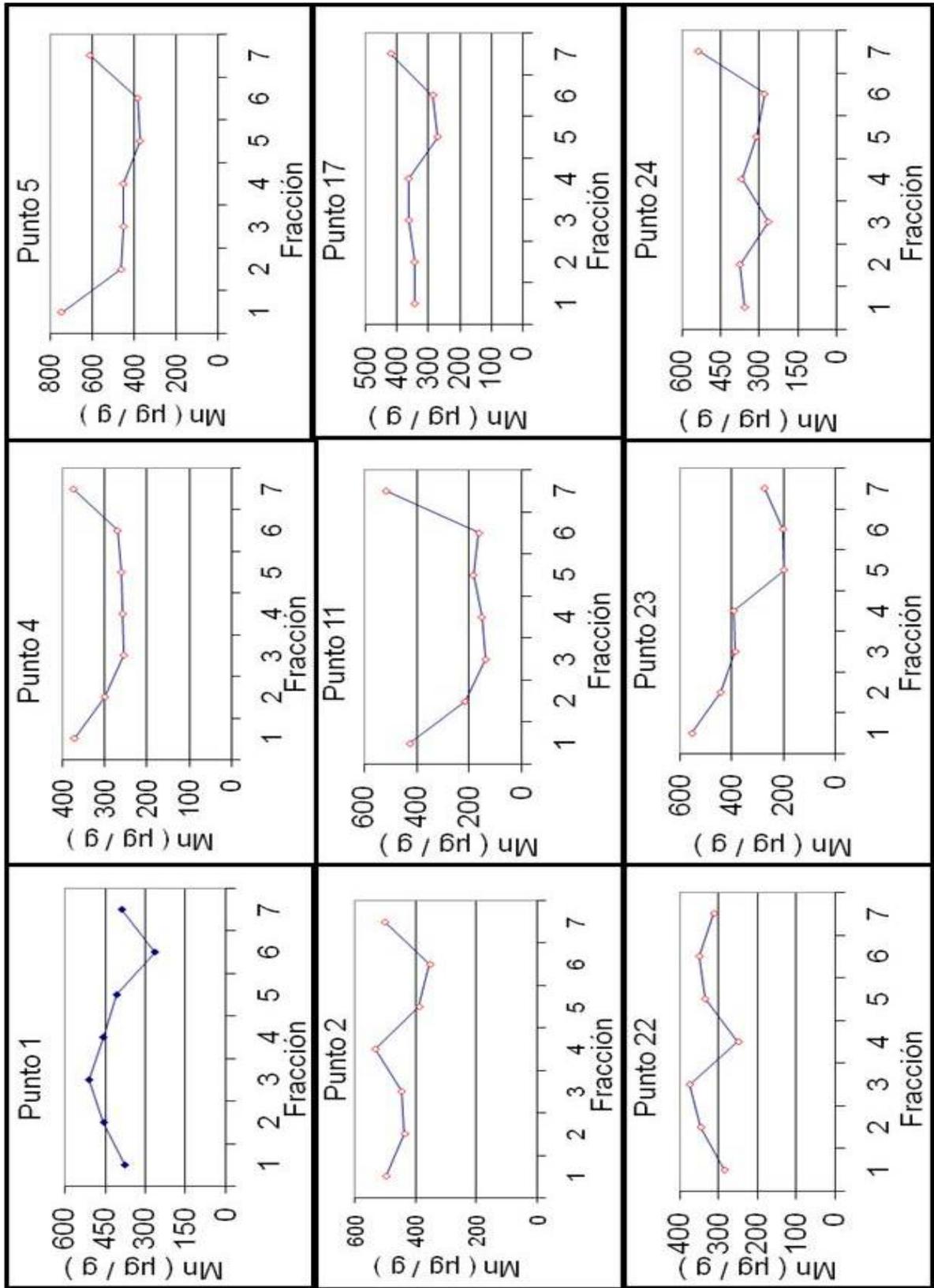


Figura 8: Distribución de la concentración de Mn por tamaño de partícula del sedimento .

común a todos los puntos. Por lo tanto, no existe una fracción que pueda considerarse como la más adecuada para el estudio de Mn en la zona.

La concentración de V en las fracciones del sedimento no presenta una tendencia única para todas las muestras, si bien en algunas muestras la concentración aumenta hacia las arenas finas y muy finas disminuyendo hacia los extremos de la distribución granulométrica, en otras la concentración es relativamente constante o fluctúa irregularmente entre las fracciones del sedimento, por lo cual no puede distinguirse una fracción preferencial donde el V este concentrado, ni un comportamiento general que describa su distribución en las fracciones granulométricas del sedimento (**figura 9**).

La concentración de Mg no presenta, según la **figura 10**, una distribución en los sedimentos que sugiera que hay un incremento en la concentración directa o inversamente proporcional al tamaño de partícula de los sedimentos; sin embargo, la concentración de Mg en la fracción menor a 325 mallas es mayor a la concentración en las otras fracciones del sedimento.

Para la zona de estudio no existe una fracción preferencial para el estudio de Co, Cr, Ni, V y Mg, a pesar que el Ni y el Mg presentan una tendencia a acumularse en la fracción < 325 mallas. Las ventajas de usar esta fracción no justifican las complicaciones logísticas que conllevan su obtención dada su poca abundancia en la zona de estudio.

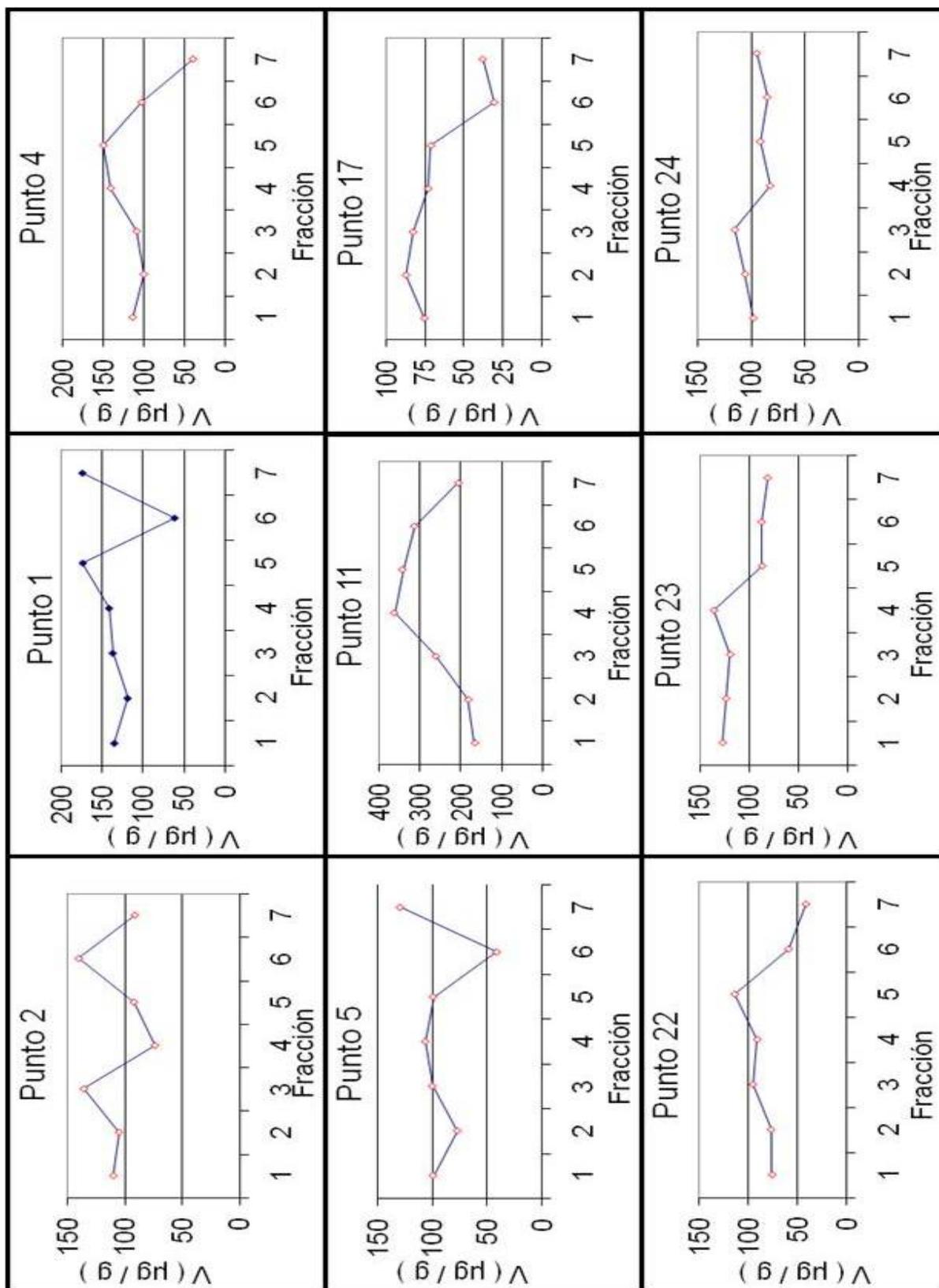


Figura 9: Distribución de la concentración de V por tamaño de partícula del sedimento .

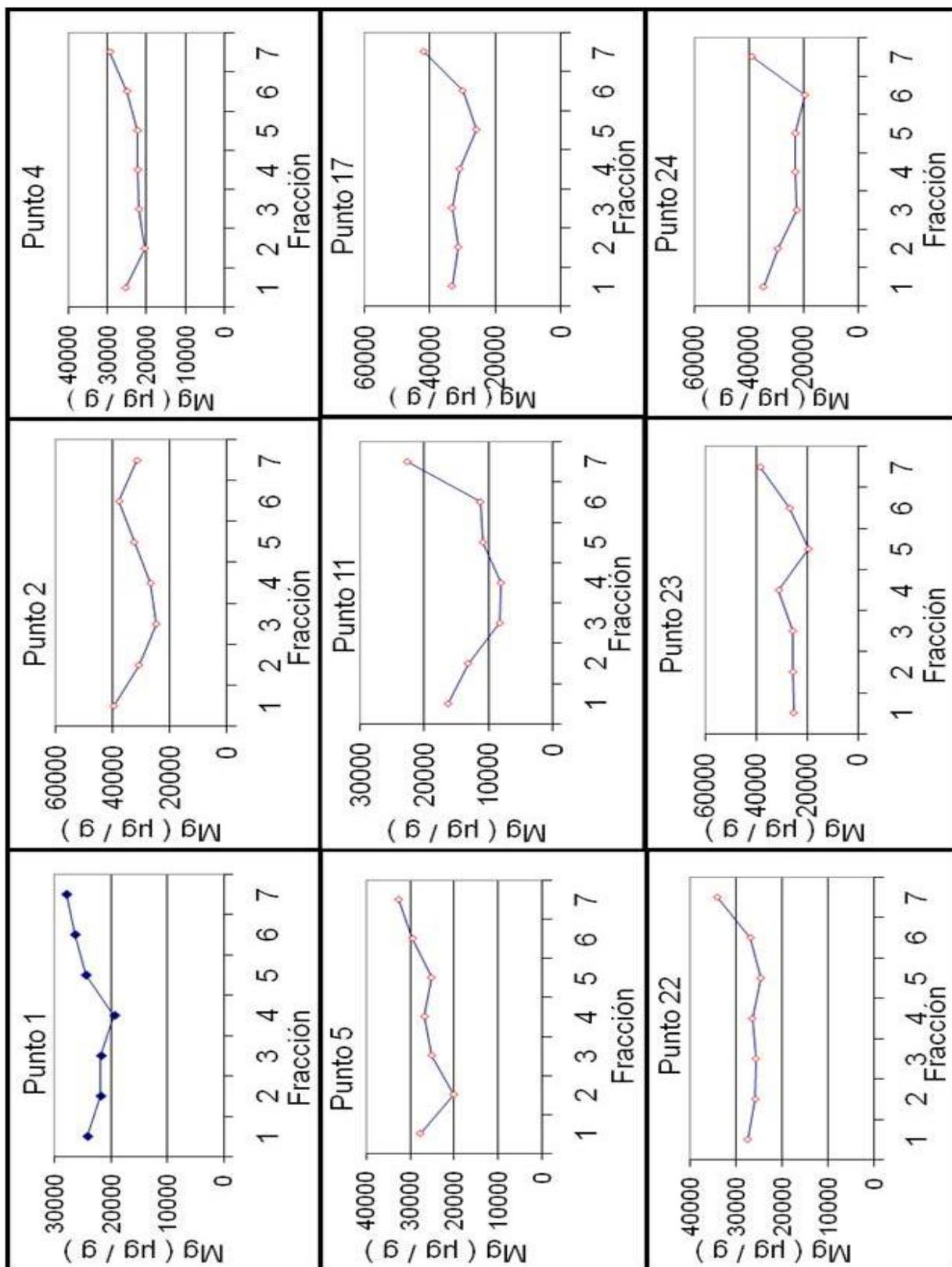


Figura 10: Distribución de la concentración de Mg por tamaño de partícula del sedimento .

Distribución espacial de Ni, Cr, Co, Mn, Fe, Mg, Ca y V

Las concentraciones más altas de Ni, están en los puntos 5, 6, 8, 12, 20, 25 y 26 (ver mapa). Los cuatro primeros o bien están ubicados dentro del Complejo Ultramáfico de Apa o reciben el aporte de sedimentos de él. Los puntos 26 y 25 están ubicados sobre la zona de rocas sedimentarias (Flysch de Guatopo); mientras que, el punto 20 aún estando ubicado sobre la zona de metalavas, metatobas y metabrechas (Formación Las Hermanas), recibe el aporte de sedimentos que provienen de la zona de rocas sedimentarias. La mayor concentración de Ni detectada está ubicada en el punto 12, situado en el río Chiquito donde afloran Wherlitas – Clinopiroxénitas. La concentración en este punto es mayor al promedio mas 3 veces la desviación estándar, por lo cual puede señalarse que se trata de una anomalía de Ni asociada a la litología.

El Cr, como ha sido discutido anteriormente, permite diferenciar entre las litologías dentro de la zona de estudio, los mayores valores pertenecen a los sedimentos que provienen de los puntos 12, 5 y 11, ubicados sobre el Complejo Ultramáfico de Apa en los ríos Chiquito, Apa y la quebrada Carapita respectivamente, donde afloran Wherlitas – Clinopiróxenitas, Dunitas – Wherlitas y Gabros. Las menores concentraciones están registradas para varias de las fracciones del sedimento proveniente del punto de muestreo 1 que recibe sedimentos de la zona correspondiente al Grupo Villa de Cura, sin diferenciar (ver mapa). La mayor concentración dentro del grupo citado anteriormente, corresponde al punto de muestreo 12. Al igual que en el caso del Ni, la concentración de Cr es superior al promedio mas tres veces la veces la desviación

estándar. Según lo discutido, el punto 12 constituiría también una anomalía de Cr en la zona.

Las concentraciones más altas de Co están en sedimentos del Complejo Ultramáfico de Apa (puntos 12, 11, 8, y 5.) o donde reciben el aporte de sedimentos del Complejo (punto 6), siendo el valor más resaltante corresponden al punto 12, no sólo por tener la mayor concentración de Co sino también por que presenta también los mayores valores de Cr y Ni. Las concentraciones más bajas reportadas para este elemento, están en los puntos 1, 23, 24, 22, 16 y 17. El punto 1 recibe sedimentos de la zona que pertenece al Grupo Villa de Cura (sin diferenciar), mientras que los puntos 23 y 24 están ubicados sobre las metatobas piroxénicas de la Formación las Hermanas, por su parte los puntos 16 y 17, localizados sobre el río Casupo Grande, recibe sedimentos en parte de las metalavas, metatobas y metabrechas de la Formación Las Hermanas y del Grupo Villa de Cura (sin diferenciar). Al igual que el Cr, las concentraciones de Co en los puntos que reciben el aporte del Complejo de Apa son mayores a las de los puntos que no tienen relación con el complejo.

El Mn en la zona de estudio varía entre los 139 y 1097 $\mu\text{g} / \text{g}$, las concentraciones más altas se encuentran en los sedimentos recolectados en los puntos 12, 8, 6 y 20. Los tres primeros reciben aporte de sedimentos del Complejo de Apa (12 y 8 están ubicados sobre él) mientras que el punto 20 está localizado sobre el río Cuirá en la zona de metalavas de la Formación Las Hermanas y recibe aporte de la zona de rocas sedimentarias (Flysch de Guatopo). Las menores concentraciones de Mn provienen del

punto 11 ubicado en la quebrada Carapita que drena la parte sureste del Complejo de Apa, pero no existen, a nivel espacial, diferencias significativas de concentración asociadas con la litología.

El V tiene sus mayores concentraciones en sedimentos provenientes del Complejo Ultramáfico de Apa, los valores más altos están en sedimentos recolectados en los puntos 7, 8, 9 y 14, que drenan la parte sur del Complejo de Apa. Las menores concentraciones corresponden a los puntos 5 y 4 que reciben el aporte del norte del Complejo y 17 y 18 que están ubicados en la zona de metalavas de la Formación las Hermanas, pero que reciben aporte de sedimentos del Grupo Villa de Cura (sin diferenciar).

El Ca está presente en la zona en concentraciones que van desde los 6701 $\mu\text{g} / \text{g}$ hasta los 41544 $\mu\text{g} / \text{g}$, estando las mayores concentraciones de este elemento ligadas a sedimentos provenientes del Complejo de Apa.

El Mg presenta su mayor concentración en el punto 12, pero también en los puntos 17 y 24 ubicados en la zona de metalavas de la Formación Las Hermanas y de metalavas y metatobas del Grupo Villa de Cura sin diferenciar respectivamente. Las menores concentraciones están en varias de las fracciones del punto N 11, ubicadas en la quebrada Carapita en la parte sur del Complejo de Apa, donde afloran los gabros. La concentración de Mg no presenta variaciones espaciales importantes en la zona. El Fe

a diferencia del Mg presenta sus mayores concentraciones claramente relacionadas con el Complejo Ultramáfico de Apa.

Correlaciones elementales:

El sedimento recolectado en el punto 12 está ubicado en el río Chiquito (**figura 1**) presenta las mayores concentraciones de Co, Cr, Mn y Ni de toda la zona en la fracción menor a 325 mallas (**tabla 3**). Las concentraciones de Cr y Ni son superiores al promedio más tres veces la desviación estándar, como ya había sido indicado, por lo que el punto 12 es considerado como anómalo. Este punto sólo recibe sedimentos del Complejo Ultramáfico de Apa, lo cual sugiere que el control que podría estar influyendo sobre las altas concentraciones de Co, Cr, Mn, Ni y Mg en esta muestra es litológico.

En la **figura 11** son presentadas las correlaciones Co, Cr, Mn, Ni, V y Ca con el Mg. No existe una clara correlación del Ni con el Mg, su coeficiente de correlación es 0,18; por lo cual puede indicarse que la concentración de este elemento en la zona de estudio, es independiente de la concentración de Fe y Mg, por tanto las Fases minerales que los contienen deben ser distintitas y/o los procesos físicos y químicos que conllevan a su dispersión los afectan de modo diferente.

Los elementos Co, Cr y Ni no muestran una tendencia que permita establecer una correlación con el Mg, lo más notorio con respecto a ellos es el punto 12 que representa altas concentraciones de Cr y Ni en comparación con el resto de las muestras, definido como anómalo. El Mn muestra una tendencia de correlación positiva, mientras que V y

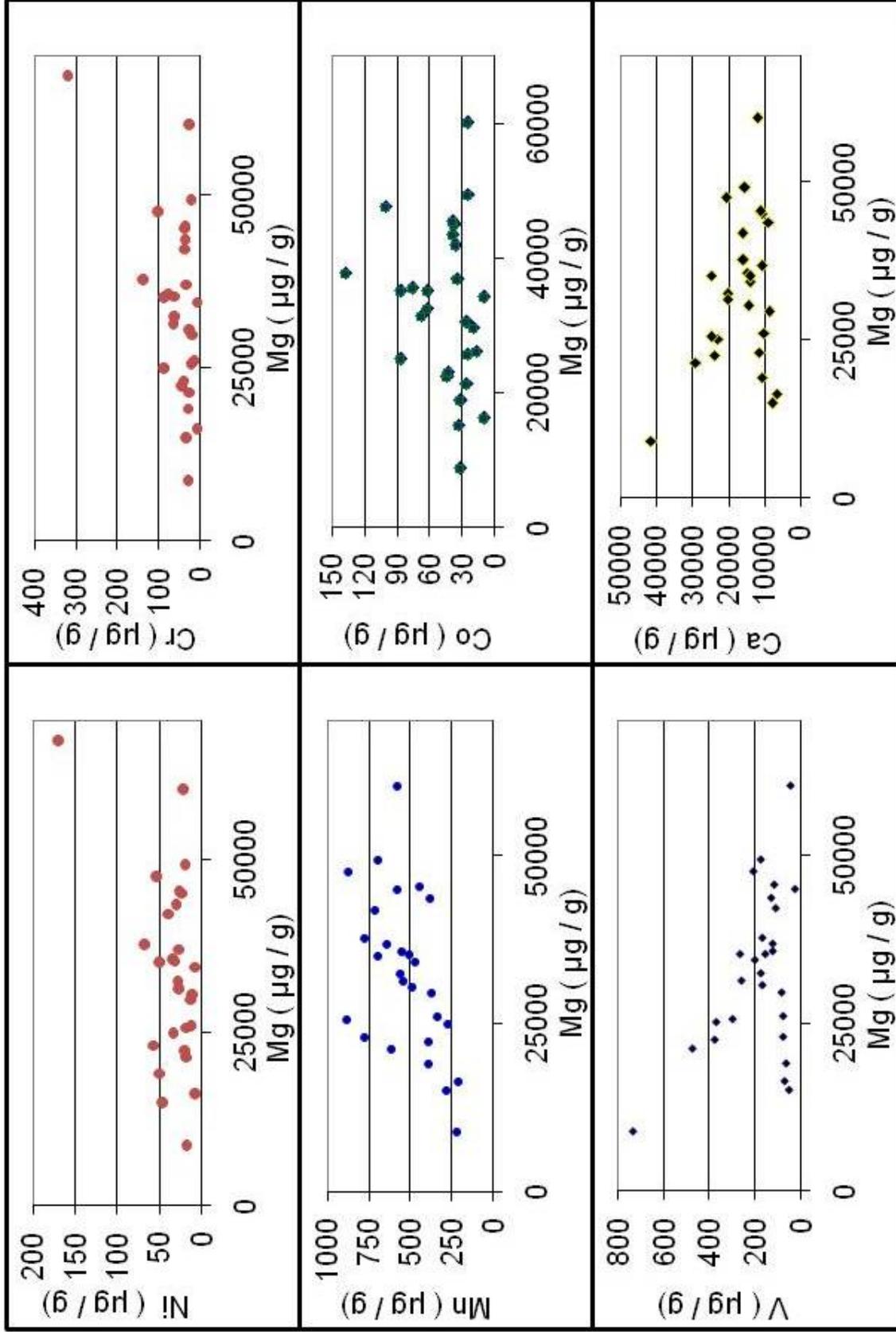


Figura 11 : Correlación de los elementos Co, Cr, Mn, Ni, Fe, V y Ca con el Mg en las muestras de sedimentos de los 26 puntos de recolección.

Ca exhiben un comportamiento similar. Tanto Ca como V tienen una tendencia doble, para sedimentos que no provienen del complejo las correlaciones V – Mg y Ca – Mg son negativas, por otro lado, los sedimentos que provienen del Complejo no manifiestan una correlación apreciable. Esto indica que tanto el Ca como el V presentan dos poblaciones distintas de datos,

Las correlaciones del Co con el Fe y el Mg pueden ser vistas en la **figura 12**. Es posible apreciar una ligera tendencia de correlación positiva entre el Co y el Fe, pero no entre el Co y el Mg, los coeficientes de correlación son 0,573 y 0,177, respectivamente.

Otras correlaciones importantes son Cr - Co y Ni - Co (**figura 13**). En ambas correlaciones en la fracción correspondiente a los sedimentos menores a 325 mallas, puede ser observado un grupo de cuatro puntos con tendencia diferente a la del resto de las muestras. En estas muestras la proporción de Co aumenta con respecto al Cr y Ni en comparación con el resto de las muestras. Dichas muestras corresponden a los puntos de recolección localizados en el río Arenilla (6, 8) y la quebrada Carapita (11), que reciben sedimentos del Complejo Ultramáfico de Apa. Lo cual sugiere que el incremento en la concentración de Co para esas muestras podría deberse a la presencia de una fase mineral con un mayor contenido de Co que las presentes en el resto del Complejo.

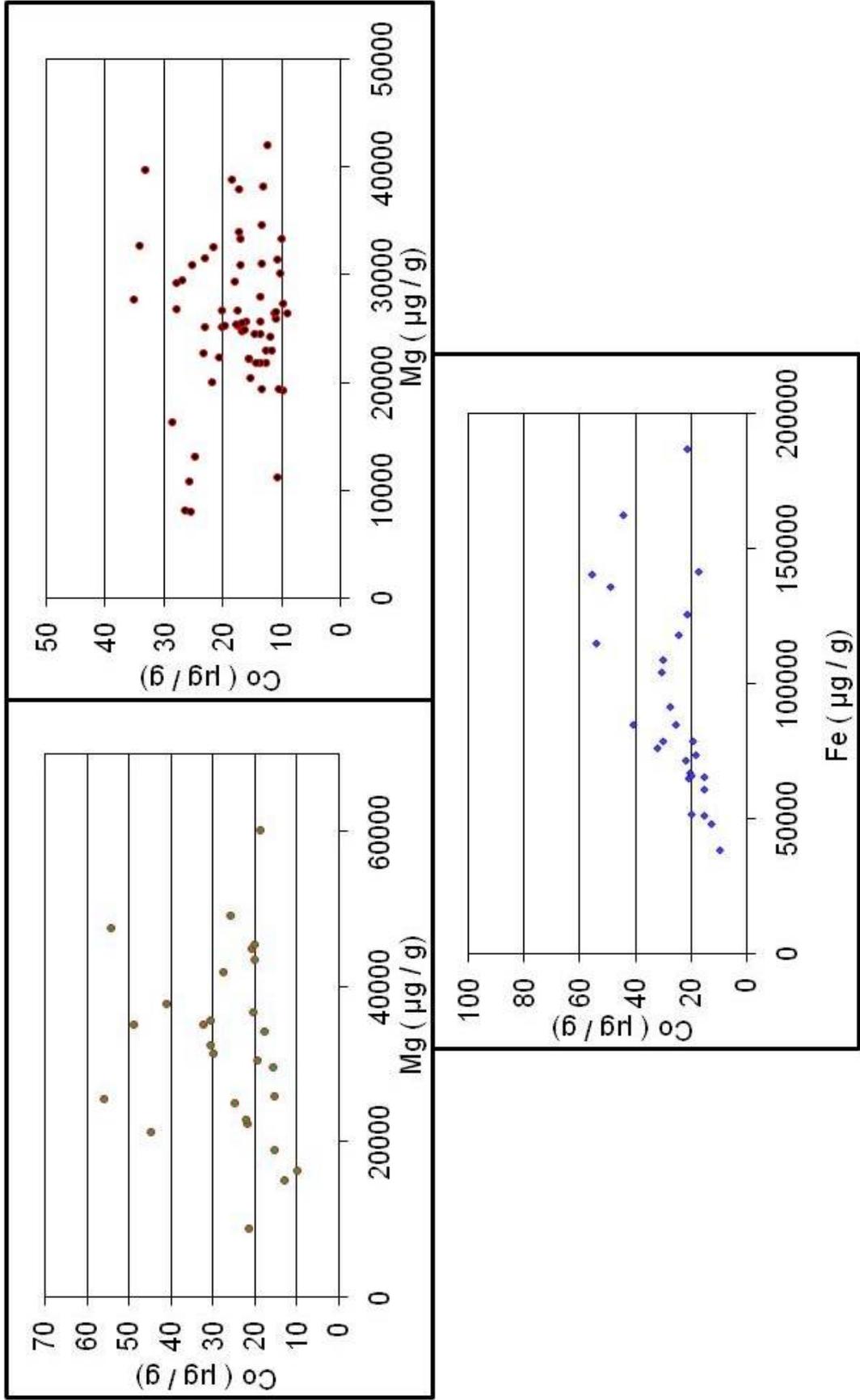


Figura 12: Correlaciones Co – Mg en una sola fracción para todos los puntos de muestreo, Correlaciones Co – Mg en 9 puntos analizados en todas sus fracciones y correlación Co – Fe en una sola fracción para todos los puntos de muestreo.

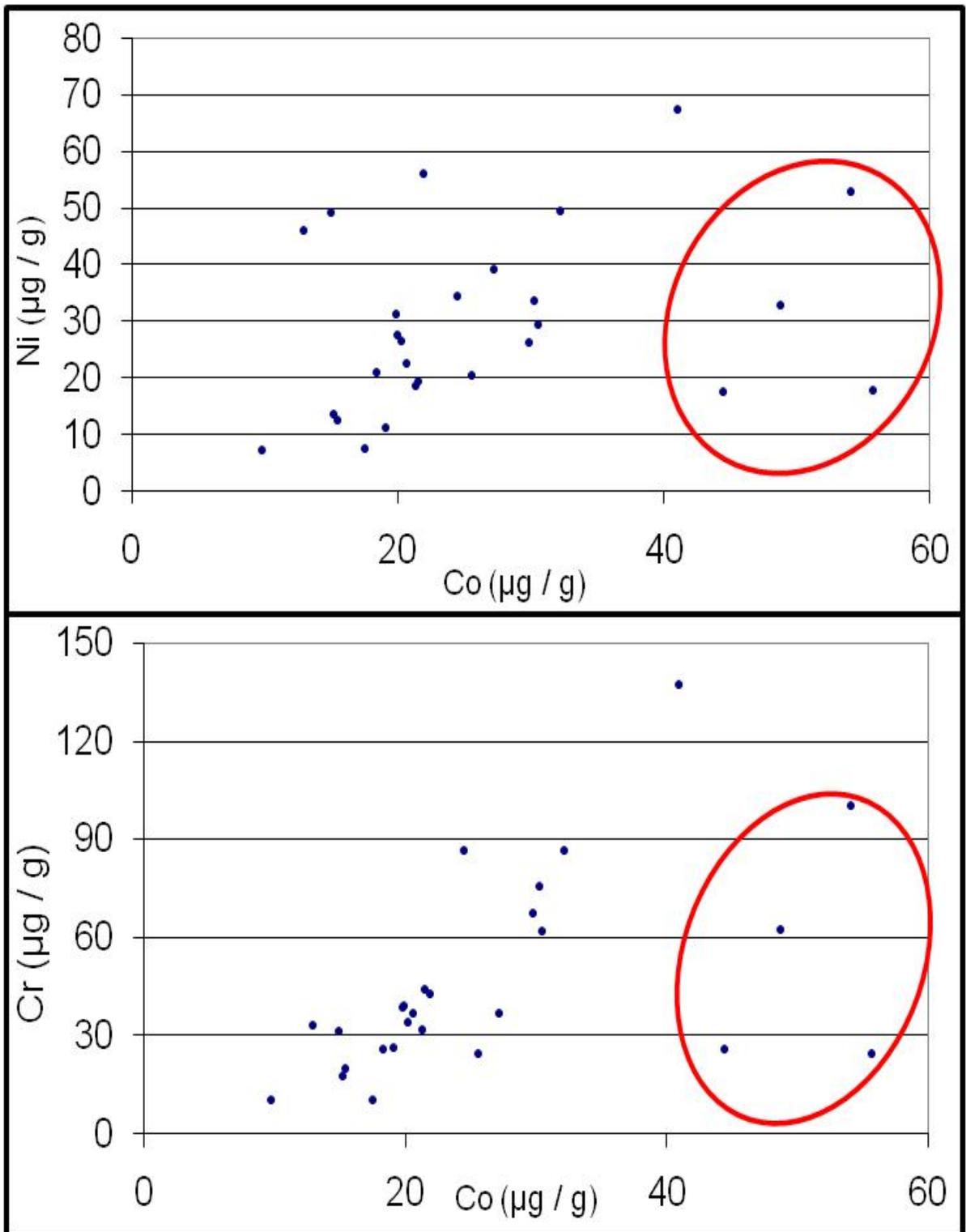


Figura 13: Correlaciones Ni – Co y Cr – Co en los 26 puntos de muestreo.

Las correlaciones más importantes del V son con el Fe, Ca y Mg, muestran los coeficientes de correlación de 0,884; 0,946 y -0,434, respectivamente. Estas correlaciones pueden ser apreciadas en la **figura 14**. Puede observarse la relación entre el V y el Fe al igual que con el Ca, esto implica que las fases minerales que contienen a estos elementos están muy relacionadas entre sí y que estas tienen un comportamiento similar frente a los procesos de dispersión en la zona. La correlación V – Mg permite apreciar la presencia de dos tendencias en los datos, la tendencia negativa corresponde a los puntos de muestreo que no reciben aporte de sedimentos del Complejo de Apa. Esto indica que, al igual que el Cr, el V presenta un comportamiento distinto dependiendo de la litología que aporta los sedimentos.

La correlación del Ca con el Fe es positiva como puede verse en la **figura 14**. Esto permite indicar que las fases minerales en las que se encuentran el Fe y Ca, son las mismas en toda el área o bien que las mismas son afectadas de manera similar en el ambiente de meteorización. La Correlación del Ca con el Mg (**figura 11**), al igual que la correlación con el V, permite distinguir entre dos tendencias. Estas dos tendencias permiten diferenciar entre los puntos que reciben el aporte de los sedimentos del Complejo de Apa y los que no. La correlación de los puntos que no reciben el aporte del Complejo de Apa es negativa mientras que el grupo de muestras no relacionadas con el complejo no presenta una correlación clara.

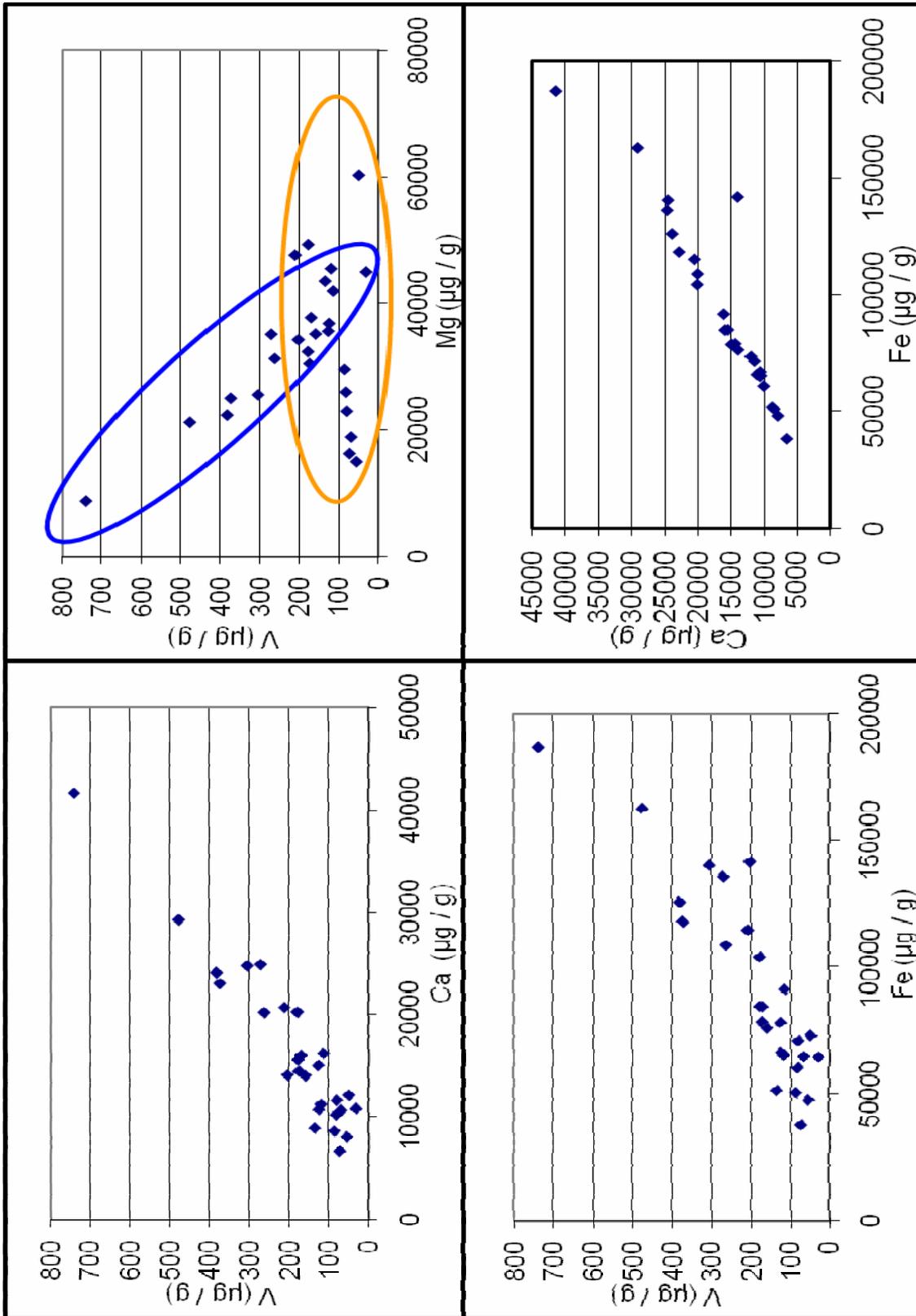


Figura 14: Correlaciones V – Ca, V – Mg, V – Fe y Ca – Fe.

CONCLUSIONES

- Las arenas muy gruesas y gruesas son dominantes en el área de estudio. La proporción entre ellas varía a lo largo del canal de los ríos, pero juntas totalizan más del 60 % de los sedimentos en la zona, mientras que la fracción menor a 60 mallas constituye el 10% o menos del sedimento presente.
- El Ni presenta una tendencia a acumularse en la fracción menor a las 325 mallas, sin embargo, la diferencia de concentración en las fracciones del sedimento no es significativa.
- El Cr, Co, Mn, y V no presentan una tendencia a acumularse preferencialmente en alguna de las fracciones del sedimento estudiadas.
- Las mayores concentraciones de Cr, Co y Ni están presentes en sedimentos que provienen del Complejo Ultramáfico de Apa. Las correlaciones Ni – Cr y Co - Cr permiten diferenciar al Complejo de Apa del resto de las unidades litológicas de la zona.
- La concentración de Mg y Mn no presenta diferencias espaciales importantes mientras que las mayores concentraciones de Fe y Ca están relacionadas con sedimentos del Complejo de Apa.
- La concentración de Pt en muestras analizadas es menor a 20 ng / g.

RECOMENDACIONES

Realizar el muestreo de la subcuenta del río Taguaza y aplicar la metodología de este proyecto para complementar la información de la zona de estudio.

Realizar la determinación de la concentración de Fe en las fracciones granulométricas de las muestras de sedimento para completar la información con respecto a la distribución granulométrica propuesta para este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

Al-Tia, M.J y Barnes, J.W. (1974). Rubidium: A primary dispersion pathfinder at Ogofau gold mine, southern Wales. *Developments in Economic Geology*. 341- 352.

Barefoot, R. (2004). Determination of platinum group elements and gold in geological materials: a review of recent magnetic sector and laser ablation applications. *Analitica Chimica Acta*. (509), 119-125.

Cohen, D.R., Dunlop, A.C. y Rose, T. (2005). Contrasting dispersion patterns for gold in stream sediments at Timbarra, NSW, Australia *Journal of Geochemical Exploration*. (85), 1 - 16

Chandrajitha, R., Dissanayakeb, C.B. y Tobschalla, H.J. (2001) .Application of multi-element relationships in stream sediments to mineral exploration: a case study of Walawe Ganga Basin, Sri Lanka. *Applied Geochemistry*. (16), 339 – 350

Chao, T.T y Sanzolone, R.F. (1990). Decomposition techniques. *Journal of Geochemical Exploration*,(44), 65- 106

Chao, T. T. (1984). Use of partial dissolution techniques in geochemical exploration. *Journal of Geochemical Exploration*,(20), 101 - 135

Das, A. y Krishnaswami, S. (2007). Elemental geochemistry of river sediments from the Deccan Traps, India: Implications to sources of elements and their mobility during basalt–water interaction. *Chemical Geology*. (242), 232-254.

Dill, H.G., Techmer A., Weber, B. Y Füll, M. (2008). Mineralogical and chemical distribution patterns of placers and ferricretes in Quaternary sediments in SE Germany: The impact of nature and man on the unroofing of pegmatites. *Journal of Geochemical exploration*, (96), 1–24.

Farahat, E.S. y Helmy, H.M. (2006). Abu Hamamid Neoproterozoic Alaskan-type complex, south Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*. (45), 187 - 197

Feist, B., Mikula B., Pytlakowska, K., Puzio B. y Buhl, F. (2007). Determination of heavy metals by ICP-OES and F-AAS after preconcentration with 2,2 - bipyridyl and erythrosine. *Journal of Hazardous Materials*.

Giancoli, S.R., Nozaki, J., De Oliveira, E., Do Nascimento, V., Aragão, P.H., Scarminio, I.S y Barreto, W. J. (2004). Comparison of metal analysis in sediments using EDXRF and ICP-OES with the HCl and Tessie extraction methods. *Talanta*. (64), 345 – 354.

Guilbert, J. y Park, C. (1986). *The Geology of Ore deposits*. New York: W.H. Freeman and Company.

Hamilton, M.A., Rode, P.W., Merchant, M.E y Sneddon, J. (2007). Determination and comparison of heavy metals in selected seafood, water, vegetation and sediments by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry from an industrialized and pristine waterway in Southwest Louisiana . *Microchemical Journal*.

Herrera, M. (2004). *Caracterización de los minerales pesados provenientes de la cuenca del río Aro, Estado Bolívar, Venezuela*. Tesis Especial de Grado, no publicada. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

Krause, J., Brüggmann, G.E., Pushkarev, E.V. (2007). Accessory and rock forming minerals monitoring the evolution of zoned mafic–ultramafic complexes in the Central Ural Mountains. *Lithos.* (95), 19 – 42

Levison, A.A. (1974). *Introduction to exploration geochemistry*. Applied Publishing, LTD, US, 612.

Melo, G. y Fletcher, W.K. (1999). Dispersion of gold associate elements in stream sediment under semi-arid condition, northeast of Brazil. *Journal of Geochemical exploration*, (67) 235-24.

Méndez J. (2002). Guía de petrología (sin publicar). Instituto de Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. UCV.

Ranasinghe, P.N., Chandrajith, R.L.R., Dissanayake, C.B., y Rupasinghe M.S. (2002). Importance of Grain Size Factor in Distribution of Trace Elements in Stream Sediments of Tropical High Grade Terrains – A Case Study from Sri Lanka. *CHEMIE der ERDE GEOCHEMISTRY*. (62), 243 – 253.

Reis, A., Sousa, A.J. y Cardoso, E. (2001). Soil geochemical prospecting for gold at Marrancos (Norther Portugal). *Journal of Geochemical Exploration*. (73), 1-10

Sandroni, V y Smith, M.M. (2002). Microwave digestion of sludge, soil and sediment samples for metal analysis by inductively coupled plasma–atomic emission spectrometry. *Analitica Chimica Acta*. (468), 335-344.

Skoog, D., West, D., Holler, F. Y Crouch, S. (2000). *Quimica Analítica 7ma Edición*. Mc Graw Hill. Mexico.

Spadoni, M. (2006). Geochemical mapping using a geomorphologic approach based on catchments. *Journal of Geochemical exploration*, (90), 183 - 196

Tapia, J.J. y Ramírez, A.J. (1993). Particle Size and Abundance of Gold in Rock, Sediment and Soil Samples from the Venezuelan Guayana Shield. *Resource Geology Special Issue*. (16), 221 – 224.

Urbani, F., Chirinos, A. y Marquina, M. (1989). *Reconocimiento geológico de la región de Guatopo, Miranda*. Depto. Geología. UCV. Caracas. Resumen

Urbani, F., Chirinos, A. y Maquina, M. (1991). Geología del área de Guatopo el Guapo – El Guapo Estados Miranda y Guárico. *Revista de Ingeniería*, 6 (1), 5 – 52.

Valencia, M. y Rivera, R. (2005). Dispersión geoquímica secundaria en la anomalía de oro La Encantada: La Libertad. *XIII Congreso Peruano de Geología*. Resúmenes Extendidos, Sociedad Geológica del Perú.

Vizcarret, P. (1982). *Geología de la cuenca de los ríos Apa y Macaira del Parque Nacional Guatopo Estado Miranda*. Tesis de grado. Escuela de Geología. Facultad de ingeniería. U.C.V, Caracas, Venezuela.

Zerpa, L.D. (1982). *Prospección Geoquímica de los ríos Caira, Macaira y Taguaza Afluentes del río Tuy*. Tesis de grado. Escuela de Química. Facultad de Ciencias. U.C.V, Caracas, Venezuela.

Zavatti, J.C. (1982). *Prospección Geoquímica de Quebrada Maitana Afluente del río Tuy*. Tesis de grado. Escuela de Química. Facultad de Ciencias. U.C.V, Caracas, Venezuela.

Zhou, C.Y., Wong, M.K., Hoh, L.L. y Wee, Y.C. (1995). Orthogonal array design was applied to the optimization of the closed-vessel microwave digestion of sediment samples. *Analytica Chimica Acta*. (314), 121 – 130

Apéndice A:

Pesos de campo húmedo y seco de las fracciones tamizadas en campo y pesos secos de las fracciones tamizadas en el laboratorio, de las muestras de sedimento.

Pesos húmedos, porcentaje de humedad, peso seco calculado (kg) y distribución granulométrica de las fracciones tamizadas en campo.

| Punto de Muestreo | Fracción (Nº mallas) | Peso húmedo (kg) | Humedad (% peso) | Peso Seco (Kg.) | Distribución (% peso seco) |
|-------------------|----------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------------------|
| 1 | 10 - 18 | 15,0 | 16 | 12,7 | 38 |
| | 18 - 35 | 17,0 | 24 | 12,9 | 39 |
| | 35 - 60 | 6,0 | 25 | 4,5 | 13 |
| | < 60 | - | - | 3,1 | 9 |
| 2 | 10 - 18 | 30,0 | 8 | 27,6 | 47 |
| | 18 - 35 | 26,0 | 15 | 22,2 | 37 |
| | 35 - 60 | 7,0 | 23 | 5,4 | 9 |
| | < 60 | -- | - | 4,1 | 7 |
| 3 | > 10 | 4,6 | 5,6 | 4,3 | 49 |
| | 10 - 18 | 2,4 | 5,6 | 2,2 | 25 |
| | 18 - 35 | 1,7 | 17,9 | 1,4 | 16 |
| | 35 - 60 | 0,3 | 10,2 | 0,3 | 3 |
| | <60 | - | - | 0,6 | 7 |
| 4 | 10 - 18 | 65,0 | 9 | 59,1 | 54 |
| | 18 - 35 | 45,0 | 20 | 35,9 | 33 |
| | 35 - 60 | 15,0 | 21 | 11,9 | 11 |
| | < 60 | 6,0 | 42 | 3,5 | 3 |
| 5 | 10 - 18 | 38,0 | 15 | 32,4 | 44 |
| | 18 - 35 | 36,0 | 16 | 30,1 | 41 |
| | 35 - 60 | 10,0 | 25 | 7,5 | 10 |
| | < 60 | - | - | 3,3 | 4 |
| 6 | 10 - 18 | 3,6 | 28 | 2,6 | 31 |
| | 18 - 35 | 8,1 | 39 | 4,9 | 59 |
| | 35 - 60 | 1,3 | 39 | 0,8 | 9 |
| | < 60 | - | - | 0,1 | 1 |
| 7 | 10 - 18 | 30,0 | 9 | 27,4 | 36 |
| | 18 - 35 | 44,5 | 17 | 37,1 | 49 |
| | 35 - 60 | 9,5 | 19 | 7,7 | 10 |
| | < 60 | - | - | 4,0 | 5 |
| 8 | > 10 | 3,0 | 8,0 | 2,4 | 23 |
| | 10 - 18 | 3,7 | 8,0 | 3,4 | 33 |
| | 18 - 35 | 4,1 | 13,3 | 3,5 | 35 |
| | 35 - 60 | 0,4 | 19,1 | 0,3 | 3 |
| | <60 | - | - | 0,5 | 5 |
| 8 | 10 - 18 | 21,0 | 14 | 18,0 | 38 |
| | 18 - 35 | 32,0 | 21 | 25,4 | 54 |
| | 35 - 60 | 3,0 | 24 | 2,3 | 5 |
| | < 60 | - | - | 1,7 | 4 |

Pesos húmedos, porcentaje de humedad, peso seco calculado (kg) y distribución granulométrica de las fracciones tamizadas en campo.

| Punto de Muestreo | Fracción (Nº mallas) | Peso húmedo (kg) | Humedad (% peso) | Peso Seco (Kg.) | Distribución (% peso seco) |
|-------------------|----------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------------------|
| 9 | > 10 | 2,5 | 12,7 | 2,2 | 29 |
| | 10 - 18 | 2,5 | 12,7 | 2,2 | 29 |
| | 18 - 35 | 2,6 | 19,9 | 2,1 | 27 |
| | 35 - 60 | 1,2 | 21,2 | 0,9 | 12 |
| | <60 | - | - | 0,2 | 2 |
| 9 | 10 - 18 | 39,0 | 8 | 35,9 | 45 |
| | 18 - 35 | 46,0 | 16 | 38,6 | 48 |
| | < 35 | - | - | 5,1 | 6 |
| 10 | 10 - 18 | 50,0 | 10 | 45,1 | 64 |
| | 18 - 35 | 24,0 | 18 | 19,6 | 28 |
| | 35 - 60 | 5,6 | 23 | 4,3 | 6 |
| | < 60 | - | - | 1,6 | 2 |
| 11 | 10 - 18 | 30,0 | 11 | 26,6 | 52 |
| | 18 - 35 | 20,0 | 17 | 16,6 | 33 |
| | 35 - 60 | 6,0 | 18 | 4,9 | 10 |
| | < 60 | - | - | 2,6 | 5 |
| 12 | 10 - 18 | 2,1 | 9 | 1,9 | 82 |
| | 18 - 35 | 0,2 | 12 | 0,2 | 7 |
| | 35 - 60 | 0,3 | 16 | 0,3 | 10 |
| | < 60 | - | - | - | - |
| 13 | 10 - 18 | 0,5 | 26 | 86,9 | 37 |
| | 18 - 35 | 0,2 | 19 | 95,5 | 40 |
| | 35 - 60 | 0,2 | 21 | 53,9 | 23 |
| | <60 | - | - | - | - |
| 14 | 10 - 18 | 1,5 | 11 | 1,34 | 73 |
| | 18 - 35 | 0,4 | 20 | 0,32 | 17 |
| | 35 - 60 | 0,1 | 23 | 0,08 | 4 |
| | < 60 | - | - | 0,09 | 5 |
| 15 | 10 - 18 | 10,0 | 13 | 8,7 | 32 |
| | 18 - 35 | 12,0 | 21 | 9,5 | 35 |
| | 35 - 60 | 8,0 | 23 | 6,1 | 23 |
| | < 60 | - | - | 2,9 | 11 |
| 16 | 10 - 18 | 4,2 | 18 | 3,4 | 52 |
| | 18 - 35 | 2,8 | 19 | 2,2 | 34 |
| | 35 - 60 | 0,4 | 22 | 0,3 | 5 |
| | <60 | - | - | 0,6 | 10 |
| 17 | 10 - 18 | 20,0 | 16 | 16,7 | 38 |
| | 18 - 35 | 21,0 | 20 | 16,7 | 38 |
| | 35 - 60 | 9,0 | 22 | 7,0 | 16 |
| | < 60 | - | - | 3,6 | 8 |

Pesos húmedos, porcentaje de humedad, peso seco calculado (kg) y distribución granulométrica de las fracciones tamizadas en campo.

| Punto de Muestreo | Fracción (Nº mallas) | Peso húmedo (kg) | Humedad (% peso) | Peso Seco (Kg.) | Distribución (% peso seco) |
|-------------------|----------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------------------|
| 18 | 10 - 18 | 8,0 | 11 | 7,1 | 20 |
| | 18 - 35 | 17,5 | 15 | 14,9 | 42 |
| | 35 - 60 | 12,0 | 23 | 9,2 | 26 |
| | < 60 | - | - | 3,8 | 11 |
| 19 | 10 - 18 | 3,0 | 6 | 2,8 | 56 |
| | 18 - 35 | 2,3 | 19 | 1,9 | 37 |
| | 35 - 60 | 0,5 | 22 | 0,4 | 8 |
| 20 | 10 - 18 | 12,0 | 15 | 10,3 | 38 |
| | 18 - 35 | 11,0 | 9 | 10,1 | 37 |
| | 35 - 60 | 7,0 | 25 | 5,3 | 19 |
| | < 60 | - | - | 1,6 | 6 |
| 21 | z | 3,0 | 16,5 | 2,5 | 28 |
| | 18 - 35 | 4,5 | 16,5 | 3,8 | 42 |
| | | 3,0 | 22,1 | 2,3 | 26 |
| | 35 - 60 | 0,4 | 23,1 | 0,3 | 3 |
| | <60 | - | - | 0,1 | 1 |
| 22 | 10 - 18 | 22,0 | 11 | 19,6 | 41 |
| | 18 - 35 | 20,0 | 24 | 15,3 | 32 |
| | 35 - 60 | 11,0 | 26 | 8,1 | 17 |
| | < 60 | - | - | 4,8 | 10 |
| 23 | 10 - 18 | 22,0 | 13 | 19,2 | 45 |
| | 18 - 35 | 19,0 | 23 | 14,6 | 34 |
| | 35 - 60 | 6,0 | 23 | 4,6 | 11 |
| | < 60 | - | - | 3,8 | 9 |
| 24 | 10 - 18 | 25,0 | 5 | 23,7 | 41 |
| | 18 - 35 | 26,0 | 16 | 21,7 | 38 |
| | 35 - 60 | 10,0 | 23 | 7,7 | 13 |
| | < 60 | - | - | 4,2 | 7 |
| 25 | > 10 | 6,3 | 11,0 | 5,6 | 63 |
| | 10 - 18 | 1,4 | 11,0 | 1,2 | 14 |
| | 18 - 35 | 1,5 | 20,5 | 1,2 | 13 |
| | 35 - 60 | 0,5 | 18,5 | 0,4 | 5 |
| | <60 | - | - | 0,4 | 4 |
| 26 | > 10 | 6,9 | 14,8 | 5,9 | 77 |
| | 10 - 18 | 0,7 | 14,8 | 0,6 | 8 |
| | 18 - 35 | 0,4 | 20,5 | 0,3 | 4 |
| | 35 - 60 | 0,3 | 23,3 | 0,2 | 3 |
| | <60 | - | - | 0,6 | 8 |

Distribución granulométrica de la fracción < 60 mallas

| Punto de muestreo | Fracción (Nº mallas) | Peso Seco (Kg.) | Distribución (% peso seco) |
|-------------------|----------------------|-----------------|----------------------------|
| 1 | 60 - 120 | 2000 | 64 |
| | 120 - 230 | 559 | 18 |
| | 230 - 325 | 237 | 8 |
| | < 325 | 316 | 10 |
| | Decantado | - | |
| 2 | 60 - 120 | 2000 | 49 |
| | 120 - 230 | 810 | 20 |
| | 230 - 325 | 258 | 6 |
| | < 325 | 888 | 22 |
| | Decantado | 96 | 2 |
| 3 | 60 - 120 | 172 | 30 |
| | 120 - 230 | 101 | 18 |
| | 230 - 325 | 41 | 7 |
| | < 325 | 257 | 45 |
| 4 | 60 - 120 | 2078 | 60 |
| | 120 - 230 | 579 | 17 |
| | 230 - 325 | 300 | 9 |
| | < 325 | 310 | 9 |
| | Decantado | 195 | 6 |
| 5 | 60 - 120 | 1791 | 55 |
| | 120 - 230 | 495 | 15 |
| | 230 - 325 | 336 | 10 |
| | < 325 | 425 | 13 |
| | Decantado | 228 | 7 |
| 6 | 60 - 120 | 171 | 45 |
| | 120 - 230 | 63 | 17 |
| | 230 - 325 | 28 | 7 |
| | < 325 | 119 | 31 |
| 7 | 60 - 120 | 3000 | 75 |
| | 120 - 230 | 353 | 9 |
| | 230 - 325 | 33 | 8 |
| | < 325 | 170 | 4 |
| | Decantado | 131 | 3 |
| 8 | 60 - 120 | 123 | 24 |
| | 120 - 230 | 60 | 12 |
| | 230 - 325 | 39 | 7 |
| | < 325 | 298 | 57 |
| 8 | 60 - 120 | 612 | 36 |
| | 120 - 230 | 624 | 37 |
| | 230 - 325 | 130 | 8 |
| | < 325 | 93 | 5 |
| | Decantado | 231 | 14 |

Distribución granulométrica de la fracción < 60 mallas

| Punto de muestreo | Fracción (Nº mallas) | Peso Seco (Kg.) | Distribución (% peso seco) |
|-------------------|----------------------|-----------------|----------------------------|
| 9 | 60 - 120 | 53 | 33 |
| | 120 - 230 | 63 | 40 |
| | 230 - 325 | 26 | 16 |
| | < 325 | 17 | 11 |
| 9 | 35 - 60 | 3283 | 64 |
| | 60 - 120 | 1068 | 21 |
| | 120 - 230 | 276 | 5 |
| | 230 - 325 | 107 | 2 |
| | < 325 | 98 | 2 |
| | Decantado | 302 | 6 |
| 10 | 60 - 120 | 1200 | 73 |
| | 120 - 230 | 222 | 14 |
| | 230 - 325 | 72 | 4 |
| | < 325 | 92 | 6 |
| | Decantado | 48 | 3 |
| 11 | 60 - 120 | 1697 | 65 |
| | 120 - 230 | 458 | 18 |
| | 230 - 325 | 125 | 5 |
| | < 325 | 230 | 9 |
| | Decantado | 85 | 3 |
| 12 | 60 - 120 | - | - |
| | 120 - 230 | - | - |
| | 230 - 325 | - | - |
| | < 325 | - | - |
| | Decantado | - | - |
| 13 | 60 - 120 | - | - |
| | 120 - 230 | - | - |
| | 230 - 325 | - | - |
| | < 325 | - | - |
| | Decantado | - | - |
| 14 | 60 - 120 | - | - |
| | 120 - 230 | - | - |
| | 230 - 325 | - | - |
| | < 325 | - | - |
| | Decantado | - | - |
| 15 | 60 - 120 | 2200 | 77 |
| | 120 - 230 | 61 | 2 |
| | 230 - 325 | 112 | 4 |
| | < 325 | 281 | 10 |
| | Decantado | 221 | 8 |
| 16 | 60 - 120 | 392 | 61 |
| | 120 - 230 | 156 | 24 |
| | 230 - 325 | 22 | 3 |

Distribución granulométrica de la fracción < 60 mallas

| Punto de muestreo | Fracción (Nº mallas) | Peso Seco (Kg.) | Distribución (% peso seco) |
|-------------------|----------------------|-----------------|----------------------------|
| 16 | < 325 | 21 | 3 |
| | Decantado | 55 | 8 |
| 17 | 60 - 120 | 2500 | 70 |
| | 120 - 230 | 386 | 11 |
| | 230 - 325 | 150 | 4 |
| | < 325 | 287 | 8 |
| | Decantado | 249 | 7 |
| 18 | 60 - 120 | 2676 | 70 |
| | 120 - 230 | 372 | 10 |
| | 230 - 325 | 32 | 1 |
| | < 325 | 398 | 10 |
| | Decantado | 321 | 8 |
| 19 | 60 - 120 | - | - |
| | 120 - 230 | - | - |
| | 230 - 325 | - | - |
| | < 325 | - | - |
| | Decantado | - | - |
| 20 | 60 - 120 | 1093 | 69 |
| | 230 - 325 | 62 | 4 |
| | < 325 | 77 | 5 |
| | Decantado | 133 | 8 |
| 21 | 60 - 120 | 17 | 20 |
| | 120 - 230 | 13 | 16 |
| | < 230 | 21 | 25 |
| | D | 33 | 39 |
| | Total | 84 | 100 |
| 22 | 60 - 120 | 3438 | 72 |
| | 120 - 230 | 509 | 11 |
| | 230 - 325 | 118 | 2 |
| | < 325 | 559 | 12 |
| | Decantado | 141 | 3 |
| 23 | 60 - 120 | 1500 | 39 |
| | 120 - 230 | 532 | 14 |
| | 230 - 325 | 749 | 19 |
| | < 325 | 1060 | 27 |
| | Decantado | 50 | 1 |
| 24 | 60 - 120 | 2951 | 70 |
| | 120 - 230 | 483 | 11 |
| | 230 - 325 | 142 | 3 |
| | < 325 | 642 | 15 |
| 25 | 60 - 120 | 156 | 73 |
| | 120 - 230 | 20 | 9 |

Distribución granulométrica de la fracción < 60 mallas

| Punto de muestreo | Fracción (Nº mallas) | Peso Seco (Kg.) | Distribución (% peso seco) |
|-------------------|----------------------|-----------------|----------------------------|
| 25 | < 230 | 6 | 3 |
| | D | 31 | 15 |
| 26 | 60 - 120 | 184 | 60 |
| | 120 - 230 | 61 | 20 |
| | 230 - 325 | 3 | 1 |
| | < 325 | 15 | 5 |
| | D | 45 | 15 |

Apéndice B;

Concentración de Co, Cr, Mn, Ni, Mg y V ($\mu\text{g} / \text{g}$) en las fracciones 10 - 18, 18 - 35, 35 - 60, 60 - 120, 120 - 230, 230 - 325 y < 325 de nueve de los puntos muestreados.

Concentración de Co, Cr, Mn, Ni, Mg y V ($\mu\text{g} / \text{g}$) en las fracciones 10 - 18, 18 - 35, 35 - 60, 60 - 120, 120 - 230, 230 - 325 y < 325 de nueve de los puntos muestreados.

| Punto de muestreo | Fracción | Co | Cr | Mn | Ni | Mg | V |
|-------------------|-----------|----|-----|-----|----|-------|-----|
| 1 | 10 - 18 | 12 | 10 | 376 | 7 | 24211 | 135 |
| | 18 - 35 | 13 | 7 | 453 | 5 | 21872 | 119 |
| | 35 - 60 | 14 | 6 | 508 | 5 | 21817 | 137 |
| | 60 - 120 | 13 | 6 | 456 | 5 | 19434 | 142 |
| | 120 - 230 | 14 | 7 | 405 | 5 | 24471 | 174 |
| | 230 - 325 | 9 | 4 | 265 | 4 | 26401 | 61 |
| | < 325 | 14 | 9 | 387 | 7 | 27927 | 174 |
| 2 | 10 - 18 | 33 | 57 | 500 | 41 | 39722 | 110 |
| | 18 - 35 | 25 | 59 | 439 | 26 | 30919 | 105 |
| | 35 - 60 | 17 | 101 | 449 | 18 | 24820 | 136 |
| | 60 - 120 | 20 | 42 | 536 | 14 | 26750 | 74 |
| | 120 - 230 | 22 | 31 | 391 | 20 | 32589 | 93 |
| | 230 - 325 | 17 | 25 | 355 | 22 | 37885 | 141 |
| | < 325 | 23 | 25 | 504 | 27 | 31487 | 92 |
| 4 | 10 - 18 | 17 | 105 | 372 | 20 | 25312 | 114 |
| | 18 - 35 | 15 | 85 | 300 | 16 | 20440 | 100 |
| | 35 - 60 | 14 | 103 | 255 | 16 | 21831 | 109 |
| | 60 - 120 | 16 | 95 | 257 | 19 | 22178 | 141 |
| | 120 - 230 | 16 | 74 | 260 | 20 | 22229 | 150 |
| | 230 - 325 | 16 | 64 | 270 | 22 | 24921 | 103 |
| | < 325 | 28 | 72 | 374 | 34 | 29286 | 40 |
| 5 | 10 - 18 | 35 | 87 | 745 | 29 | 27774 | 99 |
| | 18 - 35 | 22 | 58 | 462 | 23 | 20070 | 77 |
| | 35 - 60 | 20 | 124 | 451 | 23 | 25093 | 100 |
| | 60 - 120 | 28 | 104 | 452 | 29 | 26767 | 106 |
| | 120 - 230 | 20 | 108 | 372 | 31 | 25218 | 99 |
| | 230 - 325 | 27 | 98 | 385 | 35 | 29490 | 41 |
| | < 325 | 34 | 125 | 610 | 54 | 32711 | 129 |
| 11 | 10 - 18 | 29 | 58 | 427 | 17 | 16267 | 169 |
| | 18 - 35 | 25 | 57 | 217 | 16 | 13149 | 184 |
| | 35 - 60 | 26 | 74 | 139 | 23 | 8142 | 263 |
| | 60 - 120 | 25 | 74 | 153 | 20 | 7982 | 364 |
| | 120 - 230 | 26 | 66 | 186 | 17 | 10795 | 344 |
| | 230 - 325 | 11 | 76 | 164 | 17 | 11235 | 315 |
| | < 325 | 23 | 87 | 519 | 24 | 22670 | 209 |
| 17 | 10 - 18 | 10 | 13 | 343 | 12 | 33398 | 76 |
| | 18 - 35 | 11 | 14 | 344 | 12 | 31481 | 88 |
| | 35 - 60 | 17 | 12 | 362 | 12 | 33376 | 83 |
| | 60 - 120 | 13 | 13 | 363 | 11 | 31008 | 73 |
| | 120 - 230 | 11 | 11 | 270 | 9 | 25885 | 71 |
| | 230 - 325 | 10 | 13 | 285 | 10 | 30086 | 30 |
| | < 325 | 12 | 18 | 419 | 14 | 42027 | 38 |
| 22 | 10 - 18 | 10 | 19 | 286 | 12 | 27355 | 76 |
| | 18 - 35 | 16 | 18 | 348 | 12 | 25691 | 77 |

Concentración de Co, Cr, Mn, Ni, Mg y V ($\mu\text{g} / \text{g}$) en las fracciones 10 - 18, 18 - 35, 35 - 60, 60 - 120, 120 - 230, 230 - 325 y < 325 de nueve de los puntos muestreados.

| Punto de muestreo | Fracción | Co | Cr | Mn | Ni | Mg | V |
|--------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 22 | 35 - 60 | 14 | 18 | 377 | 12 | 25612 | 95 |
| | 60 - 120 | 11 | 19 | 251 | 11 | 26369 | 91 |
| | 120 - 230 | 15 | 23 | 337 | 13 | 24496 | 114 |
| | 230 - 325 | 17 | 19 | 352 | 11 | 26728 | 59 |
| | < 325 | 17 | 25 | 313 | 17 | 33967 | 41 |
| 23 | 10 - 18 | 23 | 27 | 556 | 15 | 25161 | 127 |
| | 18 - 35 | 18 | 25 | 446 | 16 | 25432 | 123 |
| | 35 - 60 | 17 | 29 | 389 | 17 | 25513 | 119 |
| | 60 - 120 | 17 | 39 | 395 | 22 | 30882 | 135 |
| | 120 - 230 | 10 | 22 | 200 | 13 | 19288 | 87 |
| | 230 - 325 | 11 | 27 | 204 | 17 | 26618 | 87 |
| | < 325 | 13 | 45 | 276 | 23 | 38185 | 81 |
| 24 | 10 - 18 | 13 | 10 | 358 | 11 | 34596 | 98 |
| | 18 - 35 | 18 | 8 | 376 | 7 | 29321 | 105 |
| | 35 - 60 | 21 | 115 | 267 | 17 | 22357 | 115 |
| | 60 - 120 | 13 | 6 | 371 | 5 | 22924 | 82 |
| | 120 - 230 | 12 | 6 | 314 | 5 | 22956 | 91 |
| | 230 - 325 | 10 | 8 | 282 | 6 | 19431 | 84 |
| | < 325 | 18 | 20 | 536 | 16 | 38782 | 94 |

Apéndice C:

Condiciones experimentales del ICP – OES

Poder de la Fuente: 100 W

Gas de Plasma: 12 L / min

Gas de Vaina: 0,2 L / min

Gas Auxiliar: 0,2 L / min

Velocidad de la Bomba: 20 rev / Min

Nebulizador: Meinher

Cámara de Nebulización: Ciclónica

Calibración para la determinación de Pt

Línea Pt: 224.552

| Patrón | Intensidad | RSD (%) | Concentración (ppm) |
|--------|------------|---------|---------------------|
| STD_1 | 12687,30 | 1,19 | 0,20 |
| STD_2 | 129741,95 | 1,85 | 2,00 |

Línea Pt: 299.797

| | | | |
|-------|-----------|------|------|
| STD_1 | 10846,17 | 3,40 | 0,20 |
| STD_2 | 109617,26 | 1,11 | 2,00 |