

METODOS DE TRATAMIENTO
E INTERPRETACION DE DATOS
GEOQUIMICOS MULTIELEMENTOS
EN PROSPECCION MINERA

-UN ESTUDIO-

JORGE SPANGENBERG

MONTEVIDEO

1984

T E S I S

presentada a la

FACULTAD DE QUIMICA

DE LA UNIVERSIDAD MAYOR

por

Jorge SPANGENBERG

para obtener el

TITULO DE QUIMICO

—
—

METODOS DE TRATAMIENTO E INTERPRETACION DE DATOS GEOQUIMICOS

MULTIELEMENTOS EN PROSPECCION MINERA

- UN ESTUDIO -

—
—

Patrocinada por la Cátedra de Análisis Instrumental

Marzo 1984

Al presentar este trabajo siento la agradable obligación de expresar mi reconocimiento a todos aquellos que, de una u otra manera, me ayudaron a adquirir y desarrollar mis conocimientos sobre el procesamiento e interpretación de la información geoquímica en prospección minera.

Este estudio se llevó a cabo en la Dirección Nacional de Minería y Geología (DI.NA.MI.GE.), a la cual debo la autorización para la realización del mismo.

Debo comenzar agradeciendo a los profesores de Análisis Instrumental de la Facultad de Química, Ings. Tomás Bense y Rodolfo Tappin por patrocinar y dirigir amigablemente este trabajo de tesis.

Al Ing. Miguel Garau, Director de la División Adquisición y Procesamiento de Geodatos (D.A.P.G.) de la DI.NA.MI.GE., por la gran autonomía para la investigación que me permitió en dicho servicio.

Al Dr. Hubert Zeegers, geoquímico del Département des Gites Minéraux (G.M.X.) del Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.) de Orléans (Francia). Mi estadía en su departamento me fue de gran valor y originó mi dedicación a la geoquímica aplicada.

Al Dr. Claude Roquin (B.R.G.M./G.M.X.) debo un flujo de intercambio de ideas durante su misión en la DI.NA.MI.GE. a principios de 1983. Sus observaciones sobre algunos aspectos

del análisis de datos geoquímicos me resultaron de inestimable provecho.

También agradezco al Ing. Philippe Rolet (B.R.G.M./ Département Informatique) con el cual tuve el honor de efectuar una investigación sobre la aplicación de diferentes técnicas estadísticas multivariantes en prospección geoquímica regional con la colaboración del Ing. Guillermo Gelos. A este último, y los colaboradores de la Sección Informática de la D.A.P.G. les debo su constante apoyo en el dominio computacional.

A la Dra. Pilar Rodríguez (D.A.P.G. - Laboratorios) por la repetición de una veintena de análisis, que permitió concretar un estudio sobre la precisión analítica de las determinaciones multielementos.

Al Ing. Fernando Preciozzi (D.A.P.G. - Geología), quién me acompañó durante un rápido reconocimiento del sector estudiado. Sus amplios conocimientos sobre la geología de la región y las útiles discusiones mantenidas en torno al contexto litológico del área me resultaron de sumo valor.

Debo agradecer también al Ing. Victor Demcylo, profesor de Estadística de la Facultad de Química, con quién mantuve beneficiosas charlas en relación con el análisis de varianza en los cálculos de regresión múltiple.

A la Srta. Marie Thérèse Poithier por haber respondido con suma amabilidad a mis continuas solicitudes de documentación, inexistente en nuestro medio.

Igualmente al Dr. Juan Goñi, quién me brindó diferentes fuentes de información sobre temas relacionados a mi trabajo y alentó constantemente mis planes de investigación.

1

Mi agradecimiento muy especial a mi hermana Emilia,
por la corrección del manuscrito.

A la Sra. Alicia Risso por la competencia y dedicación con que efectuó algunos dibujos de este informe y por su ayuda en la compaginación del mismo.

Finalmente, a mi esposa Delphine, por la presentación dactilográfica del texto, trabajo que emprendió con inigualable eficacia y dinamismo.

R E S U M E N

En el presente trabajo estudiamos diferentes métodos estadísticos y cartográficos empleados para la interpretación de los datos de prospección geoquímica multielemento.

La aplicabilidad de los tratamientos fue evaluada sobre los resultados de un control semitáctico (12 muestras por cada km^2) efectuado sobre una anomalía regional polimetálica.

Las técnicas de cartografía automática originan representaciones de variada expresividad de las concentraciones observadas en las localidades de muestreo y de los resultados de ciertos cálculos estadísticos.

El análisis de tendencia y el método de medias móviles establecen, mediante procedimientos de interpolación global y local respectivamente, superficies geoquímicas cuya estructuración se estudia en función de fenómenos geológicos ya conocidos o desapercibidos hasta el momento.

Los métodos de análisis estadístico, particularmente los multivariantes, permiten sintetizar el gran volumen de datos contenido en la matriz de información geoquímica, facilitando su interpretación.

Examinamos el uso de la log-transformación de los tenores en varios tratamientos estadísticos. La ley de lognormalidad no es de aplicación general, y al trabajar con poblaciones geoquímicas homogéneas las distribuciones de los elementos tienden a regularizarse.

El análisis de correlación, los métodos de clasificación automática y el análisis factorial en la modalidad de componentes principales posibilitan examinar las asociaciones de los elementos en el material muestreado, y son interpretadas en término de los diferentes factores de diferenciación geoquímica activos en el sector estudiado.

El análisis factorial discriminante fue utilizado para establecer un modelo de clasificación de muestras según su origen litológico, a partir de su composición química. Las unidades geoquímicas así obtenidas concuerdan aceptablemente con la cartografía geológica regional. Los espectros geoquímicos de las clases relacionadas a las intrusiones graníticas fueron examinadas con mayor detalle, poniendo en evidencia una neta diferenciación zonal en el granito de Minas.

En base al examen de los resultados de los diferentes procedimientos interpretativos evaluamos los caracteres de la pedogeoquímica del área prospectada y la significación de la anomalía regional.

I N D I C E

INTRODUCCION	1
1. LOS DATOS GEOQUIMICOS MULTIELEMENTOS EN PROSPECCION MINERA	4
1.1. Generalidades	4
1.2. Adquisición de la información geoquímica	10
1.3. Estructura, reducción y generalización de los datos geoquímicos	12
2. METODOS DE PROCESAMIENTO DE DATOS GEOQUIMICOS MULTIELEMENTOS	17
2.1. Técnicas de análisis estadístico descriptivo	17
2.1.1. Recolección y registro de los datos. Generalidades	17
2.1.2. Estudio estadístico de las distribuciones experimentales de los elementos	22
2.1.2.1. Representación gráfica de las distribuciones	22
2.1.2.2. Parámetros de distribución y momentos empíricos	24
2.1.2.3. Ajuste de un modelo a las distribuciones. El uso de transformaciones	28
2.1.2.4. Determinación estadística de los tenores de fondo geoquímico y anomalías geoquímicas	32
2.1.3. Determinación de la relación entre dos variables	35
2.1.4. Análisis estadístico multivariable	40
2.1.4.1. Regresión múltiple	41

2.1.4.2. Análisis factorial	46
2.1.4.3. Métodos de clasificación automática	53
2.1.4.4. Análisis factorial discriminante	57
2.2. Cartografía geoquímica	61
2.2.1. Generalidades	61
2.2.2. Resolución y estabilidad de los mapas geoquímicos	62
2.2.3. Tipos de mapas geoquímicos	65
2.2.3.1. Mapas de imposición puntual	65
2.2.3.2. Mapas de imposición zonal	67
2.2.3.3. Mapas de anomalías geoquímicas	76
2.2.3.4. Mapas multicomponentes	78
3. APLICACION AL ESTUDIO DE LOS RESULTADOS DE UNA PROSPECCION PEDOGEOQUIMICA SEMITACTICA	80
3.1. Presentacion de la información	80
3.1.1. Descripción del área estudiada	80
3.1.2. Muestreo	83
3.1.3. Preparación y análisis químico de las muestras	85
3.1.4. Precisión de la información adquirida	86
3.1.5. Registro de la información. Recursos informáticos	89
3.2. Tratamiento e interpretación de los datos	90
3.2.1. Estudio de la distribución de los elementos	91
3.2.1.1. Pretratamiento estadístico	91
3.2.1.2. Tenores de fondo geoquímico normal y valores críticos	96
3.2.1.3. Influencia de la naturaleza de las muestras	98
3.2.1.4. Análisis de las superficies geoquímicas	98
3.2.2. Estudio de las asociaciones geoquímicas	106
3.2.2.1. Correlaciones interelementos	106
3.2.2.2. Correlaciones de los elementos trazas	

con el hierro y el manganeso	109
3.2.2.3. Asociaciones geoquímicas multielementos	114
3.2.3. Estudio de la litodependencia de la señal geoquímica	129
3.2.3.1. Generalidades	129
3.2.3.2. Elección de los grupos de instrucción y de las variables discriminantes	130
3.2.3.3. Elección del modelo y afectación de las muestras	133
3.2.3.4. Examen de las clases geoquímicas definidas por análisis factorial discriminante	142
3.2.3.5. Estudio de las clases pedogeoquímicas relacionadas con las intrusiones graníticas	151
3.2.4. Interpretación de la anomalía geoquímica	154
4. CONCLUSIONES	166

APENDICE I: Evaluación de la variabilidad analítica en prospección geoquímica

APENDICE II: Resultados analíticos

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

En el pasado, la exploración minera era conducida por geólogos o prospectores, que investigaban los afloramientos, intentando descubrir alguna expresión visual relacionada con la presencia de una mineralización; o analizaban los sedimentos de los drenajes en busca de minerales pesados, resistentes a la alteración supergénica (oro, casiterita, scheelita, etc.) y, por consiguiente, capaces de concentrarse en los aluviones y eluviones.

Sin embargo, la era de la observación directa llegó a su fin una vez que fueron hallados y, en la mayoría de los casos, también explotados, los yacimientos aflorantes más importantes. Surgió entonces la necesidad de desarrollar nuevos métodos de prospección minera que posibilitaran la exploración de mineralizaciones subaflorantes, al igual que no aflorantes o ciegas, cubiertas por una cobertura vegetal o pedológica centimétrica a métrica o, asimismo, por una formación rocosa estéril. Entre estos métodos se encuentran las técnicas fotogeológicas, geofísicas y geoquímicas.

A mediados de la década de 1930, comienzan a aplicarse, primero en la Unión Soviética y luego en Occidente, los principios de la Geoquímica a la exploración minera, empleando el análisis espectrográfico de elementos presentes en los suelos al estado de trazas como un complemento a la simple observación visual.

Con el desarrollo de métodos analíticos rápidos y precisos, tanto colorimétricos como de absorción o emisión atómica, se llega alrededor de 1960 ya a la aplicación en forma rutinaria de los métodos geoquímicos en los programas de evaluación de recursos minerales. Se procedía a analizar sistemáticamente uno o más elementos metálicos en muestras de rocas, sue-

los, aluviones, sedimentos en lecho vivo, material vegetal, agua y mismo vapores de los suelos o de la atmósfera.

El objetivo de la prospección geoquímica es entonces poner en evidencia por vía química analítica una repartición de elementos anómala que revela, a nivel de los materiales superficiales accesibles al muestreo, la presencia de una mineralización de posible interés metalogénico.

La naturaleza y densidad del muestreo depende generalmente del objetivo y de la escala del trabajo, y generará de cientos a miles de muestras según la modalidad del mismo.

El análisis químico de varios elementos trazas, de 5 a 30, da origen a una gran masa de información numérica.

La interpretación del conjunto de los resultados analíticos se tornasumamente difícil con el uso de técnicas convencionales, que sólo permiten un tratamiento individual, ya sea de los elementos o de las muestras. Es así que, el estudio particular de un determinado elemento permite revelar la presencia de muestras o grupos de muestras con tenores excepcionales; mientras que la consideración simultánea de varios elementos lleva tan sólo a retener alguna asociación particular de los mismos a nivel puntual. Ambos procedimientos pueden ser adecuados para delinear los caracteres más acentuados de las series de datos obtenidos. Sin embargo, son incapaces de conducir a una interpretación rigurosa de la información geoquímica global, pues no toman en cuenta al mismo tiempo a la totalidad de los datos químicos en relación con su estructura geográfica.

Sólo la aplicación racional de técnicas estadísticas y cartográficas con la ayuda de un computador, posibilita un tratamiento y una interpretación colectiva y objetiva de la información disponible, en función de los diferentes factores geo-

lógicos -litológicos, pedológicos, metalogénicos, etc.-, responsables de los fenómenos de diferenciación geoquímica, activos en el material muestreado.

En este trabajo evaluamos diferentes métodos de procesamiento de datos geoquímicos multielementos.

Consideraremos, en una primera fase, las técnicas de análisis estadístico empleadas durante la interpretación de los datos recolectados en investigaciones geoquímicas, esencialmente con el propósito de reducirlos a una forma más asequible.

Luego presentaremos diferentes técnicas de cartografía automática que, al establecer la repartición espacial de los datos bajo la forma de mapas, posibilitan el examen de la configuración y naturaleza de la superficie geoquímica.

Concluiremos aplicando algunos de los métodos estadísticos y cartográficos a los datos obtenidos en un estudio pedogeoquímico a escala semitáctica.

1. LOS DATOS GEOQUIMICOS MULTIELEMENTOS

EN PROSPECCION MINERA

1. LOS DATOS GEOQUIMICOS MULTIELEMENTOS EN PROSPECCION MINERA

1.1. Generalidades

Los métodos geoquímicos de exploración minera se basan en la determinación sistemática de uno o varios caracteres químicos en los materiales de la corteza terrestre, susceptibles de ser muestreados. Las propiedades químicas generalmente medidas son las concentraciones de elementos mayores, menores o en trazas, al igual que algún parámetro fisicoquímico como pH y Eh. La naturaleza del material muestreado permite clasificar los estudios geoquímicos en litogeoquímicos -muestras de rocas-, pedogeoquímicos -muestreo de suelos, aluviones y sedimentos-, hidroggeoquímicos -estudio de las aguas naturales-, biogeoquímicos -muestreo de materiales vivos, esencialmente plantas, denominándose en este caso fitogeoquímicos- y atmogeoquímicos -muestras de aire y vapores-.

Los métodos litogeoquímicos son junto a los pedogeoquímicos, que en la Unión Soviética se engloban con los primeramente mencionados, los más empleados en las campañas de prospección minera.

El medio muestreado es función del objetivo y escala de las investigaciones geoquímicas en el sector considerado, dadas las condiciones geológicas, topográficas y climáticas reinantes en el mismo; y varía al pasar de un trabajo de reconocimiento a estudios más detallados.

En un programa de reconocimiento, el objetivo es cubrir un área importante a escala regional, en busca de alguna indicación de la presencia de una mineralización. Esta primera prospección estratégica definirá las localidades anómalas, de interés para la prospección minera de detalle, eliminando en

principio las áreas aparentemente estériles.

Los tipos de muestras más eficientes para el reconocimiento de grandes superficies corresponden a los sedimentos de lecho vivo y los aluviones o coluviones de terraza o de fondo de hondonada. Estos son representativos de cuencas de drenaje más o menos vastas, lo que permite el empleo de una densidad de muestreo baja, generalmente de 1 a 3 especímenes por cada 1km^2 .

La detección de las zonas geoquímicamente anómalas es factible por las diferencias existentes en cuanto a la distribución de algunos elementos en el material muestreado asociado a una mineralización, en comparación con aquellos procedentes de un medio estéril.

La interpretación de los resultados analíticos de aluviones requiere el conocimiento de los factores que rigen la relación de la composición química del material muestreado, con los diferentes tipos de rocas y suelos del área de drenaje de donde ha derivado.

El proceso dinámico conocido como dispersión geoquímica, por medio del cual, los elementos son desplazados dentro de partículas sólidas, sistemas poliatómicos complejos y mismo átomos ionizados a nuevos ambientes geoquímicos; es uno de los temas más tratados en los libros de exploración geoquímica (Rose A.W., Hawkes H.E. y Webb J.S., 1979; Granier C., 1973; Beus A.A. y Grigorian S.V., 1977; Levinson A.A., 1980;...).

Hawkes (1967) divide las dispersiones geoquímicas en primarias, si están ligadas a la formación de ciertas rocas y al emplazamiento de mineralizaciones en profundidad; y en secundarias, si se producen en la superficie por la alteración, erosión, transporte y deposición, modificando la distribución

inicial de los elementos químicos.

La dispersión geoquímica secundaria puede ser el efecto exclusivo de procesos mecánicos, como el desplazamiento de material bajo la acción del viento, agua, glaciares, etc.. La así denominada dispersión mecánica implica generalmente la mezcla de los materiales, a excepción de la separación de las arcillas de la fracción arenosa más gruesa producida en los aluviones; y depende, en esencia, de los caracteres climáticos y topográficos.

Los procesos químicos y bioquímicos son más complejos, y dan lugar a fracciones de diferente composición química, lo que se conoce como diferenciación geoquímica secundaria. Las reacciones de alteración posibilitan, en presencia de conductos (canales-fisuras) y gradientes físicoquímicos adecuados, la liberación de los componentes más solubles del material original. Este fenómeno de dispersión química es regido por las leyes de la termodinámica química. Las variables preponderantes son la temperatura, el pH y Eh, y las actividades de los iones en solución (asumiendo una presión prácticamente constante en los medios superficiales). Para una oro-hidrografía determinada, estos factores controlan la naturaleza y magnitud de los procesos de disgregación y disolución de minerales primarios, con la separación de una fase inmóvil residual y una fase migratriz; las características dinámicas de la composición de ambas fases; la adsorción e intercambio iónico en partículas coloidales; la redeposición de sales e hidróxidos poco solubles; la neoformación de minerales en el ambiente secundario; etc..

La dispersión geoquímica, tanto física como química, da lugar a aureolas o halos de dispersión con tenores anómalos, que favorecen la detección de los yacimientos al abarcar una zona suprayacente significativamente mayor a la de los mismos. El am-

biente secundario será entonces el más importante en exploración geoquímica; y la comprensión cabal de los fenómenos de dispersión activos en él es esencial para la realización eficiente de un estudio geoquímico y particularmente, para la interpretación de los resultados del mismo (Krauskopf K.B., 1967; Erhart H., 1967; Levinson A.A., 1980).

En zonas de contexto geomorfológico complejo y especialmente en presencia de recubrimientos alóctonos importantes, los fenómenos de dispersión distorsionan la relación roca-suelos (sedimentos), y tornan sumamente difícil la interpretación de la señal pedogeoquímica en función de la distribución de unidades litológicas, posibles mineralizaciones,

En suma, la alteración y erosión de las concentraciones minerales y la gran variedad de procesos asociados, posibilitan la detección y selección de anomalías geoquímicas en la fase de reconocimiento estratégico.

En los sectores anómalos, se lleva a cabo un reconocimiento de detalle cuyo propósito es confirmar, en primer lugar, la anomalía estratégica y delinear su forma, extensión y nivel de tenores respecto al fondo medio -contraste o intensidad de la anomalía-, y su posible filiación con una mineralización. Este estudio conocido como prospección táctica intentará localizar al supuesto yacimiento generalmente mediante un muestreo de suelos a malla cerrada.

La toma de suelos se realiza en el área señalada como anómala en la fase de prospección estratégica, según una malla de muestreo regular y un paso de 20 a 200 metros entre muestras en la mayoría de los casos. Esta modalidad de muestreo origina una información más puntual, que resultará más efectiva para localizar la raíz de la anomalía superficial, con la mayor

precisión posible. La interpretación de los resultados de esta etapa asiste al prospector en el establecimiento del programa de exploración en profundidad, por medio de trincheras y perforaciones.

En presencia de mineralizaciones subaflorantes, el muestreo de suelos residuales se adapta muy bien a los requisitos del estudio táctico. La alta dependencia y simplicidad de la información permite inferir la posición de la fuente mineralizada en la roca madre, tomando en consideración el desplazamiento de materia determinado por la topografía local.

Frente a la presencia de un recubrimiento alóctono espeso, el factor de dependencia es menor, pues las mineralizaciones ocultas por una capa de material estéril no dan lugar a un halo de dispersión superyacente tan fácilmente detectable. A pesar de ésto, es posible optimizar la señal geoquímica variando la profundidad de muestreo.

En definitiva, como afirman Rose A.W. et al (1979), si los efectos relacionados a la mineralización son intensos y relativamente locales, su distinción de los procesos normales es simple; por el contrario, si los efectos son débiles y se relacionan a la mineralización de manera compleja, la interpretación de los datos geoquímicos es más complicada. Queda entonces en evidencia, que la interpretación de los resultados es más fácil y directa, cuando se dispone de mayor información sobre el ambiente que rodea la estación de muestreo y especialmente sobre la conexión del material muestreado con el substrato. Por consiguiente, la señal geoquímica es interpretada en función de los fenómenos geológicos (litológicos, pedológicos, metalogénicos, ...) operantes sobre el medio muestreado; y va a permitir revelar caracteres naturales ignorados hasta el momento, completando los conocimientos geológicos sobre el sector en cuestión.

El desarrollo de las técnicas de espectrometría de emisión condujo al establecimiento de los métodos geoquímicos multielementos, en los cuales las muestras son analizadas para 20 a 30 (a veces hasta 50) elementos, tanto al estado de trazas como macrocomponentes. Tal es el caso de la espectrometría de emisión a lectura directa en la cual se implantó la alimentación de las muestras al arco en forma de polvo sobre una cinta para maximizar la eficiencia del análisis geoquímico (Danielson A. et al., 1959; Ataman G. et al., 1963 y 1965; Craft E.R., 1964; Cameron E.M. et al., 1967; Moal J.Y. et al., 1970 y 1979).

Más recientemente se perfeccionó el empleo de plasmas como fuente de excitación, introduciéndose la muestra en solución. La alta temperatura del plasma y la mayor homogeneidad de las soluciones respecto a las muestras sólidas eliminaron parcialmente las desventajas del cuantómetro: inestabilidad del arco de excitación, falta de reproductibilidad en el muestreo del polvo, límites de detección demasiado elevados y baja sensibilidad. Estos métodos, y específicamente la espectrometría de emisión a plasma conductivo, permiten el análisis de más de 20 elementos trazas, y en algunas técnicas es posible dosificar simultáneamente los elementos mayores.

El análisis químico multielemento aumentó considerablemente la información geoquímica a procesar, lo que modificó en forma importante los criterios de la interpretación (Bertraneau J. et al., 1979; Beguinot J. et al., 1979). El estudio de las variaciones de más de un elemento conduce a definir las anomalías geoquímicas ya no en función del tenor del metal prospectado, sino que en término de una asociación de elementos. Es así que el uso de elementos indicadores o asociados a la mineralización, como lo son Mo, Ag, Au, As, Bi, Cd, Ba y otros, facilita la jerarquización de las anomalías detectadas, permitiendo distinguir las de interés metalogénico de las parásitas o falsas, de origen formacional o pedológico.

Generalmente, determinados grupos de elementos responden en forma similar a las condiciones del medio. El efecto de uno o varios fenómenos geológicos sobre un conjunto de muestras del sector estudiado, se manifiesta como una sobreposición más o menos compleja de procesos de diferenciación geoquímica. Las intercorrelaciones entre los diferentes elementos dosificados son examinadas mediante la aplicación de métodos estadísticos multivariantes, y las variaciones del espectro geoquímico de los materiales muestreados reflejan la acción de diferentes factores naturales (litológicos, metalogénicos, ...).

1.2. Adquisición de la información geoquímica

Como vimos en la sección anterior, la información geoquímica multielemento surge de la evaluación cuantitativa de diversos caracteres -tenores de elementos generalmente presentes al estado de trazas-, mediante la acción de un dispositivo de medida sobre el campo de las observaciones (Leymarie P., 1972; Roche H. de la y Grandclaude Ph., 1972). El dispositivo de observación es el procedimiento capaz de obtener el mensaje, que implica la realización de una observación, a partir del objeto en estudio. En prospección geoquímica, ésto supone una serie de operaciones de las cuales destacamos la toma de las muestras y su posterior análisis químico.

En lo concerniente a la significación de los datos, se plantea un problema sumamente importante que es la adaptación del sistema de observación a la estructura del campo de observaciones (Leymarie P., 1969). La operación del muestreo se revela como una de las fases críticas del dispositivo de observación en exploración geoquímica. A la repartición real del o de los elementos considerados en el sector, se confronta la configuración del muestreo, caracterizado por la naturaleza, tamaño, densidad y posicionamiento de los especímenes recolec-

tados y sometidos a análisis. El valor de los resultados va a depender esencialmente de la intercorrelación entre la configuración del muestreo y la configuración de la distribución espacial de los elementos dosificados. Cuanto mejor se conozca la relación dispositivo de observación - estructura del campo de observación, más fácil será la interpretación de los mensajes geoquímicos. Leymarie P. (1969) expone detalladamente la relación entre los datos geoquímicos y el muestreo, en términos de la teoría de la información.

Los componentes informacionales en prospección geoquímica pueden clasificarse respecto a su conexión con el objeto del estudio en (Roche H. de la y Grandclaude Ph., 1972):

- caracteres intrínsecos: que son aquellos directamente determinados sobre el objeto descrito;

- caracteres extrínsecos: que permiten definir las relaciones del objeto considerado con el medio ambiente natural que lo rodea;

- caracteres de conjuntura: que informan sobre el tratamiento al que fue sometido el objeto.

Los caracteres intrínsecos son las variables geoquímicas, es decir los elementos analizados y otros parámetros como el pH y Eh. Generalmente en prospección, los caracteres extrínsecos comprenden la localización de las muestras, en coordenadas geográficas, y otros datos recolectados en la fase de muestreo: tipo de material, referencias sobre el cuadro geológico local, presencia de indicios, etc.. Los caracteres de conjuntura son accesorios y no conforman la señal a interpretar. Sin embargo, poseen una importancia en el desarrollo práctico del procesamiento de los datos, principalmente en las etapas de recolección y registro de los mismos. Abarcan, por ejemplo, el objetivo del estudio, la identificación del prospector y del analista, la fecha de la toma de muestras y del análisis químico, la modalidad del muestreo y la técnica analítica empleada,

Los caracteres intrínsecos, en nuestro caso los datos

geoquímicos propiamente dichos, son interpretados indefectiblemente en conjunción con los caracteres extrínsecos. De esta forma es posible examinar la información disponible en función de su distribución geográfica. La repartición espacial de la señal se manifiesta como un relieve geoquímico, en el que se pueden reconocer los diferentes fenómenos geológicos activos en el sector.

1.3. Estructura, reducción y generalización de los datos geoquímicos

La determinación de la concentración de un elemento da lugar a nivel puntual, a un valor que corresponde en teoría a uno de los infinitos posibles, dado el dispositivo de medida y la incertidumbre implícita en la observación. En efecto, la estimación de los tenores de una muestra de material geológico está sometida a una serie de errores, los cuales afectan las diferentes operaciones que conforman el procedimiento de medida. La variabilidad de la señal geoquímica obtenida de muestras del ambiente secundario (suelos, sedimentos, aluviones, coluviones, etc.) no está sólo subordinada a las fluctuaciones en el medio primario y secundario, o a la sobreposición de ambas; sino que también a variaciones debidas a los errores de muestreo, pretratamiento (secado, molienda, tamizado, cuarteo, ...) y análisis químico (submuestreo, puesta en solución, medida instrumental, ...). Los datos dependen entonces, de los fenómenos geológicos estructurados espacialmente y del propio dispositivo de observación. La identificación y evaluación de las diferentes fuentes de variación es una fase sumamente importante de la interpretación de datos geoquímicos. El conocimiento de los efectos relativos de los diferentes componentes de variabilidad posibilita la separación y estimación del mensaje útil según el objetivo del estudio.

Las variaciones de los tenores se revelan como la su-

ma de variaciones regionales (o zonales) regulares y de variaciones de carácter aleatorio, debidas a fluctuaciones locales, errores de medida, etc.. Los datos geoquímicos presentan dos aspectos complementarios: uno aleatorio, irregular, que dependerá en parte del dispositivo de medida; y otro estructurado, fuertemente ligado a los factores litológicos y metalogénicos. En la práctica, los componentes intrínsecos de la información geoquímica son considerados variables regionalizadas, siguiendo la teoría desarrollada por Matheron G. (1962). Para Matheron G. (1962) una variable regionalizada es una función del espacio, definida en un campo homogéneo (una formación geológica, ...), a partir de un soporte geométrico determinado (muestra a analizar), cuyo valor varía de un punto a otro con una cierta apariencia de continuidad, si bien no siempre es posible representar su variación por una función matemática extrapolable. La continuidad se manifiesta en los datos como una tendencia de la variable a tomar valores tanto más similares en dos puntos de observación contiguos cuanto menor es la distancia entre ellos. Esta idea de continuidad no coincide necesariamente en la práctica con el criterio matemático y hablamos de una continuidad media.

Los fenómenos geológicos y en particular los geoquímicos, son fenómenos regionalizados, pues se despliegan en el espacio con una estructura determinada. Los caracteres que describen estos fenómenos, como los tenores químicos, son por consiguiente variables regionalizadas.

En un estudio geoquímico, la dependencia entre los puntos de muestreo debida a la regionalización o zonalización de la señal geoquímica, va a permitir modular la densidad de muestreo en función de la complejidad del contexto geológico y del objetivo del trabajo. En un reconocimiento regional, la toma de muestras esencialmente independientes logra maximizar la información a un costo mínimo.

Leymarie P. (1969) particiona la información geoquímica areal en estratos, un conjunto de unidades homogéneas. Cada estrato abarca un espacio geométrico determinado, y en él los caracteres medidos siguen un comportamiento regular en el sentido estadístico. Los estratos son entonces unidades estructurales, donde el aspecto unitario se manifiesta en extensión, es decir desde un punto de vista geométrico, y en intensidad, en lo referente a las variables consideradas. El examen de la estratificación de los datos geoquímicos va a posibilitar el establecimiento de unidades geoquímicas diferenciadas, ya sea por fenómenos litológicos o metalogénicos.

El análisis progresivo de la estructura del conjunto de unidades geológicas del sector en estudio, permitirá establecer un plan de muestreo racional, suponiendo a priori una estructuración geoquímica concordante con la geológica. Un ejemplo inmediato lo constituye, en prospecciones de detalle, la realización de perfiles perpendiculares a la dirección general de las estructuras litológicas, más eficientes que los concordantes con la dirección de las mismas.

La generalización en extensión de los datos obtenidos en una campaña de prospección no es siempre posible. La intercorrelación entre las muestras, para una densidad de muestreo dada, va a depender de la extensión espacial de los fenómenos geológicos que tienen lugar en el sector estudiado. En un trabajo a malla regular cerrada se pueden estudiar las variaciones estructuradas por medio de cálculos de interpolación de la información original. Este componente de la señal geoquímica se suele cartografiar en una buena aproximación como una superficie continua o tendencia, representada en la práctica por curvas isotenos. El componente no estructurado será la señal residual conformada por las fluctuaciones locales y el "ruido" introducido por el dispositivo de observación. Este tipo de tra-

tamiento conduce a completar la representación de la información en extensión, de la misma forma que los métodos estadísticos inferenciales lo hacen en intensidad (Leymarie P., 1969).

La interpolación de la información original puntual, de carácter fragmentario, va a depender de la escala del estudio y, en especial, de la malla del muestreo. No importa solamente la distribución espacial de las muestras, sino que también sus propiedades espaciales. La autocorrelación de las muestras de suelos será mucho mayor para un estudio táctico, con especímenes separados por 20 a 100m, que en un estudio estratégico, donde la distancia entre dos estaciones de muestreo adyacentes puede alcanzar algunos kilómetros. En el caso de muestras de sedimentos en lecho vivo e incluso aluviones o coluviones, se necesita tomar en cuenta que el soporte efectivo de los elementos no corresponde al soporte real de los mismos, sino que es representativo de toda el área de la cuenca de drenaje ubicada encima de la estación de muestreo; dependiendo de la topografía, hidrografía y de los procesos pedogenéticos. Los caracteres extrínsecos de estas muestras deben poner de manifiesto las propiedades vectoriales de las variables geoquímicas. Esto permite considerar durante el procesamiento de los datos a los factores dinámicos que van a conducir al origen de la dispersión. Es así que los cálculos de interpolación deberían en teoría tomar en cuenta la dirección y el sentido de la lixiviación. Para el caso de muestras de suelos (provenientes del horizonte C) el problema descrito no es muy serio, y la interpolación se puede llevar a cabo matemáticamente.

A nivel regional, el promedio entre cuencas de drenajes adyacentes da origen a grandes polémicas. La significación de la generalización depende de la complejidad del cuadro geológico y de la escala del trabajo. Digamos que si las muestras involucradas en el cálculo de interpolación conforman un mismo estrato geoquímico, es lícito promediarlas con el propósito de

obtener una imagen de las tendencias regionales de la señal geoquímica.

Durante el tratamiento de los resultados de una prospección estratégica o aún táctica resulta sumamente importante no sólo completar la información sino que simplificarla, para así facilitar su interpretación. La representación fiel de los datos brutos es generalmente la menos sencilla de aprehender. Es así que se condensan algunos de los componentes informacionales, minimizando la redundancia del conjunto inicial de datos. La reducción puede realizarse en extensión, con la cartografía de los tenores que superan un determinado valor; o en intensidad, mediante métodos estadísticos descriptivos.

El descubrimiento de las estructuras geoquímicas es sólo posible mediante un tratamiento estadístico y cartográfico de los caracteres intrínsecos en relación con los componentes extrínsecos; y procediendo por mecanismos de generalización y reducción conducen a una interpretación objetiva y exhaustiva de la información disponible.

2. METODOS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

GEOQUIMICOS MULTIELEMENTOS

2. METODOS DE PROCESAMIENTO DE DATOS GEOQUIMICOS MULTIELEMENTOS

El objetivo del procesamiento de los datos es la determinación de las asociaciones de elementos que describen los fenómenos de diferenciación geoquímica, tanto petrológicos, litológicos, pedológicos, etc., como de naturaleza metalogénica. El reconocimiento del tipo, extensión y forma de las zonas anómalas no es siempre inmediato, especialmente en el caso de cientos o aún miles de muestras analizadas para más de veinte elementos. Sólo la consideración simultánea de todos los componentes informacionales geoquímicos y su estructura espacial, posibilita una interpretación objetiva y precisa del gran volumen de información numérica.

El tratamiento e interpretación de la información geoquímica multielemento requiere entonces, en el marco de un estudio prospectivo, la aplicación de una serie de técnicas de análisis estadístico y representación cartográfica.

En la práctica, el empleo de un computador con un graficador automático asociado, permite tratar al conjunto de los datos numéricos por medio de programas informáticos desarrollados para las operaciones de cálculo estadístico y visualización.

En este capítulo discutiremos las técnicas esenciales de procesamiento, que clasificamos en estadísticas y cartográficas.

2.1. Técnicas de análisis estadístico descriptivo

2.1.1. Recolección y registro de los datos. Generalidades

El continuo desarrollo y perfeccionamiento de las computadoras electrónicas después de la Segunda Guerra Mundial tra-

jo consigo un aumento del uso de la metodología estadística en las ciencias de la Tierra, particularmente en geoquímica y geofísica.

Las observaciones en geología se refieren a variables bien definidas, que pueden ser cuantitativas o cualitativas, y cuya variabilidad es el objeto de estudio. Las variables numéricas cuantitativas o cualitativas numerizadas por medio de una codificación de sus modalidades, son susceptibles de ser procesadas estadísticamente con la asistencia de un computador.

Durante el análisis estadístico de la información originada en un trabajo de reconocimiento geoquímico, se suele hablar de poblaciones geoquímicas y de clases o grupos geoquímicos.

Una población geoquímica es un conjunto general abstracto infinito de valores de la concentración de un elemento químico, que representa la distribución regular, en el sentido estadístico, de dicho elemento en una unidad natural bien definida (formación geológica, litología específica, etc.).

En la realidad, las poblaciones geoquímicas se estudian mediante un número limitado de observaciones, patentizado en las operaciones de toma y análisis químico de muestras de un material superficial determinado. El conjunto de estas observaciones conforman una clase o grupo geoquímico y equivalen al concepto estadístico de muestra.

A cada unidad geoquímica le corresponde entonces una población geoquímica, para el tipo de muestras y elementos considerados, que en la práctica es representado por un grupo geoquímico.

En varios textos se encuentran desarrollos detallados

sobre los métodos de análisis estadístico de datos geológicos; citamos a: Müller R. y Kahn J. (1962); Krumbein W. y Graybill F. (1965); Griffiths J. (1967); Vistelius A. (1967); Koch G. y Link R. (1970,1971); Laffitte P. (1972); Davis J. (1973); Agterberg F. (1974); Guillaume A. (1977), entre otros.

Los métodos estadísticos pueden dividirse en descriptivos e inferenciales o previsionales. Los descriptivos expresan los datos de manera tal de dar una imagen sintética más fácilmente interpretable que los valores originales, recurriendo a parámetros característicos y representaciones gráficas. Las técnicas inferenciales estiman a partir de la muestra, en el sentido estadístico, las propiedades de la población geoquímica de la cual es representativa. Ambos métodos son de gran utilidad cuando van acompañados de la evidencia y experiencia geológica. Empleados en conjunto de manera interactiva permiten al geoquímico poner de manifiesto en la información multielemento caracteres sutiles, pero importantes para la interpretación, no revelados por los datos brutos.

No obstante, la aplicación de la estadística matemática en exploración geoquímica puede ser sometida a fuertes críticas desde un punto de vista teórico estricto. En la práctica no es siempre sencillo realizar inferencias, las cuales implicarían el planteamiento y la justificación de un cierto número de hipótesis estadísticas, que no siempre son cumplidas por los datos geológicos, generalmente muy complejos y heterogéneos. Se obtienen simplemente "indicaciones" y se suele hablar de análisis cuasiestadístico o protoestadístico, considerado una excelente herramienta para la resolución de problemas prácticos (Davis J., 1973; Chapman R.P., 1978). La validez de los resultados de un tratamiento surge de la evaluación crítica de las conclusiones extraídas del mismo y de su significación física.

La etapa inicial del procesamiento de los datos inclu-

ye el registro de los números de muestras y su localización (coordenadas geográficas), la información adquirida en el campo sobre el ambiente de la estación de muestreo (cuadro geológico regional, litofacies locales, oro-hidrografía, naturaleza de los materiales de alteración superficial, tipo de muestras, etc.). En el campo esta información es recolectada de manera tal de facilitar su transferencia a la base de datos (ver por ejemplo a Lenci M. et al, 1972; Goubin N. y Jekhowsky B. de, 1972; Roche H. de la et al, 1972; Garrett R.G., 1974; Chapman R.P., 1975; Garrett R.G. et al, 1980).

Las coordenadas suelen calcularse a partir del mapa de prospección, con el posicionamiento de los puntos de muestreo, mediante un digitalizador. En condiciones óptimas de trabajo, el digitalizador o particularmente el coordinatógrafo funciona en línea con el computador, transfiriendo las coordenadas directamente a la base de datos que contiene la información de campo.

Los datos analíticos obtenidos en el laboratorio son registrados a la salida del instrumento de medida por medio de un miniordenador con un dispositivo de almacenamiento adecuado (cinta o disco magnético). Una vez verificados, corregidos y estandarizados, se realiza su transferencia al archivo de base, que quedará pronto para el análisis de los datos.

El esquema de recolección, codificación y transferencia de datos es esencial para el desarrollo eficiente, preciso y económico del procesamiento de la información en exploración geoquímica.

El archivo informático contiene los datos dispuestos en forma de una gran tabla rectangular, denominada con frecuencia matriz de información espacial. Cada vector línea de esta matriz comprende los valores de los caracteres geoquímicos ob-

servados para cada muestra (roca, suelo, sedimento, ...), y cada columna representa a una variable y es el vector de las concentraciones de un elemento para cada muestra. Así, para un estudio que concierne a n muestras descritas por p indicadores geoquímicos (tenores en elementos, pH, Eh, ...), cada muestra puede representarse por un punto con p coordenadas en el espacio vectorial (campo real) R^p y cada variable por un punto en R^n . La tabla de datos es entonces una matriz $X_{n,p}$ con n generalmente mucho mayor que p , y cada vector que la conforma constituye un punto en R^p o R^n . La forma de la matriz de información geoquímica será:

$$X_{n,p} = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & \dots & X_j & \dots & X_p \\ \begin{matrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_i \\ \vdots \\ e_n \end{matrix} & \left[\begin{matrix} x_{11} & x_{12} \dots & x_{1j} \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} \dots & x_{2j} \dots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} \dots & x_{ij} \dots & x_{ip} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} \dots & x_{nj} \dots & x_{np} \end{matrix} \right] \end{matrix}$$

donde x_{ij} corresponde al valor del tenor en el elemento X_j de la muestra e_i .

Siendo así, los métodos estadísticos van a estudiar la nube de puntos en R^p o R^n , examinando la distancia entre los individuos (muestras) o entre las variables (elementos).

Distinguimos tres tipos de tratamientos estadísticos:

- el examen de la distribución estadística de cada carácter geoquímico (análisis monovariante);
- el estudio de las intercorrelaciones entre las muestras o los elementos tomados de dos en dos (análisis bivariante);
- las técnicas multidimensionales que conciernen simul-

táneamente a la totalidad de los datos y consideran la proximidad entre las muestras o las variables geoquímicas (análisis multidimensional).

2.1.2. Estudio estadístico de las distribuciones experimentales de los elementos

2.1.2.1. Representación gráfica de las distribuciones

La primera etapa en el tratamiento estadístico de una serie de datos geoquímicos es la determinación de las distribuciones estadísticas de los tenores de los elementos analizados. Las distribuciones se obtienen a partir de los datos por su ordenamiento ascendente en clases de una cierta amplitud. Generalmente las clases son del tipo $[a,b)$, donde a y b constituyen los límites de las mismas, que se evalúan en la mayoría de los programas computacionales a partir del intervalo de variación de la variable y un determinado número de clases.

El número de clases es un parámetro de elección delicada. Un número elevado de clases conduce a una partición muy fina con clases de bajo efectivo (menor que 5), y riesgo de que las frecuencias observadas sean aleatorias. Una división en clases demasiado amplias implica evidentemente una pérdida de información importante, debida a una esquematización exagerada de las series consideradas. En teoría, el número de clases debe fijarse en función del efectivo total y de la precisión del dispositivo de observación. Algunos autores mencionan como adecuadas a amplitudes de clases comprendidas entre un cuarto y media desviación estándar del carácter, mientras que otros recomiendan el empleo de 7 a 15 y aún 25 clases (Chayes F., 1954; Shaw D.M., 1964; Miesch A.T., 1967).

Dos fórmulas dan una resolución matemática al problema de partición en clases (Chamussy H. et al, 1974). El número

de clases k_1 de Huntsberger y k_2 de Brooks-Carruthers es calculado así como se indica:

$$k_1 = 1 + 3.3 \log_{10} n$$

$$k_2 \leq 5 \log_{10} n$$

El efectivo n_i de cada clase i dividido por el número total de muestras, n , da lugar a la frecuencia o efectivo relativo f_i de dicha clase.

Los diagramas que permiten representar la distribución de cada elemento pueden ser diferenciales, histogramas, donde a cada intervalo de clase de los tenores le corresponde un rectángulo cuya área es proporcional a la frecuencia de la clase, o sino integrales, como las curvas de frecuencias acumuladas, que representan a la función de repartición de la variable.

La función de repartición es una estimación de la función de densidad de probabilidad de la población geoquímica, y posibilita el ajuste de la distribución experimental a una ley modelo, en particular la ley normal y la ley lognormal (o logaritmonormal).

La distribución normal resulta adecuada en el caso de una distribución de una variable aleatoria determinada por un gran número de factores igualmente efectivos y mutuamente independientes. Estas condiciones difícilmente se satisfacen en la naturaleza, donde en la mayoría de las ocasiones la variabilidad de un carácter es consecuencia del efecto multiplicativo de varios factores. Por lo tanto, las distribuciones con una asimetría positiva son más frecuentes que las regulares. En dicho caso, si al transformar logarítmicamente los datos se obtiene un conjunto de datos distribuidos normalmente, nos referimos a una distribución lognormal.

Sin embargo, los histogramas observados en prospección

geoquímica son generalmente muy complejos, con más de una moda y casi siempre asimétricos. Las distribuciones resultan de la sobreposición de varias poblaciones diferentes, que deberían aislarse para poder ser ajustadas a una ley de distribución teórica.

El examen de los histogramas calculados brinda información sobre la homogeneidad o heterogeneidad de los datos, la ley de referencia que a priori se ajusta mejor a la distribución del elemento, y también es esencial para la definición de los tenores de fondo geoquímico y los valores anómalos. A partir de la función de repartición o curva de frecuencias acumuladas se puede estimar la probabilidad de ocurrencia de un determinado tenor o, lo que es aún más importante, la concentración del elemento cuyo valor es superado por un determinado porcentaje de las observaciones.

2.1.2.2. Parámetros de distribución y momentos empíricos

Para la caracterización numérica de la distribución de una variable se emplea un cierto número de parámetros, entre los cuales distinguimos dos tipos: los parámetros de posición o tendencia central y los parámetros de dispersión.

- Parámetros de tendencia central

Tres características de valor central son muy utilizadas: la moda, la mediana y la media aritmética o geométrica.

Se define a la moda como el valor más frecuente (de mayor efectivo) de la variable, y no es muy empleada ya que se trata de un coeficiente solamente ligado a las frecuencias, y, por consiguiente, poco representativo de la distribución. Este parámetro depende fuertemente de la elección de los límites de las clases del histograma, y sólo presenta cierto interés cuando la frecuencia de la clase modal se destaca notoriamente del

resto de la distribución. En las series de datos geoquímicos se revelan generalmente una moda primaria y varias secundarias, así como diferentes modas de frecuencia casi igual.

La mediana es el valor que particiona a la distribución en dos clases de efectivo igual y corresponde a la frecuencia acumulada de 50%. Este parámetro considera el rango de todas las muestras y no sus tenores, por lo tanto no se ve tan afectado por los valores extremos excepcionales. Constituye una estimatriz del valor central muy útil para algunos tratamientos.

La media aritmética del elemento X_j es:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} ,$$

y la media geométrica se define como:

$$G_j = \left(\prod_{i=1}^n x_{ij} \right)^{1/n} ,$$

siendo éstos los dos parámetros de posición más usuales en exploración geoquímica según la tendencia normal o logaritmormal de la distribución estadística del elemento.

-- Características de dispersión

Los parámetros que miden la dispersión de los datos alrededor del valor central son el intervalo de variación, la desviación media o aritmética y la varianza, que sin duda es la más empleada.

La varianza, o momento centrado de orden 2, viene dada por la expresión:

$$s_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 ,$$

La desviación tipo o desviación estándar definida como la raíz cuadrada positiva de la varianza:

$$s_j = \sqrt{s_j^2},$$

se considera la característica de dispersión más importante, puesto que interviene en numerosos cálculos estadísticos y es un parámetro de varias distribuciones teóricas. En el caso de distribuciones a tendencia lognormal, la dispersión se mide por la desviación geométrica, ϵ_j :

$$\log \epsilon_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\log x_{ij} - \log G_j)^2},$$

En una distribución normal (lognormal) el intervalo $\bar{x}_j \pm s_j (G_j \epsilon_j^{\pm 1})$ contiene 68.3% de las observaciones, $\bar{x}_j \pm 2s_j (G_j \epsilon_j^{\pm 2})$ el 95.4% de los valores y $\bar{x}_j \pm 3s_j (G_j \epsilon_j^{\pm 3})$ el 99.7%. Con frecuencia estos límites son utilizados para la selección de las anomalías geoquímicas. Así por ejemplo, para el elemento X_j el valor crítico que es superado por el 2.5% del total de las muestras viene dado, para una distribución normal (lognormal), por $\bar{x}_j + 2s_j (G_j \epsilon_j^2)$.

También se emplea un coeficiente de dispersión relativo denominado coeficiente de variación, o más apropiadamente desviación estándar relativa, que se calcula dividiendo la desviación estándar por la media aritmética:

$$V_j = \frac{s_j}{\bar{x}_j}.$$

Este coeficiente adimensional es de gran utilidad en la comparación de la dispersión de las series de tenores para elementos diferentes. Para una unidad geoquímica homogénea, el coeficiente de variación es función de la homogeneidad de la repartición del elemento en el material muestreado, de la reproductibilidad del dispositivo de medida y del tipo de dispersión (mecánica o química) predominante del elemento en el sector estudiado.

- Parámetros de forma de una distribución

La forma de la curva de frecuencias simples se examina por medio de coeficientes que cuantifican la asimetría y cur-

tosis.

Las características de disimetría o sesgado más empleadas son el coeficiente γ_1 de Fisher y el β_1 de Pearson, que se estiman a partir de las series geoquímicas por g_1 y b_1 , respectivamente:

$$g_{1j} = \frac{m_{3j}}{s_j^3} ,$$

$$b_{1j} = g_{1j}^2 ,$$

con

$$m_{3j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^3$$

el momento centrado de orden 3. Ambos parámetros son muy sensibles a los valores extremos. Si $g_1 < 0$, la población tiene una media menor que la mediana; y si $g_1 > 0$, la asimetría es hacia los valores elevados y hablamos de una asimetría positiva.

La prueba de curtosis hace uso del coeficiente g_2 de Fisher o b_2 de Pearson, calculados por las fórmulas:

$$g_{2j} = b_{2j} - 3 ,$$

$$b_{2j} = \frac{m_{4j}}{s_j^4}$$

donde m_{4j} es el momento centrado de orden 4 de la variable X_j . Para una distribución normal (mesocúrtica), b_2 toma el valor 3 (g_2 nulo). Si b_2 es mayor que 3 (g_2 positivo), hay un exceso de observaciones alrededor de la media y lejos de ella, en las colas, y la distribución se denomina leptocúrtica. Este tipo de distribuciones es el más corriente en los estudios geoquímicos que implican análisis de elementos trazas. Una distribución experimental de esta forma puede interpretarse como la sobreposi-

ción de dos o más poblaciones geoquímicas normales de tenor medio prácticamente igual, pero de dispersión diferente. Las distribuciones con b_2 menor que 3 (g_2 negativo) tienen más valores entre la media y las colas que la distribución normal, y se conocen como platicúrticas. Es el caso de distribuciones compuestas por más de una población normal de varianza igual, pero diferente media.

En los manuales de estadística se dan los niveles de 5% y 1% de significación de g_1 y g_2 . En la práctica es suficiente comprobar que:

$$\frac{g_1}{\sqrt{6/n}} \leq 3 \quad \text{y} \quad \frac{g_2}{2\sqrt{6/n}} \leq 3$$

para poder afirmar que la asimetría y la curtosis son no significativas.

2.1.2.3. Ajuste de un modelo a las distribuciones. El uso de transformaciones

No vamos a detenernos aquí en la presentación de las diferentes distribuciones teóricas para variables continuas, ni en los distintos tests que examinan críticamente las diferencias entre la distribución observada y una ley modelo.

En geoquímica, las distribuciones de referencia más usadas son la normal y la lognormal o de Galton.

Los histogramas de las concentraciones de los elementos revelan en general distribuciones leptocúrticas sesgadas positivamente. Esto condujo a que Ahrens L.H. (1954a, 1954b, 1957) propusiera la ley de lognormalidad como una ley fundamental en geoquímica. Esta generalización dio lugar a una serie de publicaciones que evalúan la significación de la ley lognormal, tanto desde un punto de vista físico como teórico (Chayes F., 1954; Du-

rovic S., 1959; Vistelius A.B., 1960; Shaw D.M., 1961; y otros). Si bien la forma de las distribuciones observadas para la mayoría de los elementos menores y trazas es aproximadamente la de una distribución logaritmonormal, ningún modelo teórico puede ser aplicado en forma universal. En consecuencia, la ley de distribución de referencia adecuada será particular de cada estudio.

Los parámetros estadísticos clásicos (media aritmética o geométrica, desviación estándar o geométrica) son entonces tan sólo estimaciones pobres de la distribución experimental. Esto conduce a desviaciones en los momentos, covarianzas, coeficientes de correlación y demás estadísticos empleados, lo que lleva en casos extremos a importantes errores de interpretación (Chapman R.P., 1976 a,b; Miesch A.T., 1977; Christie D.R.J., 1980).

Una forma de proceder sería ajustar una expresión analítica a la curva de repartición observada, lo que no requerirá del uso de los parámetros estadísticos estándares. Sin embargo, es más fácil investigar la distribución de una función de las concentraciones del elemento en lugar de los valores directos. La función se selecciona de manera tal que su curva de densidad de probabilidad se aproxime a la gaussiana. La transformación aplicada a los tenores de un elemento depende en general de la naturaleza del mismo y del proceso geoquímico investigado.

Es así que, previo a los tratamientos estadísticos (análisis de varianza, cálculos de correlación y regresión, análisis factorial, etc.) se emplea la transformación logarítmica simple:

$$y_{ij} = \log x_{ij} \quad ;$$

o para una distribución lognormal generalizada, funciones del tipo:

$$y_{ij} = \log \frac{x_{ij}}{1 - x_{ij}} \quad \text{o} \quad y_{ij} = \log \frac{x_{ij} - x_{j\min}}{x_{\max} - x_{ij}}$$

(Borovko N.N., 1964); o sino:

$$y_{ij} = \log \left(\frac{x_{ij} - L}{T - x_{ij}} + C \right) ,$$

eligiendo los parámetros T, L y C en forma tal de minimizar la distancia existente entre la función de repartición de Y_j y la función de densidad de probabilidad de una distribución normal de igual media y varianza que Y_j (Pelet R. et al, 1979).

Oertel A.C. (1969) también utilizó las distribuciones gama y beta, aplicables a datos con sesgado tanto positivo como negativo; empero ambas son de escaso uso en geoquímica (Christie D.H.J., 1980).

Govett G.J.S. (1974) mostró la dificultad de ajustar un conjunto de datos geoquímicos simples a una distribución modelo, empleando la transformación logarítmica y raíz cuadrada, que permite reducir y estabilizar la varianza de una variable distribuida según una ley de Poisson. Esto no resulta sorprendente, pues en exploración geoquímica los fenómenos activos sobre el material muestreado son tan variados y complejos, que las distribuciones observadas son mixtas, asimétricas, leptocúrticas y con frecuencia plurimodales.

Las distribuciones geoquímicas están compuestas por varias poblaciones agregadas, que representan factores naturales bien definidos, fenómenos litológicos, petrográficos, pedogenéticos, metalogénicos, etc.. La distribución de frecuencias de los datos no puede entonces disociarse de su distribución espacial. Previo al tratamiento estadístico de la totalidad de la información, es conveniente realizar una partición de los datos según unidades o estratos geoquímicos homogéneos. Para ello se hace uso de los caracteres extrínsecos que codifican el cuadro geológico local de cada estación de muestreo, al igual que la naturaleza del material muestreado.

Al definir de esta manera poblaciones geoquímicamente homogéneas, en base al tipo de litología, carácter de la muestra y filiación de la misma con cuerpos mineralizados, se encuentra que sus distribuciones son más bien normales que lognormales (Govett G.J.S. et al, 1975; Chapman R.P., 1977,1978). El empleo indiscriminado de la transformación logarítmica conduce entonces a parámetros estadísticos aberrantes, que distorsionan los resultados de la mayoría de los tratamientos basados en ellos (Chapman R.P., 1976a,1976b,1977).

El inconveniente mayor de la transformación logarítmica es que puede llevar a errores de interpretación al resaltar las poblaciones geoquímicas de fondo y tender a suprimir las anomalías. Esto fusiona aún más ambos tipos de poblaciones, complicando la forma de la distribución y tornando más difícil la identificación de las anomalías geoquímicas.

No obstante, se han obtenido buenos resultados suponiendo un comportamiento lognormal de las series de datos originadas en estudios de prospección. Junto a la simplicidad de la función logarítmica, esto explica que sea la transformación mejor adaptada al tratamiento de datos geoquímicos (Tennant C.B. et al, 1959; Sinclair A.J., 1974; Miesch A.T., 1977).

Desde un punto de vista teórico, los métodos estadísticos no paramétricos parecen muy útiles, dada la naturaleza de las distribuciones geoquímicas. Dichos métodos, menos potentes que los paramétricos, son de implementación más ardua y su aplicación en estudios de exploración geoquímica regional no ha resultado rentable (Chapman R.P., 1977,1978).

Finalmente diremos que los tests de bondad de ajuste más empleados son el test de chi-cuadrado, el test no paramétrico de Kolmogorov-Smirnov y el test de anamorfosis de Henry. En

este último se realiza una transformación gráfica de la función de repartición de la distribución utilizando papel gausso-aritmético o gausso-logarítmico. Las frecuencias acumuladas se representan en ordenadas según una escala gaussiana y en abscisas se disponen los tenores en una escala aritmética, logarítmica, o potencial. Si las concentraciones del elemento siguen la ley de distribución supuesta, su función de repartición se anamorfosa en una línea. Esta representación gráfica posibilita la evaluación de los parámetros de la distribución.

2.1.2.4. Determinación estadística de los tenores de fondo geoquímico y anomalías geoquímicas

El objetivo y función de la prospección geoquímica son el reconocimiento de zonas anómalas, o anomalías geoquímicas, relacionadas con una mineralización. Esto implica el conocimiento previo de los tenores de fondo normales de los elementos estudiados en la unidad geoquímica.

El tenor de fondo corresponde a la concentración normal del elemento en el material geológico superficial estudiado, no asociado a un cuerpo mineralizado. Este valor varía con el material primario y el medio secundario.

La distribución de un determinado elemento en el material de alteración superficial, dentro de un medio litológicamente uniforme, va a depender de las fluctuaciones en la composición de la roca madre, cambios en los fenómenos pedogenéticos, acumulaciones locales de materia orgánica, de óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso, y de la varianza propia del dispositivo de observación. Esto conduce a definir, en lugar de un valor único, a un intervalo de tenores de fondo normales.

Como guía resultan útiles las tablas de composición quí-

mica media de los diferentes tipos de rocas (Turekian K.K. et al, 1961; Rankama K. y Sahama Th.G., 1962; Masson B., 1966; Pedro G., et al, 1970; Rose A.W. et al, 1979).

En algunos textos se dan los intervalos de concentraciones y los extremos observados en suelos normales (Mitchell R.L., 1955; Rose A.W. et al, 1979).

Una vez establecidos los valores de fondo en un medio determinado, es posible reconocer las muestras anómalas cuyos tenores difieren significativamente de los normales. El valor crítico, por encima del cual las observaciones son consideradas anómalas, es en el caso más simple el límite superior de las fluctuaciones del tenor de fondo. Desde un punto de vista estadístico implica definir el límite crítico L_j del elemento X_j , para una serie de efectivo elevado ($n > 30$) como:

$$L_j = \bar{x}_j + 2s_j \quad \text{-distribución de tendencia normal-}$$

o
$$L_j = G_j \varepsilon_j^2 \quad \text{-distribución de tendencia lognormal-}$$

que ocasiona en distribuciones simétricas la retención de un 2.5% del total de muestras (Hawkes H.E. y Webb J.S., 1962). Cuando la distribución empírica es irregular, se recomienda la exclusión de los valores aberrantes antes de proceder al cálculo de los estadísticos.

En la práctica esto carece de significado, pues las distribuciones experimentales son complejas y surgen de una mezcla de varias poblaciones geoquímicas de tendencia normal o lognormal, representativas tanto de procesos geológicos normales como anormales.

Tennant C.B. y White M.L. (1959) fueron los primeros en valerse de papel gaussio-aritmético y gaussio-logarítmico en pros-

pección geoquímica, señalando que las inflexiones en las curvas indican la presencia de poblaciones de fondo y poblaciones afectadas por la dispersión geoquímica de una mineralización. Los conceptos de tenor de fondo y de anomalía geoquímica corresponden entonces a distribuciones estadísticas particulares, existiendo una serie de valores normales y una de valores anómalos, cuyas distribuciones se solapan en la curva global observada.

Lepeltier C. (1969) optimiza los parámetros de la anamorfosis de Henry (intervalos de clases, efectivo por clase, sentido de acumulación de la frecuencia) de forma tal de minimizar la distorsión de la curva debida a la imprecisión del dispositivo de medida. Dicho autor define el tenor de fondo para un conjunto homogéneo de muestras como la media geométrica de los resultados analíticos, y toma como límite crítico para la distinción de las anomalías al valor convencional de L_j . Ambas características pueden estimarse directamente en base a la representación gráfica.

Otros autores proponen un método gráfico simple para la identificación de las poblaciones geoquímicas dentro de distribuciones experimentales plurimodales (Bölviken B., 1971; Sinclair A.J., 1974; McCammon R.B., 1976). De esta manera, los parámetros geoquímicos pasan a definirse para la distribución de fondo, y ya no a partir de la distribución global. Aquí no es necesaria la eliminación de las observaciones excepcionales, difícil de llevar a cabo objetivamente. Sin embargo, este método es penoso de poner en práctica con distribuciones conteniendo más de dos poblaciones confundidas, y no permite identificar cuales muestras constituyen la población normal y cuales la población anómala.

Cuanto más poblaciones configuran la distribución empírica, tanto más compleja se torna la selección objetiva de los

tenores de fondo y de los límites críticos. En la práctica, el método más empleado es la selección de varios niveles críticos, ya sea en base a los parámetros de la distribución (media más un cierto número de veces la desviación estándar), o a partir de las inflexiones del diagrama de Henry. Los valores obtenidos son ajustados mediante el trazado de mapas de anomalías geoquímicas. Una vez optimizados los límites críticos tomando en cuenta las evidencias geológicas, los mapas resultantes revelarán agrupaciones de muestras anómalas de buena coherencia espacial y anomalías puntuales. La jerarquización y selección de las anomalías para la continuación de los trabajos de exploración minera surge indefectiblemente del examen simultáneo de los mapas de anomalías de todos los elementos prospectados y de los elementos indicadores del tipo de litología o de determinadas mineralizaciones, y de consideraciones lito- y pedogeoquímicas, metalogénicas, etc.. Algunas anomalías puntuales se revelarán como fluctuaciones erráticas locales de la señal geoquímica, carentes de filiación con un cuerpo mineralizado.

2.1.3. Determinación de la relación entre dos variables

El análisis de la variación simultánea de las variables geoquímicas se lleva a cabo por medio de representaciones gráficas y cálculos de coeficientes, que miden la intensidad de la dependencia entre ambas.

- Coeficiente de correlación lineal

El coeficiente de correlación lineal de Bravais-Pearson, $r(X_j, X_k)$, mide la dependencia entre los elementos, es decir, la dispersión de las cuplas de valores x_{ij}, x_{ik} en el espacio a dos dimensiones.

El cálculo de r se hace directamente partiendo de los valores de las distribuciones, o a partir de la covarianza y las desviaciones estándares:

$$r(X_j, X_k) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k)}{[\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \sum_{i=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_k)^2]^{1/2}} = \frac{\text{cov}(X_j, X_k)}{s_j s_k}$$

Este coeficiente varía entre -1 y +1, valores que adopta cuando la intercorrelación entre las variables es perfectamente lineal. Cuando r es positivo se habla de una correlación lineal directa y los dos elementos covarían en el mismo sentido; y cuando r es negativo la correlación es inversa. Un r igual a cero manifiesta que no existe una dependencia lineal entre ambos elementos, si bien puede existir otro tipo de dependencia. Entre los valores límites -1 y +1 (relación funcional lineal) y 0 (independencia en lo referente a linealidad) este coeficiente puede tomar infinitos valores cuya interpretación requiere sumo cuidado.

- Diagramas de repartición binarios

La representación de las muestras en una gráfica cartesiana, donde las coordenadas son las concentraciones de las variables en cuestión, permite el examen de la interdependencia de los dos elementos. Este diagrama binario equivale a realizar una proyección de la nube de puntos en el espacio R^D sobre el plano definido por ambas variables. La distribución de las muestras en dicho plano puede ser al azar y las variables son independientes, o pueden repartirse formando una elipse más o menos alargada, que indica la existencia de una cierta correlación entre las dos variables estudiadas. En el caso extremo de un segmento rectilíneo, la dependencia funcional es lineal y es posible obtener una expresión analítica para esta relación, ajustando la ecuación de una recta a la nube de puntos por el método de los mínimos cuadrados.

A veces se efectúa una partición en clases para los dos elementos y la representación gráfica toma la forma de un

histograma a dos dimensiones.

Con frecuencia, el diagrama binario o histograma a dos dimensiones pone en evidencia la heterogeneidad de la distribución de los tenores, lo que se manifiesta como agrupaciones de muestras más o menos solapantes, de diferente comportamiento geoquímico respecto a los dos elementos considerados.

El examen de las representaciones gráficas es de gran ayuda en la evaluación de los coeficientes de correlación lineal. Un coeficiente r débil puede ocultar una fuerte dependencia no lineal. Por consiguiente, un r bajo no debe ser interpretado como una ausencia de relación entre los dos elementos. El trazado del diagrama binario revela la naturaleza de la intercorrelación (lineal, cuadrática, exponencial, ...).

El coeficiente de correlación es más significativo cuanto mayor sea el número de observaciones empleadas para su cálculo. En los manuales de estadística se indica la forma de calcular el intervalo de confianza de este coeficiente y el test de significación del mismo. Isnard P. et al (1972) proporcionan un nomograma que permite determinar el intervalo de confianza del coeficiente de correlación directamente a partir del valor encontrado para r y el número de muestras.

La validez de los coeficientes de correlación en los estudios geoquímicos es muy discutida. Los resultados composicionales expresados en porcentaje constituyen un arreglo de variables cerrado. Este es el caso de la dosificación de elementos mayores y menores, cuyas intercorrelaciones son desviadas negativamente, dando lugar a una dependencia de origen estrictamente formal (Chayes F., 1960,1964; Vistelius A.B. et al, 1961). Zorodrov E. (1964) sostiene que el efecto de clausura también afecta a las concentraciones de los elementos trazas, expresadas en partes por millón (ppm). No obstante, el efecto de clausura so-

bre la covarianza entre estos elementos es despreciable, ya que su contribución a la varianza global del arreglo total de variables geoquímicas es insignificante.

La correlación también puede ser producto de la inhomogeneidad de la distribución. En efecto, la presencia de muestras fuertemente anómalas es capaz de determinar una correlación aberrante entre los dos elementos. La eliminación objetiva de estos valores espúreos y/o su transformación logarítmica permiten minimizar el efecto de tamaño, conduciendo a valores de r representativos de la población geoquímica estudiada. Chapman R.P. (1976a, 1976b) destaca este problema, presentando ejemplos tipos extraídos de diferentes campañas de reconocimiento geoquímico en New Brunswick.

Sin embargo, el uso de la transformación logarítmica realiza las asociaciones a nivel de los fondos normales de los elementos, suprimiendo las que son representativas de mineralizaciones. La realización del cálculo de r a partir de los tenores transformados logarítmicamente o directamente en base a los valores brutos dependerá, en primer lugar, de las características del diagrama binario y del objetivo del estudio de las relaciones entre las variables. A pesar de esto, es una práctica general calcular primero en forma masiva los coeficientes de correlación, lo que resulta sumamente simple dadas las facilidades computacionales actuales, y luego examinar algunas relaciones a priori interesantes mediante el trazado de diagramas de repartición. Este procedimiento, si bien es más rápido y económico que el inverso, puede originar coeficientes de correlación carentes de significación, que perturban los tratamientos multivariados posteriores y conducen a errores de interpretación.

Los coeficientes de correlación no paramétricos, ta-

les como los coeficientes de correlación de rango de Kendall y de Spearman, han demostrado ser muy útiles, originando resultados más coherentes que el coeficiente de correlación lineal de Pearson (Chapman R.P., 1976b).

También pueden observarse correlaciones por dependencia común con un factor externo determinado o asimismo, una tercera variable. En prospección geoquímica este tipo de relaciones se da entre elementos trazas covariantes frente a un determinado proceso geológico. Cabe citar, como ejemplo, la dependencia común que muestran ciertos metales, particularmente cobalto, níquel y zinc entre otros, frente a la variabilidad de la concentración de hierro y manganeso en los suelos y sedimentos. Esto se debe a que los fenómenos de adsorción y coprecipitación en los hidróxidos y óxidos hidratados de hierro y manganeso alteran la dispersión secundaria de los metales mencionados, dando origen a intercorrelaciones parásitas entre ellos. El cálculo de los coeficientes de correlación parcial pone en evidencia este tipo de asociaciones (Vistelius A.B. et al, 1967; Chapman R.P., 1976b).

Los coeficientes de correlación lineal elevados no se deben entonces, necesariamente a relaciones causales entre los elementos geoquímicos, y su interpretación requiere ser acompañada del trazado de diagramas binarios.

En los estudios geoquímicos multielementos, los coeficientes de correlación suelen presentarse en una tabla de dos entradas de dimensiones $p \times p$, denominada matriz de correlación. Un primer análisis visual de esta matriz puede llevarse a cabo sustituyendo los valores de los coeficientes de correlación por diferentes figuras según la magnitud de los mismos (Isnard P. y Mallet J.L., 1972; Levinson A.A., 1980).

Como ejemplos típicos de estudios de correlaciones en

geoquímica debemos citar la caracterización de la génesis de determinada formación geológica y la localización espacial de las muestras relativa al cuerpo mineralizado (Michard G. et al, 1969); el examen de la relación de las concentraciones en las series suelos-rocas (Blot A. et al, 1973) y plantas-suelos (Timperley M.H., 1970) y un análisis de su aplicabilidad en prospección minera (Zeegers H., 1977).

2.1.4. Análisis estadístico multivariable

Las técnicas estadísticas multivariadas toman en cuenta simultáneamente a varias variables, posibilitando una mejor aproximación a la realidad compleja de los fenómenos geoquímicos. El objetivo esencial de este tipo de tratamientos es reducir el gran volumen de datos numéricos contenido en la matriz de información espacial a una forma más sintética y simple de interpretar.

Una extensa variedad de métodos de análisis descriptivo multidimensional es potencialmente aplicable para la interpretación de los datos geoquímicos multielementos. En esta sección sólo presentaremos los caracteres generales de los métodos, haciendo hincapié en el aspecto práctico de los procedimientos más utilizados, y en la aplicabilidad de los mismos en prospección geoquímica. Para una discusión completa remitimos a la bibliografía.

Trataremos esencialmente cuatro técnicas fundamentales del análisis multivariable:

- la regresión múltiple, que busca relaciones explicativas entre muchas variables;
- el análisis factorial, cuyo objetivo es dar una imagen simplificada de la información disponible;
- los métodos de clasificación de muestras o variables según un criterio de distancia definido; y

- el análisis discriminante, que pone en evidencia, en base a caracteres explicativos cuantitativos, el criterio de clasificación cualitativo de un modelo impuesto.

2.1.4.1. Regresión múltiple

La regresión múltiple es una extensión del modelo de regresión simple, que concierne a una superficie en lugar de una recta de regresión. Esta técnica permite explicar la variabilidad de una variable geoquímica, Y, denominada variable explicada, según un modelo lineal en función de q variables, X_j ($j = 1$ a q), conocidas como variables explicativas o regresores.

- Aspectos generales

A cada valor observado, y_i , de Y ($i = 1$ a n) corresponde un valor estimado, y_i^* , dado por:

$$y_i^* = b_0 + b_1 x_{i1} + b_2 x_{i2} + \dots + b_q x_{iq} ,$$

donde los b_j son los coeficientes de regresión a determinar de la misma forma que en regresión simple.

Cada estimación está afectada de un error e_i :

$$y_i - y_i^* = e_i \quad i = 1 \text{ a } n$$

donde los e_i son aleatorios e independientes, de media cero y varianza igual.

El hiperplano de R^q se ajusta a la nube de puntos en R^q por el método de los mínimos cuadrados. En la práctica se trabaja con los datos normalizados o estandarizados mediante el centrado y reducción de los mismos:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j}$$

Para el caso de varios predictores, la normalización de los tenores minimiza los errores de redondeo introducidos sobre todo

a nivel de la inversión de la matriz $X^T X$. Los coeficientes de regresión estandarizados, B_j , se obtienen de:

$$B = (Z^T Z)^{-1} Z^T Y ,$$

deduciéndose los coeficientes b_j por la transformación:

$$b_j = B_j \frac{s_Y}{s_j} \quad j = 1 \text{ a } q ,$$

y

$$b_0 = \bar{y} - \sum b_j x_j$$

La apreciación de la calidad del ajuste se puede realizar de diferentes formas.

El coeficiente de correlación múltiple, R , mide la similitud entre la variable explicada y su estimación lineal. Este parámetro describe entonces las concomitancias de variación entre un elemento dado y una serie de caracteres geoquímicos representativos de un determinado factor de diferenciación:

$$R = \frac{\text{cov}(Y, Y^*)}{s_Y s_{Y^*}}$$

El cuadrado de este coeficiente, R^2 , conocido como coeficiente de determinación múltiple, indica la fracción de la varianza de Y explicada por la regresión. Un valor de R^2 elevado (0.90 a 1.0) señala que el modelo es adecuado.

Los coeficientes de correlación parcial traducen el sentido de la intensidad de la relación lineal entre dos variables, manteniendo constantes a las demás. Resultan muy útiles en el análisis de la dependencia entre variables geoquímicas, donde puede ser sumamente interesante aislar dos elementos y hacer variar sus tenores, despreciando la influencia del resto. La correlación entre Y y X_1 , a X_2 constante, se calcula por:

$$r_{YX_1 \cdot X_2} = \frac{r_{YX_1} - r_{YX_2} r_{X_1 X_2}}{[(1 - r_{YX_2}^2)(1 - r_{X_1 X_2}^2)]^{1/2}}$$

La significación de estos coeficientes puede evaluarse a partir de los valores críticos de la tabla de Bravais-Pearson para $n-q-1$ grados de libertad y un riesgo determinado. En forma análoga se puede examinar a los coeficientes de regresión en base al estadístico t de Student.

En los cálculos de regresión es deseable que la desviación estándar residual, s_E , sea baja. Esta característica de dispersión va a permitir determinar el intervalo de confianza alrededor de Y^* . Generalmente los límites críticos para la definición de las anomalías geoquímicas residuales se eligen a un cierto número de veces s_E .

El test de Fisher-Snédecor de validez de la regresión se lleva a cabo vía un análisis de las varianzas explicada y residual. Esta etapa requiere la hipótesis suplementaria de normalidad de la distribución de los residuos e_i . Consideramos que la regresión es significativa, si el F calculado:

$$F = \frac{n-q-1}{q} \frac{R^2}{1-R^2}$$

es superior al valor crítico para q y $n-q-1$ grados de libertad y el nivel de confianza elegido.

- Aplicaciones

En la práctica hay diferentes formas de proceder para la obtención de un modelo lineal adecuado. Un método experimental bastante empleado lo hace por eliminación descendente de variables, y es denominado análisis de regresión regresivo ("backward regression"). En él se van excluyendo del modelo de regresión inicial, con las q variables explicativas disponibles, aquellos regresores que no son significativos. Con esta finalidad se calcula para cada carácter explicativo el F parcial:

$$F_i = \frac{b_i^2}{\text{var}(b_i)}$$

y el mínimo encontrado, F_L , se compara con el valor crítico; si no es significativo, se elimina esa variable y se reefectúa el cálculo con las $q-1$ restantes. Así se procede hasta llegar a un modelo donde todas las variables son significativas.

El método inverso, conocido como regresión progresiva ("forward regression"), comienza con una sola variable explicativa, la de máximo coeficiente de correlación parcial; y luego se continúa en orden decreciente de correlación parcial. La significación del regresor que entra al modelo en cada etapa es examinada por el test F parcial, y el proceso se interrumpe cuando la variable introducida no es significativa.

El procedimiento de regresión paso a paso ("stepwise regression") es el más efectivo, puesto que admite a las variables predictoras en forma ascendente según su coeficiente de correlación parcial con Y, y examina a cada paso los F_i de todos los regresores. Si el F_i más pequeño es significativo, se continúa introduciendo a la próxima variable explicativa; pero si no lo es, se elimina dicha variable, recalculando la ecuación de regresión y entra la siguiente variable más correlacionada. De esta forma se puede eliminar del modelo a una variable entrada en una etapa anterior, que por su dependencia con el resto de los regresores ha dejado de ser significativa. En cada paso la mejor variable aún no presente en el modelo se analiza según el test F parcial de entrada. Si lo pasa, entra al modelo y se examinan todos los F_i de los regresores. El proceso se interrumpe cuando las variables del modelo son todas significativas y la próxima a entrar no es capaz de mantenerse dentro de él. Los niveles de significación de admisión y exclusión de una variable son de elección delicada. Generalmente se toma un nivel de 95% para la entrada y salida; o si se desea proteger a las variables ya presentes en el modelo, resulta adecuado elegir un α de entrada de 0.025 (0.05) y de 0.05 (0.10) para el α de salida.

Estos métodos de regresión múltiple son utilizados en

geoquímica conjuntamente con la matriz de intercorrelaciones para estudiar la dependencia de los elementos trazas respecto a los macrocomponentes, la materia orgánica, óxidos de hierro y manganeso, algún carácter geoquímico fundamental como el pH, o asimismo otros elementos trazas. Ambas técnicas conforman al análisis de correlación, y asisten al geólogo en la aprehensión de las relaciones complejas y estructuras espaciales de la información geoquímica.

En prospección geoquímica se suele aplicar a las técnicas de regresión en la etapa de selección de anomalías. Mediante un tratamiento de este tipo es posible diferenciar los tenores anómalos del metal de base prospectado, relacionados a la presencia de una mineralización, de los valores elevados parásitos, originados por fenómenos de diferenciación geoquímica tanto litológicos como pedogenéticos. Los tenores residuales se obtienen por diferencia de los valores estimados a partir de las variables geoquímicas, que describen al ambiente normal del sector, y los tenores medidos (Rose A.W. et al, 1970; Chatupa J. et al, 1972; Austria V., 1976; Zeegers H., 1977). Estos valores residuales van a representar la concentración del metal no asociada a las variaciones del fondo geoquímico y, por consiguiente, significativa desde un punto de vista metalogénico.

Chapman R.P. (1976b) recomienda el estudio de los diagramas binarios previo a la realización de un cálculo de regresión, puesto que la presencia de muestras anómalas desvía a la ecuación de regresión, distorsionando la corrección del fondo geoquímico de los tenores.

Antes de finalizar con la discusión de este tipo de tratamientos creemos conveniente mencionar que cuando el determinante de la matriz $Z^T Z$ es muy pequeño, debido a que una o más de sus columnas son casi linealmente dependientes, los coeficientes de regresión se tornan muy inestables. Estas matrices, lla-

matrices mal condicionadas ("ill-conditioned"), son frecuentes en prospección geoquímica multielemento. En efecto, varios elementos trazas fuertemente relacionados suelen tomarse como regresores de determinados metales de base. Tal es el caso de la regresión de los tenores de cobre en función de los elementos del grupo del hierro: Fe, Mg, Cr, Ni, V, Co, ..., característicos de los minerales ferromagnesianos. Una forma de proceder, posiblemente más adecuada que la técnica paso a paso, es la regresión con coacción ("ridge regression") (Hoerl A.E. et al, 1970). Los coeficientes de regresión se obtienen resolviendo:

$$B(\theta) = (Z^T Z + \theta I)^{-1} Z^T Y$$

donde θ es un número positivo, generalmente comprendido entre 0 y 1. Si $\theta=0$, la ecuación coincide con la descrita para la técnica convencional. El valor óptimo de θ estabiliza al sistema, dándole las características de un sistema ortogonal, y minimiza la suma de las varianzas de los coeficientes de regresión. Hoerl A. E. et al (1970) ofrecen un criterio de selección del valor de θ ; y en la bibliografía se presentan fórmulas matemáticas, para la estimación del mejor θ en función de los coeficientes de regresión y varianzas residuales obtenidos en un cálculo simple ($\theta=0$).

Un desarrollo exhaustivo de los diferentes procedimientos de regresión múltiple, y de sus aspectos teóricos se encuentra en las obras de Draper N.R. y Smith H. (1981) y Graybill F.H. (1976).

2.1.4.2. Análisis factorial

Este método tiene como finalidad la descripción sintética de vastas tablas de datos complejos, redundantes y difícilmente interpretables. Las matrices de correlación son en algunas ocasiones de grandes dimensiones, y no pueden analizarse directamente. Una forma de resumirlas es mediante la creación de nuevas variables, menos numerosas que el conjunto inicial, cuyas fluc-

tuaciones van a describir lo esencial de la variación de los caracteres originales. En prospección geoquímica multielemento existen generalmente una serie de correlaciones, que reflejan el efecto de determinados fenómenos geoquímicos o simplemente la covariación con un carácter pedogeoquímico directriz (pH, contenido en minerales pelíticos, en óxidos de hierro y manganeso, proporción de materia orgánica, ...). El objetivo del análisis factorial es reducir la complejidad del conjunto de datos interdependientes contenidos en la matriz de información geoquímica inicial por medio de un número inferior de variables que combinan a aquellos elementos fuertemente correlacionados.

Existe una vasta bibliografía sobre la teoría y aplicaciones de este método estadístico multidimensional. Aquí citamos los dos artículos introductorios de Cattell R.B. (1965) y el texto fundamental de Harman H. (1976).

El análisis factorial fue introducido en psicología por Spearman C. en 1904, y recién en 1962, Imbrie J. et al lo aplicaron por primera vez en geología. Desde ese momento, este método multivariable ha sido utilizado para la resolución de una gran variedad de problemas concernientes a bioestratigrafía, sedimentología, petrografía y mineralogía, litogeoquímica (McCammon R.B., 1966; Klován J.E., 1966; Miesch A.T., 1969; Saxena S.K. et al, 1970; Herbosch A., 1974; entre otros), y particularmente prospección geoquímica (Nichol I. et al, 1966, 1967, 1969; Garrett R.G. et al, 1969, 1980; Saager R. y Esselaar P.A., 1969; Dahlberg E.C., 1969; Armour-Brown R. et al, 1970; Chapman R.P., 1978; ...).

El análisis factorial multidimensional puede llevarse a cabo en modo R, si el objetivo es el examen de las intercorrelaciones entre las variables en el espacio R^n de los individuos; o en modo Q, que corresponde al estudio de las afinidades entre las muestras en el espacio R^p de los caracteres. Desde un punto de vista geométrico, el análisis factorial consiste en proyectar

la nube de puntos de un espacio a grandes dimensiones a un espacio ortonormal de dimensiones menores, con una pérdida de información mínima y controlada. Esto implica la determinación de los ejes de inercia principales de la nube de puntos; es decir, los ejes del hiperelipsoide en el espacio R^p (modo Q) o R^n (modo R), que se denominan ejes factoriales.

- Análisis en componentes principales (modo R)

Aquí presentaremos sólo una técnica particular del análisis factorial, conocida como análisis en componentes principales, cuya modalidad R es empleada con frecuencia para la descripción de la matriz de varianza-covarianza o de correlación en estudios geoquímicos multielementos. Varias discusiones detalladas de la teoría de este método se encuentran en la bibliografía (Klovan J.E., 1975; Lebart L. et al, 1977; Lefebvre J., 1980).

Dada la matriz de información, $X_{n,p}$, el problema del análisis en componentes principales (ACP) es determinar las m combinaciones lineales de las p variables geoquímicas, con m mucho menor que p , que describen a las muestras con una pérdida de información mínima. Estas combinaciones lineales, llamadas factores o componentes principales, no se definen directamente de la tabla de datos brutos, sino que a partir de la matriz de dispersión o de intercorrelaciones de dimensiones $p \times p$.

Generalmente se estandarizan previamente a los datos, para evitar el efecto de tamaño y heterogeneidad de las unidades de medida de los diferentes caracteres (ppm para los elementos menores y trazas, % para los macrocomponentes, ...), que pueden distorsionar los resultados del tratamiento. Asimismo, cada variable posee el mismo peso en el cálculo, independientemente de su dispersión. La matriz a analizar es entonces la matriz de correlación, que contiene toda la información relativa a la dependencia entre los elementos analizados. Los factores que van a resumir mejor la tabla original de datos son los vectores propios

U_1, U_2, \dots , de la matriz de correlación. Los valores propios correspondientes, $\lambda_1, \lambda_2, \dots$, divididos por la traza de la matriz (inercia total de la nube de puntos), dan el porcentaje de varianza explicada por cada uno de ellos. La extracción de los vectores propios equivale a diagonalizar la matriz de correlación, y los valores propios se obtienen en orden decreciente. El procedimiento puede continuarse hasta explicar el total de la varianza, originándose p componentes principales en el caso de variables sin dependencia funcional (todos los valores propios no nulos). En la práctica se suele elegir de antemano un número determinado de componentes principales, en base a las asociaciones observadas en la matriz de correlación y al conocimiento previo de los fenómenos geológicos preponderantes en el sector estudiado. Otros criterios para la interrupción del cálculo de los vectores propios es la extracción de un factor que represente menos del 5 ó 6% de la inercia total o un valor propio asociado menor que 1. El ACP reemplaza entonces los p caracteres geoquímicos iniciales por un número inferior, m , de variables hipotéticas, que son combinaciones lineales de las originales; y corresponden a los m primeros ejes principales de la nube hiperelipsoidal de las muestras en el espacio R^p . Estos componentes principales no están correlacionados y son de varianza máxima en importancia decreciente.

La matriz de los vectores propios, U , multiplicada por la raíz cuadrada de los respectivos valores propios da lugar a las saturaciones o coeficientes de ponderación de las variables originales. La saturación de la variable i en el factor k se determina por:

$$a_{ik} = U_{ik} \sqrt{\lambda_k}$$

Los a_{ik} varían entre +1 y -1, que son los casos extremos de correlación directa e inversa con los factores, y 0 corresponde al caso de independencia. La suma de los cuadrados de las saturaciones para una variable determinada se conoce como comunalidad, y mide la proporción de su varianza explicada por el modelo factorial:

$$h_j^2 = a_{1j}^2 + a_{2j}^2 + \dots + a_{mj}^2 \quad j = 1 \text{ a } p$$

El valor h_j^2 manifiesta entonces el peso de la variable dentro del análisis. La diferencia $1-h_j^2$ estima la varianza del carácter X_j no explicada por el resto de las variables geoquímicas consideradas.

La tabla de las coordenadas factoriales de las muestras se obtiene por multiplicación de la matriz de los datos estandarizados, Z, por la matriz de las saturaciones, A. Las coordenadas de las muestras sobre los ejes factoriales permiten estudiar la significación de los factores, y dan la posición de las muestras en el nuevo espacio R^m .

- Interpretación de los resultados

Para la interpretación de los resultados del análisis factorial se examina la correlación de las variables geoquímicas con cada factor. Generalmente se representan los puntos de las variables en el plano de los ejes factoriales tomados de dos en dos, y se acompaña de la representación de las muestras. Los puntos próximos del origen señalan que las variables o muestras no están correlacionadas con los factores. La distancia entre dos puntos-variables en estas representaciones mide la dependencia entre ellas, la cual será más fuerte cuanto más alejados estén del origen. Dos puntos-individuos próximos señalan que ambas muestras poseen un comportamiento similar respecto a las variables estudiadas. Es así, que del estudio de las representaciones factoriales se pueden revelar diferentes asociaciones de caracteres y subgrupos homogéneos de muestras.

En el examen de la tabla de saturaciones se consideran las comunialidades; y el comportamiento de las diferentes variables geoquímicas se compara estudiando las correspondientes líneas de la matriz de saturaciones. Los componentes principales son interpretados entonces en base a las correlaciones con los

caracteres originales y a las coordenadas factoriales de muestras típicas o de los baricentros de grupos homogéneos de muestras, lo que se efectúa a partir de los resultados numéricos del programa de cálculo y de las representaciones gráficas de los mismos.

Con el fin de facilitar la interpretación de los componentes principales, los programas de ACP rotan a los ejes factoriales según un criterio predeterminado. De esta manera, se intenta obtener una estructura simple, en la cual los factores sólo presentan unas pocas variables con saturaciones elevadas, y el resto con saturaciones próximas a cero. La aproximación más empleada es la conocida como varimax, en la cual se rota rígidamente a los componentes principales en forma tal de maximizar la varianza de la tabla de saturaciones. Las saturaciones tienden a tomar valores próximos a $+1$ ó -1 y 0 . Otros criterios de rotación (biquartimin, oblimax, maxplane, promax, ...) conducen a sistemas de ejes factoriales oblicuos, levantando la restricción de ortogonalidad de los factores. Estos procedimientos son más realísticos, puesto que toman en consideración que los procesos geológicos o geoquímicos descritos por los diferentes factores rara vez actúan en forma independiente en la naturaleza. Un desarrollo completo de los distintos métodos de rotación a una estructura factorial simple se encuentra en Harman H.H. (1976).

En prospección geoquímica multielemento, el análisis en componentes principales en modo R se emplea para estudiar las asociaciones de los elementos trazas en el material geológico muestreado. Las asociaciones de elementos, que manifiestan los factores, representan a determinados facies litológicos y mismo mineralizaciones, y a los fenómenos superficiales de dispersión geoquímica. La simplificación considerable de los datos permite inferir más fácilmente los factores causales de su variabilidad. Así por ejemplo, el uso del análisis factorial asociado a la representación cartográfica de las coordenadas factoriales es de gran ayuda en la interpretación de la distribución de metales a-

sociados a una mineralización y a un determinado tipo de litología. El ACP es capaz de diferenciar, por medio de asociaciones de elementos particulares, los tenores anómalos directamente relacionados al cuerpo mineralizado de las anomalías formacionales.

En algunos casos es preciso estudiar las variaciones de un elemento determinado que no son explicadas por el modelo factorial. Por consiguiente, se examina la variabilidad residual de dicho elemento en busca de alguna estructura particular, capaz de indicar la presencia de una mineralización. Los tenores residuales pueden calcularse en base a una regresión factorial. Se obtienen así los tenores explicados por el factor representativo de la asociación geoquímica normal, a partir del correspondiente valor propio y de los vectores propios de $Z^T Z$ y ZZ^T . La diferencia entre dichos valores y los tenores observados da a los tenores residuales. De esta forma, se separa al fondo geoquímico, precisado por las asociaciones de elementos en determinados factores, de las fluctuaciones locales de los tenores. Estas concentraciones residuales permiten poner en evidencia las anomalías geoquímicas de interés metalogénico.

Otra técnica de análisis factorial empleada en geoquímica es el análisis de correspondencias, que utiliza la métrica de chi-dos para definir la distancia entre las muestras o elementos estudiados. Esta distancia respeta al principio de equivalencia distribucional; es decir, que si dos o más variables son proporcionales pueden reemplazarse por una sola, suma de las originales, sin afectar la distancia entre ellas. La interpretación de los resultados del análisis de correspondencias se ve facilitado, puesto que este método da las coordenadas de las variables y de las muestras sobre los mismos ejes factoriales (Benzecri J.P., 1973).

El análisis de correspondencias es utilizado sobre todo para el análisis de tablas de contingencia, como las origina-

das a partir de los datos semicuantitativos obtenidos en prospección aluvionar (Roquin C., 1976). Como ejemplos de aplicación en geoquímica podemos citar el trabajo de Cazes P. (1970) en hidrogeoquímica y el de Roquin C. (1978) en pedogeoquímica.

Generalmente la cartografía de los factores en análisis factorial permite apreciar el arreglo espacial y zonación de las nuevas variables. Este método multidimensional describe, de manera sintética, la estructura de la componente química de la información geoquímica. Durante la interpretación hay que considerar en forma cuidadosa que la inclusión de una variable con demasiado peso en el análisis o la presencia de muestras espúreas, fuertemente anómalas en algún elemento, pueden conducir a una mala representación del conjunto total de datos. Otra crítica realizada a esta técnica estadística es que no toma en consideración la autocorrelación espacial de las muestras. Esto significa, que desprecia la característica de regionalización de los datos geoquímicos, y, por consiguiente, no es una técnica óptima para describir la estructuración de la información.

2.1.4.3. Métodos de clasificación automática

Una vez que la información geoquímica ha sido examinada por los métodos de análisis de datos anteriormente descritos, puede ser muy útil llevar a cabo una agregación de las variables y también de los individuos que presentan una cierta semejanza. Se busca estudiar la tabla original de datos por reducción de los caracteres o muestras a un número inferior de clases homogéneas. Las agregaciones no se obtienen por inspección de las representaciones gráficas de los resultados del análisis factorial, sino que a partir de una clasificación automática objetiva, basada en un formalismo determinado.

La clasificación puede llevarse a cabo en modo R, donde las unidades a clasificar son las p variables geoquímicas va-

lorizadas para las n muestras; o en modo Q , clasificando a los n especímenes descritos por los p caracteres.

En prospección geoquímica, los métodos de clasificación automática en modo Q son aplicados para la identificación de subgrupos de muestras homogéneos, representativos de determinadas poblaciones geoquímicas. El objetivo de este tipo de tratamiento es intentar obtener agrupaciones de muestras, que correspondan a las poblaciones de fondo geoquímico normal de las diferentes unidades petrológicas o litológicas; y conjuntos de muestras asociados a las ocurrencias minerales del sector estudiado. Las técnicas en modo R se emplean esencialmente como un procedimiento de descripción de la matriz de correlaciones o similitudes entre los elementos analizados.

Podemos dividir los métodos de clasificación en dos tipos:

- métodos no jerárquicos, que particionan a las unidades en un número determinado de clases, según un criterio de distancia definido; y

- métodos jerárquicos, que al realizar una partición sucesiva en clases cada vez más vastas, conducen a un escalograma o árbol de clasificación.

- Métodos de clasificación no jerárquicos

Los métodos de clasificación no jerárquicos corresponden, en términos de la teoría de conjuntos, a la partición de un conjunto de puntos de un espacio vectorial en k clases de equivalencia, de acuerdo con una métrica definida. La mayoría de las técnicas proceden por maximización de la varianza interclases o, lo que es equivalente, por minimización de la varianza intraclases, de una división inicial en un número de clases fijado a priori. Como ejemplos de estos métodos de análisis de datos presentamos aquí brevemente al procedimiento de centros móviles de Forgy E.W. (1965) y una generalización del mismo, conocida como el mé-

todo de nubes dinámicas ("nuées dynamiques"), desarrollado por Diday E. (1971,1972) en Francia.

El algoritmo de centros móviles o centros variables comienza agrupando las unidades a clasificar alrededor de k centros arbitrarios según el criterio de máxima proximidad. Es decir, que las muestras se van a asociar al centro más cercano, conforme con la métrica elegida. Luego se calculan los centros de gravedad de las clases así obtenidas y se lleva a cabo una segunda partición en torno a los mismos. Se determinan los baricentros de las nuevas clases, y se agregan los individuos alrededor de ellos hasta que dos iteraciones consecutivas conduzcan a la misma clasificación o verifiquen un criterio de convergencia definido; v. gr.: que la varianza intraclases no decrezca sensiblemente.

Los inconvenientes de este método son varios. La partición obtenida depende del número de clases y de la elección inicial de los centros de las mismas. También existe la posibilidad de extraer clases vacías. Únicamente se puede afirmar, que la clasificación resultante es la mejor para la partición inicial dada, si bien puede diferir en forma importante de la óptima.

El método de nubes dinámicas define a las clases ya no por un centro, sino, que por un núcleo formado por individuos, más representativos de la clase que un simple centro de gravedad. Los individuos se agregan alrededor de los k núcleos, y a la partición obtenida se le asocian nuevos núcleos definidos por q puntos de cada clase, y se procede como en la técnica anterior hasta convergencia de la clasificación. Como la división resultante depende de la elección inicial de los núcleos, se realizan varios tirajes al azar de los mismos y se comparan las diferentes particiones finales. Los individuos que siempre se encuentran juntos en todas las particiones definen las llamadas formas fuertes, agrupaciones estables y homogéneas dentro del con-

junto total de individuos. La clasificación es ahora únicamente función del número de clases, k . En la práctica se suelen ensayar diferentes valores de k ; y se conserva la partición que mejor describe a la estructura de la nube de puntos, según su interpretabilidad en términos geológicos, litológicos, metalogénicos, etc..

- Métodos de clasificación jerárquicos

Los métodos de clasificación jerárquicos se basan en las similitudes entre las variables (modo R) o los individuos (modo Q), dando una representación sintética de sus correlaciones. Estas técnicas comienzan por calcular la matriz de coeficientes de semejanza entre las unidades a clasificar, conocidas en taxinomia como OTU'S ("Operational Taxinomic Units"). Los OTU'S más fuertemente correlacionados van a formar los núcleos iniciales, a los cuales se asocian las unidades aisladas y, asimismo, otros grupos de OTU'S, llamados taxones; siguiendo un criterio de proximidad bien definido.

Existen diferentes algoritmos de agregación de los OTU'S y taxones, y su descripción detallada se encuentra en la bibliografía (Cormack R.M., 1971; Isnard P. y Mallet J.L., 1972).

Cuando todas las unidades han sido aglomeradas, el resultado de la clasificación se representa gráficamente bajo la forma de un dendrograma, mostrando las asociaciones sucesivas de OTU'S y taxones a medida que decrece el coeficiente de similitud. En estos diagramas los OTU'S se representan en abscisas a paso constante, y las ordenadas indican el coeficiente de similitud, dando una imagen plana de las intercorrelaciones multidimensionales entre las variables o las muestras. El procedimiento de cálculo de las similitudes entre los "clusters" (OTU'S o taxones) distorsiona al dendrograma; y los valores leídos en él son conocidos como correlaciones cofenéticas, que generalmente difieren de las correlaciones iniciales entre las unidades a

clasificar. Se suelen llevar a cabo varias clasificaciones según diferentes criterios de agregación, comparándose los resultados obtenidos. Si los dendrogramas resultantes son muy diferentes, el conjunto de variables o individuos se dice difícilmente clasificable. Esto no significa necesariamente la ausencia de agrupaciones, puesto que también influyen la presencia de datos aberrantes o relaciones externas parásitas.

La gran desventaja de las técnicas de clasificación jerárquica es que los programas computacionales requieren el almacenamiento en memoria de los $n(n-1)/2$ coeficientes de similitud entre los n OTU'S, limitando seriamente las dimensiones de los estudios en modo Q.

Los tratamientos de clasificación automática son de gran interés en geoquímica para la agregación de los elementos analizados o las muestras descritas por ellos, según sus mutuas afinidades. Como ejemplos de aplicación en prospección geoquímica multielemento podemos citar los trabajos de Obial R.C. (1970) y Hesp W.R. et al (1972), entre otros.

2.1.4.4. Análisis factorial discriminante

Esta técnica de análisis de datos multidimensionales tiene como objetivo clasificar las muestras explicadas por una serie de caracteres geoquímicos en ciertas clases establecidas de antemano. Se trata de un problema de repartición de individuos no afectados en clases ya identificadas, y no de clasificación automática, presentada en la sección precedente.

Si consideramos a la clasificación inicial como un carácter cualitativo, cuyas modalidades corresponden a las k clases diferentes (estructuras geográficas, litofacies, unidades metalogénicas, ...); el análisis discriminante revela la relación entre dicho carácter cualitativo a explicar y un conjunto

de caracteres cuantitativos explicativos.

El análisis factorial discriminante busca nuevas variables, de la forma de combinaciones lineales ortogonales de los caracteres iniciales, cuyos valores sean lo más próximos posibles para las muestras pertenecientes a una misma clase, y lo más disímiles posibles para los especímenes de clases diferentes. Es así, que se van a extraer nuevos ejes de coordenadas en un subespacio de dimensión igual al número de clases menos uno, $k-1$. Las combinaciones lineales mencionadas se denominan funciones discriminantes; y son operadores de proyección de la nube de puntos en R^p al espacio factorial R^{k-1} .

Las funciones discriminantes se obtienen a partir de los vectores propios de la matriz $T^{-1}E$, donde T^{-1} es la inversa de la matriz de covarianza global y E es la matriz de covarianza entre las clases. Los correspondientes valores propios son una medida del poder discriminante de las funciones lineales. Los coeficientes de las funciones discriminantes dan cuenta de la importancia de las variables en la discriminación de los grupos preestablecidos. Un coeficiente elevado revela, que dicho carácter presenta una baja dispersión de sus valores dentro de las clases, pero varía fuertemente al pasar de una clase a otra. La interpretación de los factores discriminantes se lleva a cabo en forma análoga a la de los componentes principales, estudiando las correlaciones de los caracteres con las funciones discriminantes y realizando representaciones gráficas de las variables y de las muestras en los diferentes planos factoriales.

En prospección geoquímica, el análisis discriminante suele aplicarse sobre un conjunto de muestras representativas de las distintas poblaciones, definidas según un criterio litológico, metalogénico, etc.. Sobre dicho grupo, conocido como conjunto de instrucción ("training set"), se determinan las funciones discriminantes. Generalmente el porcentaje de especímenes

bien clasificados es superior al 70%. Algunos autores emplean otro conjunto de muestras, conjunto test, de las cuales también se conoce la clasificación por anticipado, para establecer la probabilidad de correcta clasificación (Howarth R.J., 1971, 1973). Una vez consideradas aceptables las funciones discriminantes, éstas son utilizadas para la afectación de muestras de origen incierto, ahora sí, sólo a partir de su espectro geoquímico.

El análisis factorial discriminante ha sido usado en exploración geoquímica para el análisis de los datos resultantes de estudios tanto litogeoquímicos (Govett G.J.S., 1972 y 1974; Pantazis Th.M. y Govett G.J.S., 1973; Henry B. y Roquin C., 1977; ...) como pedogeoquímicos (Howarth R.J., 1971 y 1973; Chapman R.P., 1978; entre otros).

Nosotros hemos aplicado este método factorial para la interpretación de los datos de una campaña de prospección pedogeoquímica estratégica. Elegimos los grupos de instrucción a partir de la representación de las muestras en los planos factoriales de un análisis en componentes principales; obteniendo, luego de la afectación, cinco unidades geoquímicas homogéneas, que fueron examinadas en función de las unidades litológicas del sector estudiado (Gelós G., Rolet Ph. y Spangenberg J., 1981).

Govett G.J.S. (1972) y Pantazis Th.M. et al (1973) introdujeron el término de funciones determinativas, que son relaciones simples entre los caracteres geoquímicos, determinadas gráficamente a partir de diagramas binarios entre variables o relaciones de las variables originales. Las funciones determinativas van a maximizar la separación entre las poblaciones de muestras de fondo y las anomalías en término de dos elementos o dos relaciones simples entre elementos, p. ej.: Cu/Ni, Pb/Zn, (Cu+Mo)/Ni, ...

Recientemente Botbol J.M. et al (1977) desarrollaron

un método cuyo objetivo es similar al del análisis discriminante, y se lo conoce por análisis de características. Las ventajas de esta técnica son varias: prescinde de toda suposición estadística sobre las distribuciones de los datos; considera la estructura espacial de la información disponible; y no requiere grupos de instrucción ni grupos test bien definidos para las poblaciones de fondo geoquímico normal y las asociadas a mineralizaciones interesantes. Cada componente informacional (análisis de elementos, medidas geofísicas, observaciones geológicas, ...) se somete a una codificación binaria, en la cual 1 corresponde a una muestra o unidad areal favorable para el objetivo del estudio, es decir, anómala, y 0 a las restantes. De esta forma, se diferencian las anomalías positivas o negativas respecto a las determinaciones inmediatamente adyacentes. El procedimiento se calibra con áreas con ocurrencias minerales conocidas, y se seleccionan los caracteres significativos y los coeficientes de ponderación para cada uno de ellos. Una variante perfeccionada de este método emplea una codificación ternaria (-1,0,-1), permitiendo la distinción de los valores desfavorables de los de interés indeterminado (Botbol J.M. et al, 1978). Cuando el modelo ha sido formulado, es posible evaluar el interés metalogénico de áreas desconocidas en base a la semejanza al mismo.

El análisis de características, que puede calibrarse con áreas tipo de diferentes provincias metalogénicas, al igual, que con áreas hipotéticas, pone de manifiesto las tendencias actuales de las investigaciones en exploración minera, y particularmente en exploración geoquímica. En efecto, la mayoría de los trabajos en esta línea de investigación buscan establecer un procedimiento para la determinación del potencial metalogénico de un sector, por medio del reconocimiento de determinados rasgos geológicos, geoquímicos y geofísicos distintivos de mineralizaciones modelo.

2.2. Cartografía geoquímica

2.2.1. Generalidades

Hemos visto como las técnicas estadísticas tradicionales y las de análisis global de datos multidimensionales posibilitan una descripción de la información geoquímica, poniendo en evidencia las relaciones, similitudes o desemejanzas entre los caracteres y entre las muestras. En estos tratamientos sólo son considerados los componentes informacionales intrínsecos, haciendo caso omiso a la estructuración espacial de los datos geoquímicos. Durante esta fase del procesamiento de los datos no se toma en cuenta la repartición geográfica de los mismos, ni su autocorrelación, despreciando el carácter regionalizado de las propiedades medidas.

La representación de los datos geoquímicos bajo la forma de mapas permite confrontar la información intrínseca disponible con la extrínseca (cuadro geológico y pedológico del sector), completando así la imagen aprehendida durante la descripción puramente estadística de los mismos. El objetivo de estos documentos gráficos es el examen de la variabilidad de la información esencialmente química, en relación con la organización espacial de su soporte geométrico; es decir, la distribución areal de las muestras en el sector estudiado. Es así, que diferentes representaciones cartográficas van a acompañar a los tratamientos estadísticos durante la interpretación de los datos geoquímicos de una campaña de prospección.

La cartografía de una variable intensiva, que se dispone bajo forma dialéctica, v. gr: verbal o numérica, implica su traducción a una forma gráfica, figuras puntuales, lineales o zonales (Leymarie P., 1969). Este proceso de traducción depende del tipo de documento a obtener: un documento sinóptico, generalmente poco expresivo pero conteniendo el máximo de información; o un documento expresivo, que destaca aquellas caracte-

rísticas o formas portadoras de información útil al objetivo del estudio, con cierta pérdida de información. La realización de un documento gráfico exige entonces, en la mayoría de los casos, una reducción de la información original para permitir así su representación en una imagen simple, susceptible de una aprehensión rápida y capaz de cumplir con el objetivo predeterminado.

Creemos necesario resaltar que los datos geoquímicos son cuantitativos, puesto que surgen de la medida de las concentraciones de los elementos químicos en un determinado material geológico; y, por consiguiente, sólo pueden ser reproducidos gráficamente, en forma fiel, por una variación continua del tamaño de una figura. Las otras variables gráficas dan únicamente una noción de orden, grano y valor, o simplemente una indicación cualitativa, color, orientación y forma. En prospección geoquímica se suele representar a los datos mediante una componente visual menos potente que el tamaño de las figuras, requiriéndose entonces la realización de una codificación, en la cual determinados intervalos del carácter se corresponden con las diferentes modalidades de la variable gráfica. Esto conduce indefectiblemente a una pérdida de información, que se minimiza al optimizar la partición de los intervalos de variación de los tenores en clases de equivalencia. Generalmente se cartografían los elementos, mediante figuras de gris variable (de muy claro a negro), figuras de diferente forma, flechas de distinta orientación, etc..

Un examen detallado de la aplicación de los principios de la semiología gráfica de Bertin J. (1967) en geología y geoquímica se encuentra en la tesis de Leymarie P. (1969), y más esquemáticamente en la de Roquin C. (1979).

2.2.2. Resolución y estabilidad de los mapas geoquímicos

Antes de comenzar con la presentación de las diferentes modalidades de cartografía geoquímica, es necesario destacar

dos propiedades independientes de los mapas geoquímicos: la resolución y la estabilidad (Miesch A.T., 1976).

La constitución de un mapa geoquímico se lleva a cabo representando la variabilidad de los tenores geoquímicos por medio de contornos, sombreado variable, figuras de diferente tamaño y ocasionalmente algún otro recurso gráfico. Los valores graficados pueden corresponder a una única determinación analítica sobre una muestra individual, o sino, al promedio de un cierto número de determinaciones sobre especímenes tomados en una misma localidad de muestreo. Se entiende por localidad a una parte restringida del total de la población muestreada, que es de mayor tamaño que la muestra, y puede definirse como un punto en una malla de muestreo, una celda dentro de la malla, un afloramiento, una cuenca de drenaje, etc..

La resolución de un mapa geoquímico viene definida por el espaciamiento entre las localidades de muestreo. Cuando las localidades se encuentran muy próximas, es posible describir bien las variaciones rápidas de la superficie geoquímica. Estos mapas locales son de alta resolución, y resultan de estudios de detalle, en los cuales interesa delinear y evaluar las anomalías geoquímicas de la manera más precisa. Al aumentar la distancia entre los puntos de muestreo, las fluctuaciones a pequeña escala pasan desapercibidas, y la resolución del mapa geoquímico es pobre. Tal es el caso de la cartografía geoquímica regional.

La variabilidad entre los valores medios de las localidades de muestreo y los intervalos de confianza de los mismos determinan la estabilidad de los mapas geoquímicos. Cuando la variabilidad de las medias de las localidades es superior a los intervalos de confianza alrededor de las mismas, decimos que la estabilidad del mapa geoquímico es elevada. Por el contrario, si la varianza interlocalidades es pequeña en comparación con

la varianza intralocalidades, el mapa geoquímico es poco estable, es decir, muy sensible a la incorporación de nuevas observaciones.

Cuando se realiza el muestreo según un plan jerárquico, con tomas de muestras en unidades cada vez más pequeñas (anidadas en niveles sucesivos), es posible promediar los resultados a un nivel determinado del diseño. Se pierde resolución al promediar sobre las unidades mayores, dando lugar a un mapa de máxima estabilidad. Es preferible obtener mapas geoquímicos precisos, si bien menos detallados.

Generalmente la resolución de los mapas geoquímicos viene dada por el objetivo del estudio, y particularmente por la escala del mismo. La estabilidad o reproductibilidad de dichos mapas va a depender de la componente de error de la señal geoquímica. La identificación de la variabilidad debida a los errores de muestreo y análisis químico, denominados globalmente errores de manipulación por Shaw D.M. (1961), es una de las tareas iniciales de todo procesamiento de datos geoquímicos. La relación de la variabilidad aleatoria local con la variabilidad geoquímica útil es una medida de la estabilidad de los mapas geoquímicos. En la práctica, la magnitud de los errores de manipulación se estima por medio de un análisis de varianza (Howarth R.J. y Löwenstein P.L., 1971; Miesch A.T., 1967 y 1976; Bølvi-ken B. y Sinding-Larsen R., 1973; Michie U. McL., 1973; Garrett R.G., 1969 y 1973; Plant J., 1973; Chork C.Y., 1977; entre otros). Algunos sistemas sofisticados de control de la información geoquímica permiten evaluar, mediante un diseño experimental de varios niveles, las varianzas de error que afectan a los datos a nivel de las diferentes operaciones: toma de muestra, pretratamiento (secado, molienda y cuarteo), subtoma analítica, puesta en solución y lectura instrumental (Garrett R.G. et al, 1978; Goss T.I. y Garrett R.G., 1978; Plant J. et al, 1978; James C.M. et al, 1980; ...). Habiendo determinado la variabilidad introducida por los errores de manipulación, es posible es-

tablecer los límites de confianza a la versión cartográfica de la información geoquímica.

2.2.3. Tipos de mapas geoquímicos

La representación cartográfica de los datos geoquímicos se plantea tanto a nivel del registro y transmisión fiel de los mismos, como en su comunicación, de forma tal, que el máximo de información sea rápida y fácilmente accesible.

Se distinguen dos tipos de mapas geoquímicos:

- los mapas de imposición puntual
- los mapas de imposición zonal.

Howarth R.J. (1977) agrega a estas dos clases de representaciones, un tercer tipo: los mapas multicomponentes, que pueden presentar un carácter puntual o zonal; y son aquellos que representan simultáneamente a más de una variable geoquímica.

La elección de una técnica cartográfica en particular depende de la naturaleza de los datos y del objetivo de la representación, v. gr.: registro o transmisión, comunicación y asistencia en el trabajo de interpretación. Si los datos a cartografiar son complejos, se deberá llegar a un compromiso entre la fidelidad y expresividad de los mapas, intentando obtener representaciones, que posibiliten la extracción rápida de lo esencial de la información por parte del sistema perceptivo visual humano.

2.2.3.1. Mapas de imposición puntual

Los mapas de implantación puntual registran el máximo de información lo más fielmente posible. En efecto, estos métodos cartográficos evitan la distorsión de los datos originales, recurriendo a variables gráficas potentes. Los datos se

señalan entonces directamente por el valor del carácter escrito al lado de cada punto representativo de la localidad de muestreo; o sino, por la variación del tamaño (parámetro gráfico esencialmente cuantitativo) de una figura de forma determinada, en general un círculo o un cuadrado (Masset J.M., 1973; Lecuyer P. y Boudet H., 1979). El solapamiento de los símbolos de puntos adyacentes va a depender de la escala del trazado.

En el caso de programas de representación por cifras, la inscripción de los tenores puede realizarse en una de varias posiciones estándares alrededor del punto de observación. De esta forma se logra minimizar la sobreposición de los rótulos, que afecta la claridad y estética de los mapas. Esta técnica cartográfica es empleada en prospección geoquímica para la representación del posicionamiento de las localidades de muestreo con su identificación, al igual que para el trazado de los resultados analíticos brutos. Constituyen esencialmente mapas de registro de la información, pero también resultan de gran utilidad cuando durante la interpretación se desea consultar la información bruta puntual.

Las representaciones con figuras de tamaño variable son más expresivas que las de los valores numéricos, ya que permiten una rápida visualización de las variaciones de los tenores. El tamaño de la figura es proporcional a la concentración del elemento, y la pérdida de información es mínima. En la práctica, se suele dividir al intervalo de variación del carácter a cartografiar en un cierto número de clases, a las que se les adjudica un símbolo de determinado tamaño.

Los mapas de imposición puntual permiten representar simultáneamente a una variable cualitativa, ya sea variando la forma o el color de las figuras. El empleo de esta segunda componente gráfica hace posible la diferenciación de las localidades de muestreo según: las facies litológicas o pedológicas, el

tipo de muestra recolectada, etc.. El color variable, en oposición a la distinción por la forma de las figuras, facilita la selección de muestras caracterizadas por una modalidad bien definida de la variable cualitativa, conduciendo al reconocimiento de conjuntos homogéneos de muestras a nivel global de lectura.

Las representaciones puntuales son difícilmente integrables por el ojo humano, y, es preferible examinar las variaciones geográficas de los caracteres geoquímicos en los mapas de imposición zonal. No obstante, la cartografía de imposición puntual pone fácilmente de manifiesto los valores aberrantes; y, por consiguiente, es sumamente útil en la selección de las anomalías geoquímicas.

2.2.3.2. Mapas de imposición zonal

En las representaciones de imposición zonal se ajusta una cierta superficie a los datos originales, fragmentarios y localizados en los puntos de muestreo. Estas técnicas cartográficas van a surgir de una generalización de la representación de la información original, la que se lleva a cabo mediante diferentes procedimientos de interpolación. Siendo así, se obtiene una superficie geoquímica atenuada, que muestra las variaciones geoquímicas regionales bien estructuradas. Las fluctuaciones locales aleatorias, debidas tanto al "ruido" introducido por los errores de manipulación como a verdaderas anomalías geoquímicas de origen pedológico, topográfico, litológico o asimismo metalogénico, se separan bajo la forma de una señal residual.

Los métodos cartográficos de imposición zonal se dividen en (Horwarth R.J., 1977):

- métodos globales, en los cuales se ajuste una función general a la totalidad de los datos; y
- métodos locales, que estiman la superficie geoquímica

localmente, a partir de un número restringido de puntos próximos entre sí.

- Métodos globales

Dentro de estos métodos cartográficos distinguimos esencialmente a las técnicas que ajustan una función polinomial, llamada superficie de tendencia, al conjunto total de los datos; y, a las que emplean una expansión en series de Fourier bidimensionales.

El análisis de tendencia ("trend analysis" o "trend surface analysis") es un procedimiento en el cual se asume que las variaciones del fondo geoquímico pueden ser descritas por una función analítica polinomial de las coordenadas geográficas (Nichol I. et al, 1966, 1967 y 1969; Chapman R.P., 1978). La forma precisa de la superficie calculada es la determinada por el método de los mínimos cuadrados, en forma análoga a un análisis de regresión múltiple.

Las superficies más empleadas son:

- la lineal o de primer grado:

$$X_j^* = a_0 + a_1X + a_2Y \quad ,$$

- la cuadrática o de segundo grado:

$$X_j^* = b_0 + b_1X + b_2Y + b_3X^2 + b_4XY + b_5Y^2 \quad ; \text{ y}$$

- la cúbica o de tercer grado:

$$X_j^* = c_0 + c_1X + c_2Y + c_3X^2 + c_4XY + c_5Y^2 + c_6X^3 + c_7X^2Y + c_8XY^2 + c_9Y^3.$$

En algunas ocasiones se calculan superficies hasta de grado seis (séxticas) o siete (sépticas), si bien las más frecuentes son las tres mencionadas.

El ajuste de la superficie a los datos mide el grado con que los polinomios resultantes describen la distribución espacial de los datos brutos en el sector estudiado. La significa-

ción de la superficie ajustada es evaluada por la relación entre la varianza de los valores calculados, X_j^* , y la varianza de los datos originales, X_j , expresada en porcentajes.

Howarth R.J. (1967) estableció un test experimental que permite diferenciar un conjunto de datos cuya variabilidad revela una tendencia geológica significativa de un conjunto de datos de distribución esencialmente aleatoria. Este investigador constató, a partir de 60 pruebas experimentales sobre datos distribuidos aleatoriamente, que si la suma de cuadrados da lugar a valores inferiores al 6.0, 12.0 y 16.2% para las superficies lineal, cuadrática y cúbica respectivamente, la distribución de los datos no difiere significativamente de una aleatoria para un riesgo del 5%. Es así, que la comparación de los coeficientes de determinación de las ecuaciones lineal, cuadrática y cúbica con estos valores críticos indica la confiabilidad del ajuste de las respectivas superficies de tendencia a la distribución areal de la serie de datos.

Connor J.J. y Miesch A.T. (1964) aplicaron por primera vez el análisis de tendencia en prospección geoquímica, específicamente a un estudio pedogeoquímico del cobre en Utah.

Se ha observado que el análisis de tendencia da buenos resultados en estudios locales, que abarcan un sector reducido; pero da lugar a ajustes pobres al aumentar el área y el número de puntos (Nichol J. et al, 1969). Los porcentajes de ajuste son en general bajos, especialmente en reconocimientos regionales, donde la autocorrelación entre las muestras es mínima y las tendencias geoquímicas pueden ser más pequeñas que la separación entre las localidades de muestreo. En estos casos no es posible hablar de continuidad media, en el sentido de la teoría de las variables regionalizadas de Matheron G. (1962).

La superficie de tendencia calculada es sensible a la

distribución geográfica de los puntos de muestreo; y es deseable que las localidades se repartan en el sector prospectado lo más regularmente posible, de manera tal de evitar la distorsión del ajuste de la superficie hacia las zonas de alta densidad de muestreo en relación a áreas con algunos puntos aislados. Sin embargo, se cree que el método es más robusto que lo generalmente considerado (Chapman R.P., 1978 y sus referencias). La técnica de análisis de tendencia encuentra entonces un excelente campo de aplicación en estudios de detalle a gran escala, en los cuales se lleva a cabo el muestreo según una malla regular densa.

Idealmente la superficie ajustada describe las tendencias regionales, debidas a procesos geológicos primarios; y traduce las variaciones mayores en la composición geoquímica de la roca madre. Los residuales, o desviaciones de los valores observados respecto a la superficie polinomial, engloban a dos componentes: (1) desviaciones locales respecto a la tendencia, correspondientes a fluctuaciones en el contexto geológico tanto de origen litológico, petrológico como pedológico, o asimismo metalogénico; y (2) variaciones aleatorias debidas a los errores de manipulación. Los tenores residuales significativos para la prospección minera son entonces aquellos que sobrepasan un cierto límite crítico, que se determina a partir de la varianza de muestreo y análisis químico (Nichol I. et al, 1969). Los residuos positivos autocorrelacionados (con una buena coherencia espacial) señalan zonas geoquímicamente anómalas.

Se debe considerar que al calcular la superficie de tendencia con el propósito de describir las variaciones de los tenores de fondo, es necesario proceder únicamente sobre el conjunto geoquímico de fondo normal. Cuando el cálculo de la tendencia se realiza sobre la totalidad de las muestras, existe el riesgo de que la presencia de muestras aberrantes distorsione la superficie hacia los valores elevados, impidiendo la detección de anomalías sutiles. Una solución posible consiste en emplear la trans-

formación logarítmica, o sino, eliminar objetivamente las muestras anómalas, previo a la etapa de ajuste de la ecuación polinomial.

La presencia de un contexto geológico y topográfico complejo origina un relieve geoquímico muy acentuado, de rápidas variaciones, que difícilmente puede ser descrito por una superficie continua sencilla, de forma polinomial. En estos casos es difícil distinguir cuando la función de las coordenadas, una vez descritos los fenómenos regionales, ha comenzado a ajustarse a los efectos geológicos locales. Una forma de proceder es continuar agregando términos a la ecuación de regresión hasta que la varianza residual no varíe significativamente.

Queda en evidencia como problema mayor de este método global de representación zonal, la necesidad de que el investigador predetermine el número de inflexiones de la superficie a ajustar. Como el grado de los polinomios empleados es en general bajo, las superficies resultantes son de una rigidez considerable. No obstante, el método de análisis de tendencia ha demostrado ser de gran utilidad en la interpretación de la repartición areal de los resultados de prospecciones geoquímicas (Connor J.J. y Miesch A.T., 1964; Sinclair A.J., 1967; Nichol I. et al, 1969; Timperley M.H. et al, 1972; Agterberg F.P. et al, 1975; Chapman R.P., 1978; Levinson A.A., 1980; ...).

Otro método cartográfico de implantación zonal global, más flexible que el descrito, es el análisis de Fourier en la forma de series bidimensionales (James W.R., 1966; Agterberg F.P., 1969). En conjunción con técnicas de filtrado, este método de análisis espacial de datos posibilita el estudio de la estructura de los mapas geoquímicos (Chapman R.P., 1978; Roquin C., 1979).

Antes de pasar a la descripción de los métodos loca-

les diremos que el análisis de tendencia y análisis de Fourier, y asimismo las técnicas estadísticas de análisis factorial, permiten dividir las variaciones de los tenores de los elementos en diferentes componentes cartográficas -tendencias regionales, fluctuaciones locales, "ruido" debido a los errores de manipulación-, que reflejan una realidad geoquímica. Desde un punto de vista teórico es de esperar que dicha partición de la señal corresponda a una repartición fisicoquímica equivalente del elemento en la muestra analizada. Por ejemplo, podemos suponer una repartición del elemento en: diferentes componentes cristalinos, defectos reticulares, relleno de fisuras, adsorción en superficies, ...

Leymarie P. (1977) destaca la necesidad de realizar investigaciones orientadas al desarrollo de métodos químico-analíticos, evidentemente asistidos por técnicas matemáticas conocidas o a desarrollar, de filtrado de la señal geoquímica. Estos métodos deberían conducir a los mismos resultados que los procedimientos puramente matemáticos descritos (la estructura de la información geoquímica es independiente del método empleado para su análisis), y permitirían evaluar la significación de los mismos.

- Métodos locales

Estos métodos de representación son sensibles a las fluctuaciones rápidas del relieve de la superficie geoquímica. El procedimiento cartográfico implica las operaciones de interpolación de los datos brutos, con creación de una malla regular; y el trazado de la superficie en base a estos nuevos valores. Se conocen un gran número de técnicas de interpolación de datos distribuidos arealmente (Howarth R.J., 1977).

Para una distribución determinada de las muestras, los mapas van a depender del tamaño de las celdas de la malla empleada para la interpolación, del método de selección de los puntos de muestreo que intervienen en la evaluación de los nodos de la

mallá, del tipo de ponderación de los datos originales, del algoritmo de cálculo de los valores nodales de la grilla, y finalmente del procedimiento gráfico de trazado de los valores interpolados.

Un método clásico de representación de la superficie geoquímica sería el trazado de curvas isovalores o isotenores, en nuestro caso particular. Dicha técnica es muy expresiva y origina una imagen fácilmente aprehensible de la topografía de la superficie geoquímica.

Mediante la operación de interpolación previa al trazado de las curvas isovalores se logra una generalización en extensión de la variable a cartografiar, suprimiendo las fluctuaciones locales aleatorias, de forma tal, que en el mapa definitivo sólo son legibles las variaciones espaciales de cierta continuidad. El empleo masivo de curvas isovalores puede conducir entonces a despreciar las discontinuidades locales de los fenómenos geoquímicos examinados, al igual que detalles importantes de su estructuración. Cuanto más fragmentaria sea la información, debido a una configuración del plan de muestreo inadecuada para la correcta descripción de la configuración geográfica de la señal geoquímica, tanto menor será la utilidad de esta modalidad de visualización cartográfica. Su aplicación en estudios de reconocimiento regional, de baja densidad de muestreo, requiere interpolaciones drásticas entre valores puntuales heterogéneos, que pueden corresponder a diferentes unidades geoquímicas, dando origen a mapas sobrealisados, donde la estructuración de la señal geoquímica es difícilmente distinguible.

En estudios tácticos a malla cerrada, el contexto geológico suele ser más homogéneo; y los cálculos de interpolación y alisado resultan perfectamente lícitos. El trazado de curvas isoconcentraciones en este tipo de trabajos posibilita la apreciación directa del contraste y relieve de las anomalías geoquímicas.

La principal ventaja de estos mapas es su gran expresividad y su fácil lectura, tanto a nivel global como elemental. Siempre es posible estimar un valor puntual del carácter mediante una interpolación entre las curvas adyacentes. Lamentablemente, esta modalidad cartográfica no se presta a la representación simultánea de más de una variable, y no pone en evidencia a las muestras aberrantes.

Ultimamente se han desarrollado algunos programas computacionales sofisticados, que alisan las curvas, trazan líneas de diferente forma según el valor que representan, suprimen el trazado de curvas o la inscripción de rótulos si van a ocasionar sobreposiciones, etc., brindando mapas de excelente calidad y estética, aunque muy costosos.

La representación por diagramas en bloques ofrece a la superficie geoquímica en una "tercera dimensión" por deformación de curvas equidistantes. Es una técnica análoga a la de las curvas isovalores, pero menos precisa en la reconstrucción de los valores puntuales y su localización. Generalmente se utiliza para dar imágenes de conjunto, muy estéticas, de estructuras simples de variación regular.

Otro tipo de mapas se basa en la representación por densidad variable o sombreado variable (Masset J.M., 1973; Howarth R.J., 1977). Estas técnicas de visualización descomponen al mapa en pequeñas zonas, generalmente en torno a los puntos de muestreo o a los nodos de la malla de interpolación; y en cada una de ellas representan al valor de la variable mediante un grado de sombreado, que varía entre el gris claro y el negro. Originan mapas, expresivos en lo que se refiere a las variaciones continuas del relieve de la superficie geoquímica. En efecto, es posible distinguir zonas homogéneas de igual sombreado, que son interpretadas como unidades geoquímicas, donde la variable cartográfica sigue un comportamiento estacio-

nario. Los valores aberrantes se manifiestan como áreas especialmente claras o negras.

En lo que se refiere a la legibilidad, estos mapas se adaptan sobre todo a una lectura global. A nivel de lectura elemental resulta imposible determinar los valores puntuales en forma precisa, puesto que la variable gráfica empleada es poco potente, y se presta sólo a la representación de variaciones ordenadas. Generalmente se admite que el ojo humano es capaz de diferenciar entre un máximo de 7 niveles graduales de sombreado. En forma puntual, entonces, sólo es factible reconocer la clase a la que fue asignado el valor de la variable cartografiada.

Diferentes versiones computacionales permiten elegir entre documentos económicos y de ejecución rápida, que pueden obtenerse en una impresora lineal o una consola de visualización; o versiones más sofisticadas y costosas, que requieren el empleo de un graficador automático (Masset J.M., 1973).

En lo que respecta a la operación de interpolación previa al trazado de la superficie geoquímica por algunas de las técnicas descritas (curvas isovalores, diagrama en bloques y representación por densidad variable), destacamos que el procedimiento más utilizado en prospección geoquímica es el método de medias móviles. El sector estudiado se particiona según una malla regular en celdas cuadradas. Los nodos de la malla se valorizan promediando los valores de las muestras dentro de cada celda, conjuntamente con los de las celdas inmediatamente adyacentes. En la práctica, la interpolación y el alisado suceden como si una celda se trasladara a lo largo del mapa, y los valores dentro de ella fueran promediados. Las posiciones adyacentes de la celda se sobreponen en una cierta magnitud (generalmente un 50%), de forma tal, que los puntos intervienen en más de una celda. Los parámetros a optimizar para cada trazado son el tamaño de las celdas elementales, la sobreposición entre celdas ad-

yacentes, y la función de ponderación de los diferentes valores que entran en la valorización de los nodos de las celdas. Los resultados pueden representarse gráficamente por medio del trazado de curvas isovalores (Nichol I. et al, 1969; Armour-Brown A. et al, 1970; Hornbrook E.H.W. et al, 1976; y otros), o en forma de figuras, cuyo tamaño varía según el valor de cada nodo (Lecuyer P. et al, 1979). Esta última modalidad de representación es sumamente útil en prospección regional, ya que da una imagen muy expresiva de las variaciones a gran escala del relieve geoquímico, delineando las unidades estructurales bien diferenciadas. Connor J.J. et al (1964) encontraron que el uso de esta técnica de alisado en conjunción con el análisis de tendencia, aumenta la significación de las superficies geoquímicas estimadas.

2.2.3.3. Mapas de anomalías geoquímicas

El objetivo del trazado de los mapas de anomalías geoquímicas es la puesta en evidencia de zonas de comportamiento atípico, que pueden estar manifestando la presencia de una mineralización.

Uno de los mapas más simples corresponde a la representación del carácter mediante símbolos de tamaño variable, según la clase a la que pertenecen los valores. La selección de los límites de las clases puede realizarse de diferentes formas: tomando intervalos aritméticos o logarítmicos iguales, empleando los parámetros de tendencia central y de dispersión de la distribución de fondo normal del sector, dividiendo el intervalo de variación según los percentiles a 10, 20, 40, 60, 80, 90, 95, 99 y 99.9%, siguiendo las inflexiones naturales de la curva de repartición de frecuencias, ... (Howarth R.J., 1977 y sus referencias).

Es preferible utilizar un método estándar para la ob-

tención de los mapas de anomalías de los diferentes elementos analizados. Así se facilita la comparación directa de los mismos, y el establecimiento de las correlaciones geográficas entre los distintos caracteres geoquímicos. Esto explica la aplicación de diferentes técnicas de cartografía de datos normalizados en prospección geoquímica (Govett G.J.S. y Galanos D.A., 1974; Garrett R.S. et al, 1980). Todos los procedimientos comienzan por particionar el conjunto de muestras en unidades homogéneas según las facies litológicas, pedológicas o metalogénicas; y calculan en cada una de ellas los límites críticos, L_j , ya sea a partir de los parámetros estadísticos o de representaciones gráficas de las distribuciones (ver sección 2.1.2.4.). Las variables a graficar son, entonces, de la forma:

$$y_j = \frac{X_j - L_j}{L_j}$$

que también puede expresarse en porcentaje. Si se conoce una estimación de la varianza debida a los errores de manipulación (muestreo, análisis químico), s_{ma} , es más útil representar a:

$$y'_j = \frac{X_j - L_j}{s_{ma}}$$

Otra modalidad cartografía directamente a los datos normalizados:

$$z_j = \frac{X_j - \bar{X}_j}{s_j}$$

donde \bar{X}_j y s_j son la media aritmética y desviación estándar de un determinado conjunto geoquímico. En lugar de la media, se puede emplear una estimación más robusta del valor central como la mediana. Todos estos procedimientos originan representaciones cartográficas muy expresivas, dado que los valores cartografiados miden directamente la anomalicidad de las muestras. La elección de los intervalos de las clases es inmediata, por ej.: 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 y 3.

La representación de los tenores residuales, obtenidos por diferencia de los valores observados y la superficie estimada por análisis de tendencia, análisis de Fourier, medias móviles o alguna otra técnica de interpolación, originan también a mapas de anomalías geoquímicas. El examen de las fluctuaciones de los residuos pone de manifiesto áreas de alto relieve geoquímico, relacionadas con un cuadro geológico complejo, mineralizaciones o el ambiente secundario. Aún más común, es la cartografía de los tenores residuales de cálculos de regresión múltiple. Como ya dijimos, este método multidimensional permite corregir la variabilidad debida al fondo geoquímico, diferenciando las anomalías geoquímicas de interés prospectivo de aquellas formacionales o pedológicas.

2.2.3.4. Mapas multicomponentes

Los mapas multicomponentes combinan las variaciones de más de un carácter en una única representación gráfica. Es así, que facilitan en forma importante la comparación de la distribución areal de los tenores de diferentes elementos en estudios de prospección geoquímica multielemento.

Löwenstein P.L. y Howarth R.J. (1973) desarrollan un método cartográfico multicomponente vía una técnica de mezclado de colores, capaz de representar simultáneamente las fluctuaciones de los tenores de tres elementos en distintos niveles. Este esquema para tres elementos, cuyas variaciones se ordenan en tres niveles (fondo normal, levemente anómalo y anómalo), origina 27 colores perfectamente diferenciables. Otros métodos emplean flechas de longitud variable en una roseta, y logran representar un máximo de cuatro elementos en un mismo mapa (Lecuyer P. et al, 1979). El examen de este tipo de mapas permite delinear diferentes facies litogeoquímicas, áreas de interés metalogénico, o simplemente zonas de un comportamiento geoquímico particular.

En otra dirección se encuentra la cartografía de nuevas variables, de la forma de combinaciones aditivas o multiplicativas de ciertos elementos, que puede considerarse como un análisis factorial empírico. Estas representaciones son utilizadas en el estudio de los halos de dispersión (Beus A.A. y Grigorian S.V., 1977).

El mapeo de las coordenadas factoriales constituye otra técnica de cartografía multicomponente muy útil para la interpretación de los resultados del análisis factorial en término de diferentes procesos geoquímicos.

Finalmente, debemos decir que ningún método de cartografía automática es de aplicación universal. Cada técnica es capaz de describir o revelar determinado tipo de fenómenos o estructuras geoquímicas. La mejor explotación de la información disponible sobre un sector dado requiere, entonces, el uso de diferentes métodos de representación cartográfica, simultáneamente a la aplicación de los tratamientos estadísticos. La elección de algunas técnicas particulares va a ser función esencialmente de la naturaleza de los datos a procesar y del objetivo del estudio.

3. APLICACION AL ESTUDIO DE LOS RESULTADOS DE UNA

PROSPECCION PEDOGEOQUIMICA SEMITACTICA

3. APLICACION AL ESTUDIO DE LOS RESULTADOS DE UNA PROSPECCION PEDOGEOQUIMICA SEMITACTICA

En este capítulo ilustramos el rol de algunos métodos de procesamiento de datos en la interpretación de los resultados multielementos de una prospección pedogeoquímica. Los datos utilizados corresponden a un estudio llevado a cabo por la Dirección Nacional de Minería y Geología (DI.NA.MI.GE) en el marco del programa "Inventario Minero" del país, iniciado en 1980 mediante un contrato de transferencia tecnológica entre el Bureau de Recherches Géologiques et Minières de Francia y la DI.NA.MI.GE.. Esta Dirección ha autorizado la realización del presente trabajo, en el cual únicamente se presentan y discuten aquellos resultados que no afectan los intereses de la institución mencionada. Es así, que por razones obvias de confidencialidad hemos modificado las coordenadas de las estaciones de toma de muestras, de forma tal de no distorsionar la configuración del plan de muestreo.

Finalmente, debemos señalar que las opiniones vertidas en la presente discusión de resultados son puramente personales, y, en consecuencia, no concuerdan necesariamente con las de la DI.NA.MI.GE..

3.1. Presentación de la información

3.1.1. Descripción del área estudiada

- Caracteres fisiográficos esenciales

El área estudiada es de $4200 \times 6200 \text{m}^2$ (25.42km^2) y se sitúa geográficamente en el departamento de Lavalleja, al Sur de la ciudad de Minas (ver figura 1). Los dos cursos de agua más importantes corren de sur a norte, desembocando en el arroyo San Francisco, y el sistema de drenajes asociado cubre en forma relativamente homogénea a la totalidad de la zona estudiada. En la zona Sur algunas cañadas desaguan de norte a sur en el Arroyo

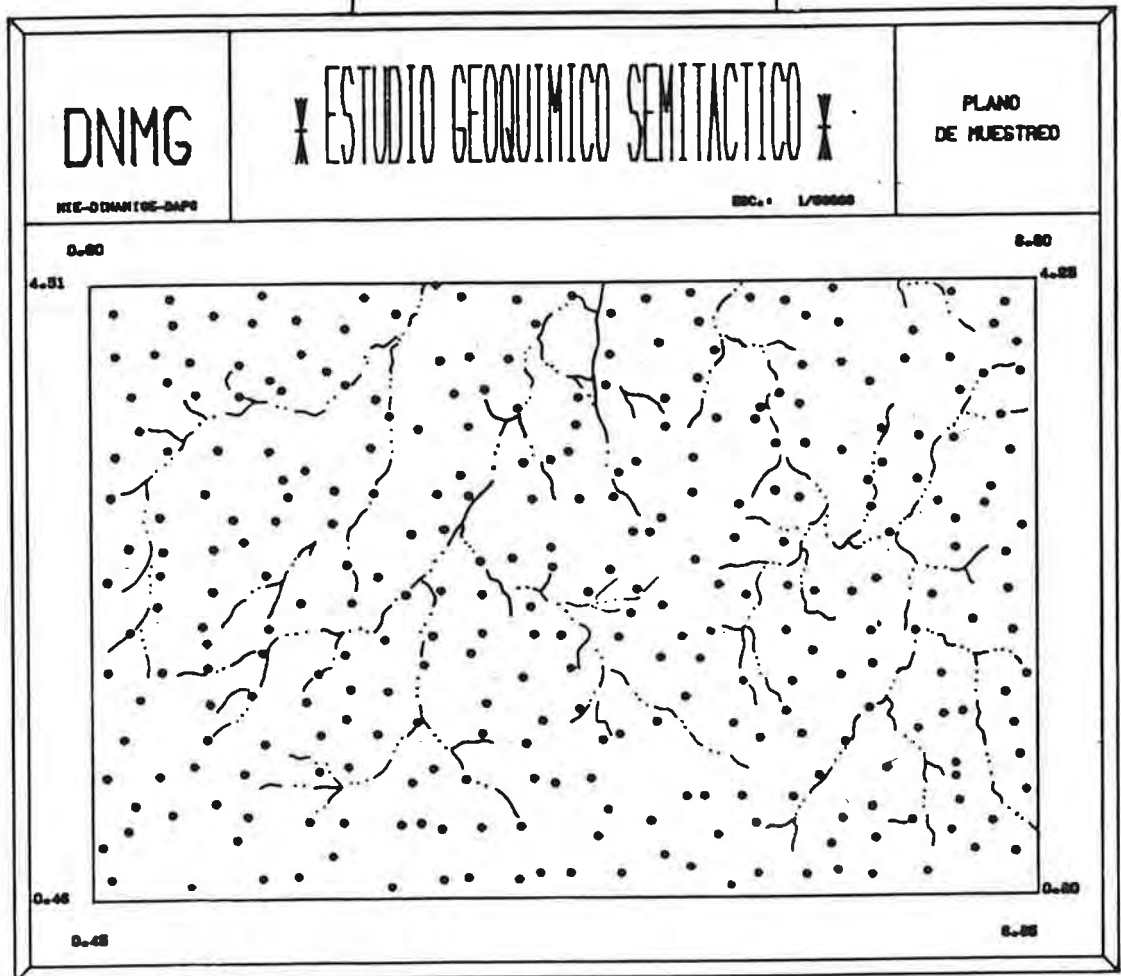


Figura 1: Ubicación aproximada del área estudiada y mapa de posicionamiento de las estaciones de muestreo a escala 1/50000.

Mataojo.

En lo que respecta a la topografía, carecemos lamentablemente de información cuantitativa. El relieve, caracterizado por sierras rocosas, presenta grandes contrastes con áreas accidentadas y cerros de fuerte pendiente. Casi un 40% de la superficie total muestra una morfología típica de granitoides, que afloran con muy buena continuidad.

Los suelos son principalmente poco desarrollados, pedregosos y, en general, bien drenados. Se los puede clasificar, en ausencia de un estudio pedológico detallado, como brunosoles y litosoles (Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay, 1976). En las áreas más rocosas, los litosoles suelen ser muy superficiales, con contacto lítico a menos de 20cm de profundidad. En las hondonadas y zonas de pendiente suave se desarrollan suelos más profundos, que pueden alcanzar un espesor cercano a 1m ó 1.5m, y el drenaje de los mismos es moderado.

La cobertura vegetal consiste esencialmente en praderas, con matorrales y montes serranos asociados y ciertas áreas forestadas.

- Geología somera

El área prospectada incluye una parte de las formaciones geológicas correspondientes en general al Precámbrico Superior Moderno. Las unidades volcanosedimentarias y sedimentarias conforman una serie de bajo metamorfismo denominada Serie de Minas (Equipo de Geólogos del I.G.U., 1981). Las litologías son muy variadas, distinguiéndose términos sedimentarios (esquistos, sericíticos, calizas, siltitos, ...) y términos volcánicos básicos y ácidos. Algunos cuerpos graníticos han hecho intrusión en las formaciones mencionadas.

En la figura 2 presentamos la versión cartográfica de

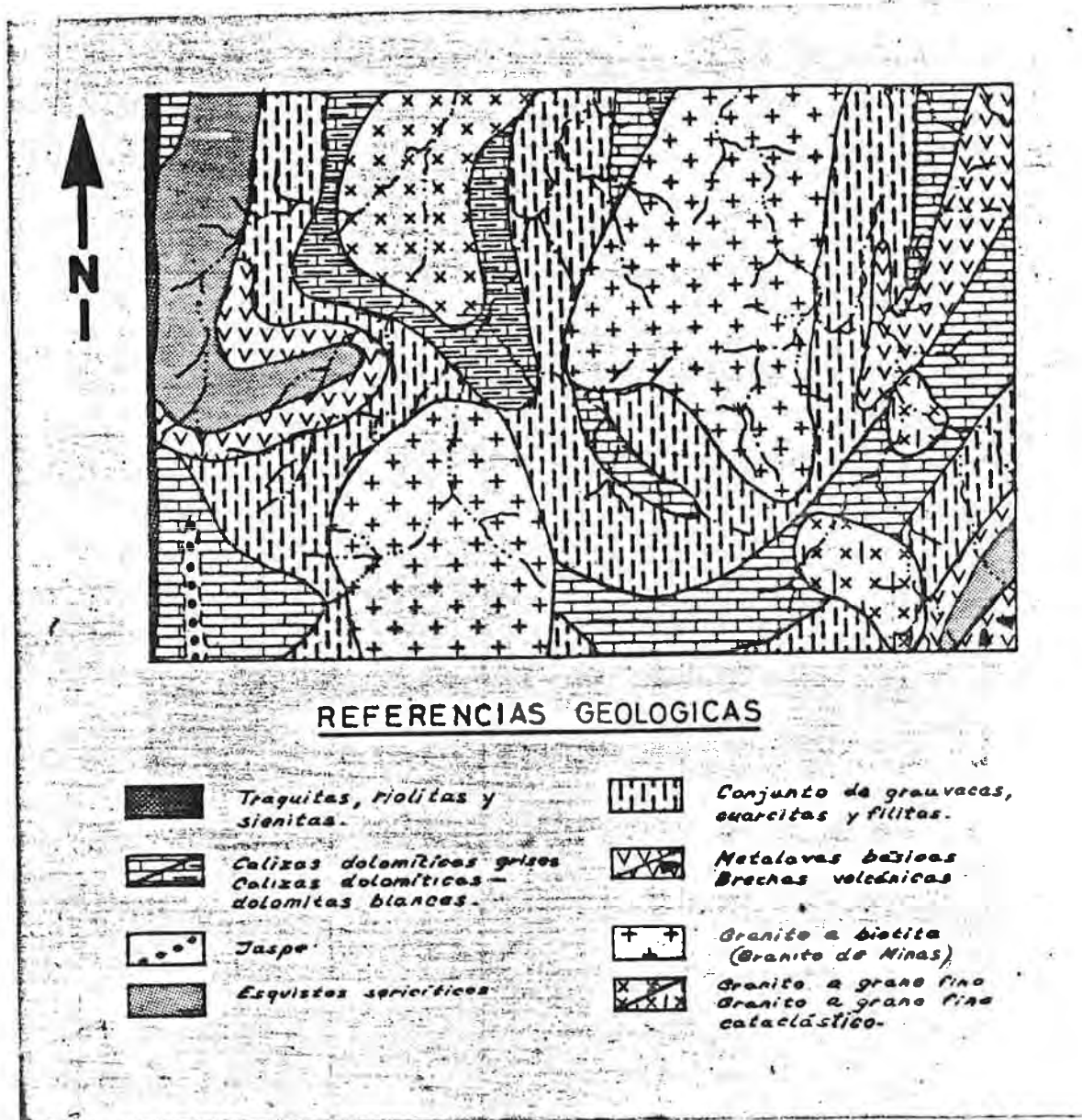


Figura 2: Mapa geológico a escala 1/50000 del área estudiada según Midot D. (1983).

Midot D. (1983), a escala 1/50000.

Una franja de un ancho máximo de 100m en el borde occidental del sector se encuentra sobre la formación Sierra de Animas, constituida esencialmente por litologías de quimismo alcalino (traquitas, riolitas y sienitas).

Las litologías que conforman a la Serie de Minas se hallan muy bien representadas en el sector prospectado. Distinguiamos:

- varios bancos y lentes de calizas con grado de dolomitización variable, y calcofilitas;
- filitas sericíticas, en general rosadas, con algunas intercalaciones de volcanitos, cuarcitas, siltitos, ...;
- un conjunto sedimentario poco diferenciado, donde se regroupan grauvacas, cuarcitas, siltitos, metasiltitos y filitas;
- metalavas básicas de grano variable, con facies de bordes esquistosos, más raramente brechas volcánicas.

En lo que respecta a los granitoides se observan cinco intrusiones en las cuales afloran:

- un granito biotítico a grano grueso (granito de Minas),
- y
- microgranitos y microgranodioritas, a veces cataclásticas.

La campaña de reconocimiento regional llevada a cabo en 1981-1982 en la hoja al 1/50000 del Servicio Geográfico Militar, que incluye la zona aquí considerada, reveló una anomalía polimetálica relativamente importante (Zeegers H., Artignan D. y Spangenberg J., 1982). Esta anomalía se conforma de una docena de puntos de muestreo con tenores anómalos en Cu, As, Pb y Zn, y accesoriamente Ag y Mo. El cuadro geológico de la anomalía está caracterizado por las diferentes litologías de la Serie de Minas: esquistos sericíticos, calizas y rocas verdes. En esta zo-

na anómala se ha registrado la presencia de indicios de sulfuros de cobre oxidados (malaquita y azurita).

La anomalía geoquímica estratégica fue retenida como significativa, aún cuando presenta un bajo contraste; y un primer control geoquímico de detalle se emprendió a fines de 1981 bajo la supervisión de la misión técnica del B.R.G.M.. Las muestras, sin embargo, fueron analizadas en abril de 1983 en los laboratorios de la División Adquisición y Procesamiento de Geodatos (D.A.P.G.) de la DI.NA.MI.GE.. El procesamiento e interpretación de los resultados se llevaron a cabo por el autor, en el cuadro del presente trabajo.

3.1.2. Muestreo

Un total de 309 muestras cubren homogéneamente el área bajo estudio, con una densidad de muestreo media efectiva de 12 muestras por km^2 (valor teórico de 12.2 muestras por km^2). El mapa de posicionamiento de las estaciones de muestreo con su identificación se proporciona a escala 1/20000 en la figura 3. La toma de muestras fue llevada a cabo por los equipos de prospección de la DI.NA.MI.GE., supervisados por un jefe prospector del B.R.G.M.. A este tipo de estudios prospectivos los denominamos semitácticos, puesto que la malla de muestreo es intermedia entre la de una prospección estratégica, v. gr.: 1 a 3 muestras por km^2 , y la de una prospección táctica (100x100m o más cerrada). El objetivo de esta prospección semitáctica era confirmar la anomalía estratégica poco definida y determinar con mayor precisión el área a someter a controles más detallados.

Las muestras recolectadas pueden clasificarse en cuatro tipos:

- sedimentos en lecho vivo, que corresponden al material fino del fondo de las cañadas (generalmente se mezclan con muestras sobre cada vertiente lateral), y constituyen las mejores

muestras compuestas representativas de los suelos y rocas de toda el área de la cuenca de drenaje aguas arriba del punto de muestreo;

- suelos en flat, que son tomados en los suelos consolidados sobre las orillas de las cañadas;

- suelo en fondo de vallecito, extraídos en el fondo de las hondonadas;

- suelos verdaderos, son muestras de carácter localizado.

Las tres primeras modalidades de muestreo dan lugar a muestras representativas de un área relativamente importante, y las observaciones realizadas sobre ellas tienen un carácter vectorial. Los suelos verdaderos proporcionan una información más puntual, y son el material muestreado característico de estudios tácticos (base del horizonte B u horizonte C). En las zonas donde la red de drenajes es insuficiente para alcanzar la densidad de muestreo deseada, se efectuaron las tomas de suelos repartidas regularmente. Si consideramos la naturaleza de las muestras y el objetivo del estudio, sería quizás más racional sustituir la denominación de semitáctica por la de prospección estratégica orientada.

En el campo se codificaron la modalidad del muestreo, los litofacies predominantes en la localidad de muestreo, la presencia de cultivos y posibles fuentes de contaminaciones, p. ej.: antiguos trabajos mineros, desechos industriales, etc.. Las muestras recolectadas se particionan según el detalle:

Naturaleza de las muestras	Efectivo	Porcentaje
Sedimentos en lecho vivo	23	7.5
Suelos en flat	121	39.4
Suelos en fondo de vallecito	73	23.8
Suelos	90	29.3
Total	307 (*)	100

(*) Dos muestras no fueron codificadas en el campo.

Finalmente realizamos algunas tomas de muestras de rocas sobre las principales unidades litológicas del sector en estudio.

3.1.3. Preparación y análisis químico de las muestras

- Pretratamiento de las muestras

Las muestras pedogeoquímicas fueron secadas en el taller de preparación de muestras de la DI.NA.MI.GE. en un ambiente completamente vidreado, en forma tal de aprovechar al máximo la energía solar, y calefaccionado eléctricamente. Una vez secas, las muestras fueron disgregadas en mortero y tamizadas a 125 μ . La fracción fina fue conservada en tubos de plástico para su posterior análisis químico.

Las muestras de rocas secas se sometieron a una molienda, en la cual se intentó minimizar las posibles contaminaciones debidas a esta operación (Fe, Co, Cr, Ni, V, Mo, W, ...). El procedimiento consta de las siguientes etapas:

- trituración de la muestra en triturador de mandíbulas de acero, hasta un tamaño de grano inferior a los 5mm.
- cuarteo y retención de una porción.
- molienda en mortero de discos de ágata hasta menos de 125 μ .
- cuarteo y envasado de una fracción para su posterior análisis químico.

- Análisis químico

La totalidad de las muestras fueron analizadas en el Departamento Químico Analítico de la D.A.P.G., según el mismo procedimiento empleado en los laboratorios del B.R.G.M. en Orléans (Boucetta M. y Fritsche J., 1979).

La puesta en solución se lleva a cabo en dos etapas.

Cinco gramos de la muestra se introducen en un reactor de teflón hermético con 10ml de ácido perclórico concentrado. La bomba de teflón se cierra, manteniéndose una noche en una estufa a 150-170°C. Por la mañana, luego de haber dejado enfriar al reactor, se lo abre y se agregan 20ml de ácido clorhídrico concentrado y 2ml de ácido fluorhídrico concentrado. Nuevamente se introduce el reactor cerrado herméticamente durante una noche en una estufa a 85°C. Al otro día, se deja enfriar y se transvasa a un matraz aforado de 100ml, conteniendo una solución de litio (regulador de ionización) y de platino (estándar interno); de forma tal que al llevarse a volumen con agua desmineralizada, la concentración final en Li es de 40g/l y 0.05g/l de Pt.

Las medidas se efectúan en el espectrómetro de emisión plasma a corriente continua en atmósfera de argón, comandado por un microcomputador, que efectúa diferentes operaciones (eliminación de fondo espectral, corrección por relaciones interelementos, ...), y las expresa en término de concentraciones en base a las señales obtenidas para los patrones.

En la tabla 1 damos los límites inferiores de dosificación (que no concuerdan necesariamente con los límites de detección) de los 22 elementos analizados -un elemento mayor, Fe_2O_3 , dos elementos menores, Mn y P, y 19 elementos al estado de trazas, Ba, V, B, ...-.

3.1.4. Precisión de la información adquirida

Lamentablemente en el transcurso de este trabajo no se llevó a cabo ningún tipo de muestreo por duplicado, para el control de la variabilidad introducida en la información geoquímica debido a las operaciones de muestreo y análisis químico. Sin embargo, hemos realizado recientemente un estudio de precisión de los datos geoquímicos multielementos de la campaña de prospección estratégica (Spangenberg J., 1983). La evaluación de la

precisión de los datos se efectuó considerando:

- los resultados analíticos de muestras de referencia introducidas sistemáticamente en las series a analizar, y

- los análisis de muestras dobles, recolectadas en una misma localidad de muestreo, y repartidas en las zonas ya cubiertas por el Inventario Minero.

Elemento	Límite inferior de dosificación	Elemento	Límite inferior de dosificación
Fe ₂ O ₃ (%)	0.10	Ni (ppm)	10
Mn (ppm)	10	Cr	10
Ba	10	Ag	0.2
P	10	Sn	20
V	10	W	10
B	10	Mo	2
Sb	20	Co	10
As	20	Be	1
Pb	10	Cd	1
Zn	10	Y	5
Cu	10	Nb	10

Tabla 1: Lista de elementos analizados y sus límites inferiores de dosificación.

A partir de las muestras testigos es posible determinar la precisión analítica global media (submuestreo analítico, puesta en solución y lectura instrumental). Las muestras dobles, en cambio, permiten evaluar el error de manipulación originado por la totalidad de las operaciones; es decir, muestreo, pretratamiento y análisis químico de las muestras. Este último control provee una medida de la varianza intralocalidades y de la variabilidad geoquímica interlocalidades.

En la tabla 2 exponemos las precisiones medias estima-

Elemento	Límite de detección	Intervalo de variación	Precisión media (%)
Fe ₂ O ₃ (%)	0.1	4.0 - 5.0	19
Mn (ppm)	10	209 - 476	11
Ba	10	401 - 660	8
P	10	611 - 1388	8
V	10	63 - 140	20
B	10	17 - 27	26
As	20	44 - 823	23
Pb	10	26 - 235	15
Zn	10	70 - 103	10
Cu	10	42 - 99	12
Ni	10	16 - 51	26
Cr	10	37 - 182	14
Ag	0.2	0.7 - 2.0	55
Be	1	1 - 3.7	44
Y	5	8.6 - 9.1	12
Nb	10	24 - 38	24

Tabla 2: Precisión media ($\bar{\sigma} = 100 t_{n-1, \alpha} V$) e intervalos de variación de tenores medios de lotes de testigos analizados por EEP en la D.A.P.G. (Spangenberg J., 1983).

das a partir de tres lotes de testigos analizados en la D.A.P.G. (Spangenberg J., 1983). Fueron excluidos aquellos elementos cuyos tenores raramente sobrepasan el límite de dosificación. La mayoría de los elementos son determinados con una precisión satisfactoria (menor que 30%) para los requisitos de una prospección geoquímica. Se pudo establecer, que el límite de detección de la plata no es inferior a 0.7ppm, y el valor de 0.2ppm no es significativo.

Un análisis de varianza efectuado sobre los datos analíticos de las muestras dobles permitió comparar la varianza entre las muestras de una misma localidad con la varianza interlocalidades (Spangenberg J., 1983 y las referencias ahí citadas). En la tabla 3 presentamos los coeficientes de determinación (varianza explicada por una única muestra), la relación de las varianzas interlocalidades e intralocalidades (F') y los componentes de varianza geoquímica regional y varianza debida a los errores de manipulación. Los F' observados son significativos (nivel de confianza del 99%); sin embargo, el As muestra una componente de error importante (35%). El Cu y Pb, con una varianza de 17% y 18% respectivamente, se ven afectados por errores de manipulación de cierta importancia. Para el resto de los elementos, la varianza de error no supera el 15% de la total. Destacamos que las medidas de Ni (1%), Be(3%) y Fe_2O_3 , P y Cr (5%) se caracterizan por una varianza de error muy pequeña. Estos resultados deben considerarse únicamente a título indicativo, puesto que sólo son válidos para una prospección estratégica con una densidad de muestreo de 1 a 2 muestras por km^2 , y los análisis químicos involucrados fueron realizados en los laboratorios del B.R.G.M.. Por último, agregamos que en prospecciones regionales los valores típicos de la varianza de error oscilan entre 10 y 20%, es decir, que la varianza geoquímica es de un 80 a 90% (Bölviken B. et al, 1972).

En el marco de este trabajo estimamos la precisión a-

Elemento	N	Intervalo de variación	r_L^2 (%)	F'	s_α^2 (%)	s_β^2 (%)
Fe ₂ O ₃ (%)	17	2.1-10.1	90	40.3	95	5
Mn (ppm)	17	128-2228	88	31.4	93	7
Ba	17	339-1435	88	35.7	94	6
P	17	190-788	92	42.7	95	5
V	17	42- 99	76	15.1	87	13
As	17	20- 49	42	5.0	65	35
Pb	17	14- 38	72	11.0	82	18
Zn	17	35-112	86	22.5	91	9
Cu	17	11- 41	71	11.6	83	17
Ni	17	10- 37	98	164.8	99	1
Cr	17	14-110	92	40.8	95	5
Co	17	10- 43	90	34.7	94	6
Be	17	1- 8	94	62.2	97	3
Y	17	15-118	92	27.3	93	7
Nb	17	23- 64	83	21.5	91	9

Tabla 3: Análisis de varianza de los tenores de las muestras dobles recolectadas en prospección estratégica. N: número de cuplas; r_L^2 : coeficiente de determinación para los valores log-transformados; F': relación de varianzas interlocalidades e intralocalidades; s_α^2 : componente de varianza debido a variaciones geoquímicas regionales; y s_β^2 : componente de varianza debido al error total de medida; (Spangenberg J., 1983).

Elemento	r_L^2 (%)	Componentes de varianza (%)		
		Geoquímica	Disolución	Instrumental
Fe ₂ O ₃ (%)	100	98.6	1.1	0.3
Mn (ppm)	98	99.3	0.0	0.7
Ba	98	85.7	13.5	0.8
P	100	97.0	2.6	0.4
V	96	92.1	0.0	7.9
Pb	92	94.1	0.4	5.5
Zn	98	97.6	0.7	1.7
Cu	98	98.9	0.0	1.1
Ni	94	95.1	0.0	4.9
Cr	96	94.8	0.0	5.2
Co	92	94.6	0.0	5.4
Be	88	87.4	4.9	7.7
Y	81	93.2	0.0	6.8

Tabla 4: Componentes de varianza intermuestras (geoquímica y muestreo) e intramuestras (puesta en solución y medida instrumental) y varianza explicada por una sola lectura instrumental, r_L^2 (%). Resultados completos en el apéndice I.

nalítica de los datos multielementos mediante la repetición del análisis de un cierto número de muestras. En la segunda determinación se efectuaron dos medidas instrumentales sobre la misma solución, pero en lotes diferentes, intentando lograr condiciones de medida diferentes (estabilidad del espectrómetro). De esta forma, fue posible evaluar la componente de variabilidad estrictamente instrumental y la componente de error introducida por la puesta en solución, en comparación con la varianza geoquímica interlocalidades.

El estudio de estos datos se detalla en el apéndice I. En la tabla 4 presentamos esquemáticamente los resultados de un análisis de varianza realizado sobre los tenores transformados logarítmicamente. Excepto el Ba y Be todos los elementos considerados exhiben una componente de varianza analítica menor del 10%. Para el Fe, P, y Ba el error de puesta en solución es mayor que el de lectura instrumental, seguramente debido al carácter de componentes mayores (especialmente el Fe), y por su forma de presentación en el material muestreado. En el caso del Ba, la alta varianza de puesta en solución (13.5%) revela una desviación en el esquema analítico, que es objeto de estudio en los laboratorios de la D.A.P.G.. El Mn, Fe, P, Zn, Cu, Ni y también el Co y Cr son determinados con una variabilidad analítica despreciable ($\leq 5\%$) frente a la varianza geoquímica y de muestreo. Los elementos medidos con la menor reproductibilidad instrumental son el Be, V, Y, Co, Pb, Cr y Ni. Por mayor información referimos al apéndice I.

3.1.5. Registro de la información. Recursos informáticos

En lo que se refiere al registro de los datos, diremos que se procedió a crear un archivo informático con el total de la información disponible sobre el sector estudiado. Las coordenadas geográficas fueron calculadas en la D.A.P.G. mediante un digitalizador BENSON 6201, operando en modalidad fuera de línea.

El archivo creado contiene las identificaciones de las muestras, el código de campo sobre cuatro dígitos (naturaleza de las muestras, zona de cultivos o no, posibles fuentes de contaminación y cuadro geológico local), y los resultados para los 22 elementos analizados. El hierro es expresado en porcentaje de su sesquióxido ($\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{FE2X}$) y los demás elementos en partes por millón (ppm). Los valores inferiores a los límites de dosificación indicados en la tabla 1, se registran como iguales a dichos límites. En el apéndice II damos una edición completa del archivo.

El archivo informático se almacena en disco magnético en un computador IBM 4341 (de la Contaduría General de la Nación). Los programas de administración de archivos (creación, corrección, transformación, etc.) y de tratamientos estadísticos y cartográficos de datos son comandados mediante terminales de visualización instaladas en la D.A.P.G.. Los programas de representación gráfica crean en salida un archivo con las instrucciones de trazado, que luego se graba en una cinta magnética. Las representaciones contenidas en dicha cinta magnética son ejecutadas en la D.A.P.G. mediante un graficador automático BENSON 12222, asociado a una unidad lectora BENSON 491/1. Por una discusión más detallada referimos a Gelós G. y Spangenberg J. (1983).

La mayoría de los programas empleados en este trabajo fueron transmitidos a la DI.NA.MI.GE. por parte del B.R.G.M., en el marco de la transferencia tecnológica establecida en el contrato entre ambas instituciones. Los programas fueron instalados, adaptados y en algunos casos corregidos por personal de la D.A.P.G..

3.2. Tratamiento e interpretación de los datos

La totalidad de la información disponible sobre las 309 muestras pedogeoquímicas se sometieron a un análisis exhaustivo. En esta sección presentamos los resultados de los diferen-

tes tratamientos estadísticos y cartográficos, y su interpretación.

3.2.1. Estudio de la distribución de los elementos

3.2.1.1. Pretratamiento estadístico

- Parámetros estadísticos elementales

Los parámetros estadísticos elementales de tendencia central (medias aritmética y geométrica) y de dispersión (intervalo de variación, desviación estándar, desviación geométrica y coeficiente de variación) fueron calculados para todas las variables sobre el conjunto global de muestras (ver tabla 5).

Las concentraciones de Sb y Cd no superan en ninguna muestra el límite inferior de dosificación y, por consiguiente, no figuran en la tabla 5. Estas dos variables no fueron consideradas a lo largo del análisis de datos.

El valor máximo medido para el manganeso es sumamente elevado y revela la presencia de una localidad fuertemente anómala en dicho elemento.

Los parámetros estimados para el B, As, Ag, Sn, W, Mo y Nb ponen en evidencia que sólo un bajo número de muestras sobrepasa los correspondientes límites de dosificación analítica, p. ej.: únicamente dos muestras presentan un tenor en Sn superior a 20ppm, aunque de escasa significación (21 y 22ppm).

Los coeficientes de variación del Mn (107%) y Cu (87%) son muy fuertes, y los del Pb (65%), Be (58%), Ni (55%) y Cr (53%) son bastante altos. Generalmente se considera que los coeficientes de variación superiores al 70% indican una tendencia lognormal de la distribución de los datos (Garrett R.G. et al, 1980). También señalamos que las diferencias relativas entre las medias

* PARAMETROS ESTADISTICOS ELEMENTALES *

* ESTUDIO SEMI-TACTICO *

* ELEMENTO *	* NUMERO DE * * MUESTRAS *	* VALOR * * MINIMO *	* VALOR * * MAXIMO *	* MEDIA * * ARITM. *	* DESVIACION * * ESTANDAR *	* COEFICIENTE * * VARIACION *	* MEDIA * * GEOMETRICA *	* DESVIACION * * GEOMETRICA *
* FE2X *	* 309 *	* 1.54 *	* 13.41 *	* 5.80 *	* 2.28 *	* 0.39 *	* 5.39 *	* 1.48 *
* MN *	* 309 *	* 122.00 *	* 14040.00 *	* 1209.11 *	* 1288.99 *	* 1.07 *	* 877.81 *	* 2.21 *
* BA *	* 309 *	* 194.00 *	* 939.00 *	* 423.15 *	* 128.47 *	* 0.30 *	* 405.53 *	* 1.36 *
* P *	* 309 *	* 145.00 *	* 1290.00 *	* 458.71 *	* 186.67 *	* 0.41 *	* 424.23 *	* 1.50 *
* V *	* 309 *	* 27.00 *	* 313.00 *	* 82.77 *	* 35.64 *	* 0.43 *	* 76.93 *	* 1.48 *
* B *	* 309 *	* 10.00 *	* 29.00 *	* 11.87 *	* 3.47 *	* 0.29 *	* 11.49 *	* 1.29 *
* AS *	* 309 *	* 20.00 *	* 154.00 *	* 20.82 *	* 8.92 *	* 0.43 *	* 20.32 *	* 1.22 *
* PB *	* 309 *	* 10.00 *	* 133.00 *	* 14.85 *	* 9.69 *	* 0.65 *	* 13.44 *	* 1.50 *
* ZN *	* 309 *	* 36.00 *	* 274.00 *	* 76.60 *	* 28.68 *	* 0.37 *	* 72.53 *	* 1.38 *
* CJ *	* 309 *	* 10.00 *	* 224.00 *	* 28.85 *	* 25.10 *	* 0.87 *	* 23.73 *	* 1.78 *
* NI *	* 309 *	* 10.00 *	* 79.00 *	* 20.56 *	* 11.38 *	* 0.55 *	* 18.19 *	* 1.63 *
* CR *	* 309 *	* 10.00 *	* 146.00 *	* 41.06 *	* 21.63 *	* 0.53 *	* 36.26 *	* 1.68 *
* AG *	* 309 *	* 0.20 *	* 0.60 *	* 0.20 *	* 0.06 *	* 0.31 *	* 0.20 *	* 1.15 *
* SN *	* 309 *	* 20.00 *	* 22.00 *	* 20.01 *	* 0.14 *	* 0.01 *	* 19.99 *	* 1.06 *
* W *	* 309 *	* 10.00 *	* 18.00 *	* 10.03 *	* 0.46 *	* 0.05 *	* 10.02 *	* 1.12 *
* MO *	* 309 *	* 2.00 *	* 9.00 *	* 2.09 *	* 0.53 *	* 0.25 *	* 2.06 *	* 1.18 *
* CO *	* 309 *	* 10.00 *	* 29.00 *	* 12.10 *	* 3.85 *	* 0.32 *	* 11.65 *	* 1.31 *
* BE *	* 309 *	* 1.00 *	* 8.00 *	* 2.55 *	* 1.48 *	* 0.58 *	* 2.22 *	* 1.68 *
* Y *	* 309 *	* 5.00 *	* 81.00 *	* 21.43 *	* 9.74 *	* 0.45 *	* 19.51 *	* 1.57 *
* NB *	* 309 *	* 10.00 *	* 21.00 *	* 10.12 *	* 0.88 *	* 0.09 *	* 10.08 *	* 1.11 *

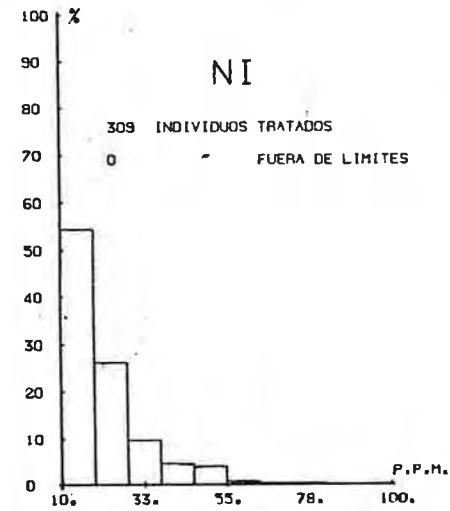
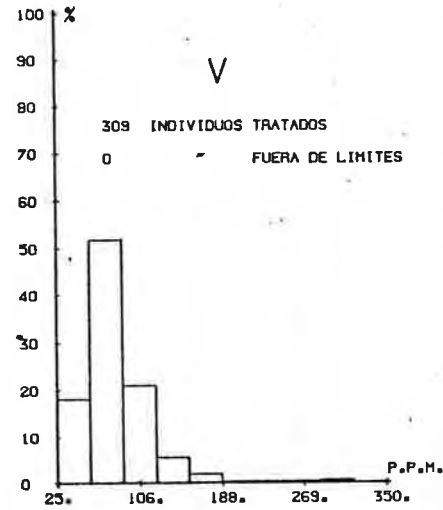
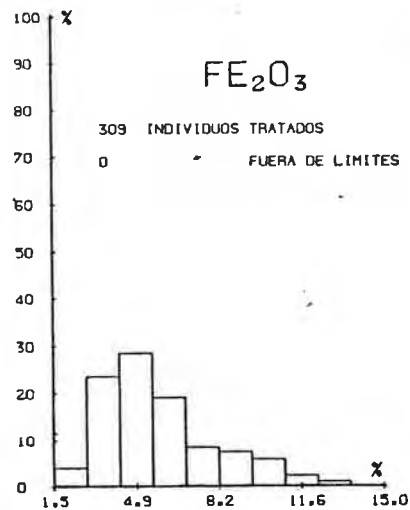
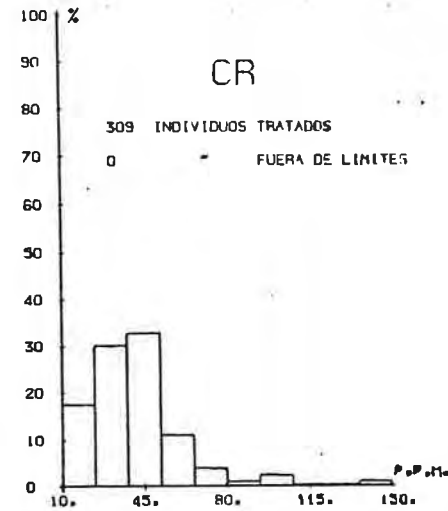
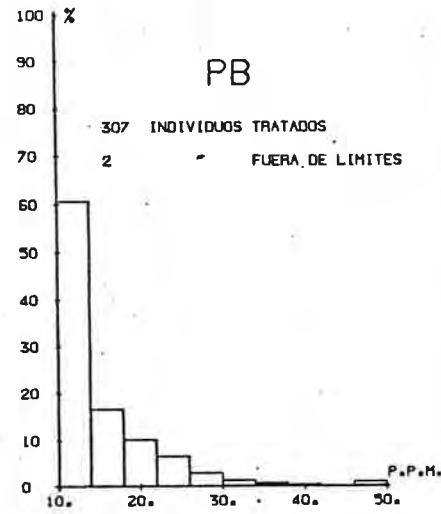
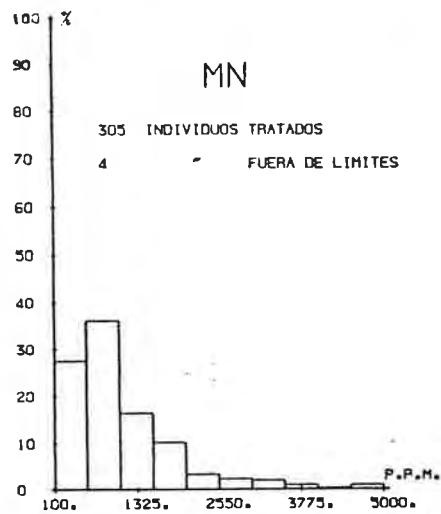
Tabla 5

aritméticas y geométricas de estos elementos son muy altas. La presencia de facies litológicas de quimismo muy variado, v. gr.: rocas volcánicas básicas, granitos, sienitas, ..., en el sector estudiado, al igual que la posible ocurrencia de una mineralización polimetálica, nos hacen presumir que las distribuciones de los elementos analizados son demasiado complejas como para poder extraer alguna conclusión a partir del examen de los parámetros calculados para la serie global de datos.

- Distribuciones de frecuencias. Transformaciones

Con el fin de examinar la forma de las distribuciones experimentales se procedió al trazado de histogramas y curvas de frecuencias acumuladas. El número de clases fue elegido considerando los valores obtenidos por la fórmula de Huntsberger y de Brook-Carruthers (pág. 23) para $n=309$, $k_1=9.2$ y $k_2 \leq 12.4$; y luego de algunos ensayos decidimos determinar los histogramas con 10 clases de amplitud igual. En las figuras 4 y 5 representamos los histogramas de frecuencias en valores naturales para aquellos elementos que muestran una variabilidad considerable (Fe, Mn, Ba, P, V, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr, Co e Y), y en las figuras 6 y 7 las respectivas curvas de frecuencias acumuladas. Análogamente, las figuras 8 y 9, y 10 y 11, exponen los histogramas y curvas de frecuencias acumuladas con los tenores en escala logarítmica. Las representaciones del berilio se muestran en la figura 12.

Las distribuciones de los tenores brutos de todos los elementos trazas son asimétricas, con sesgo positivo, y la mayoría presentan varias modas secundarias, particularmente a nivel de los tenores altos, p. ej.: los histogramas de Cu, Zn, Cr, ... Para el Co, Pb, Be, Ni y Cu y, en menor magnitud, también para el Cr y el Y, las distribuciones se encuentran truncadas inferiormente por los límites de dosificación analítica, indicando la presencia de unidades geoquímicas pobres en dichos elementos. Al representar a los tenores en una escala logarít-

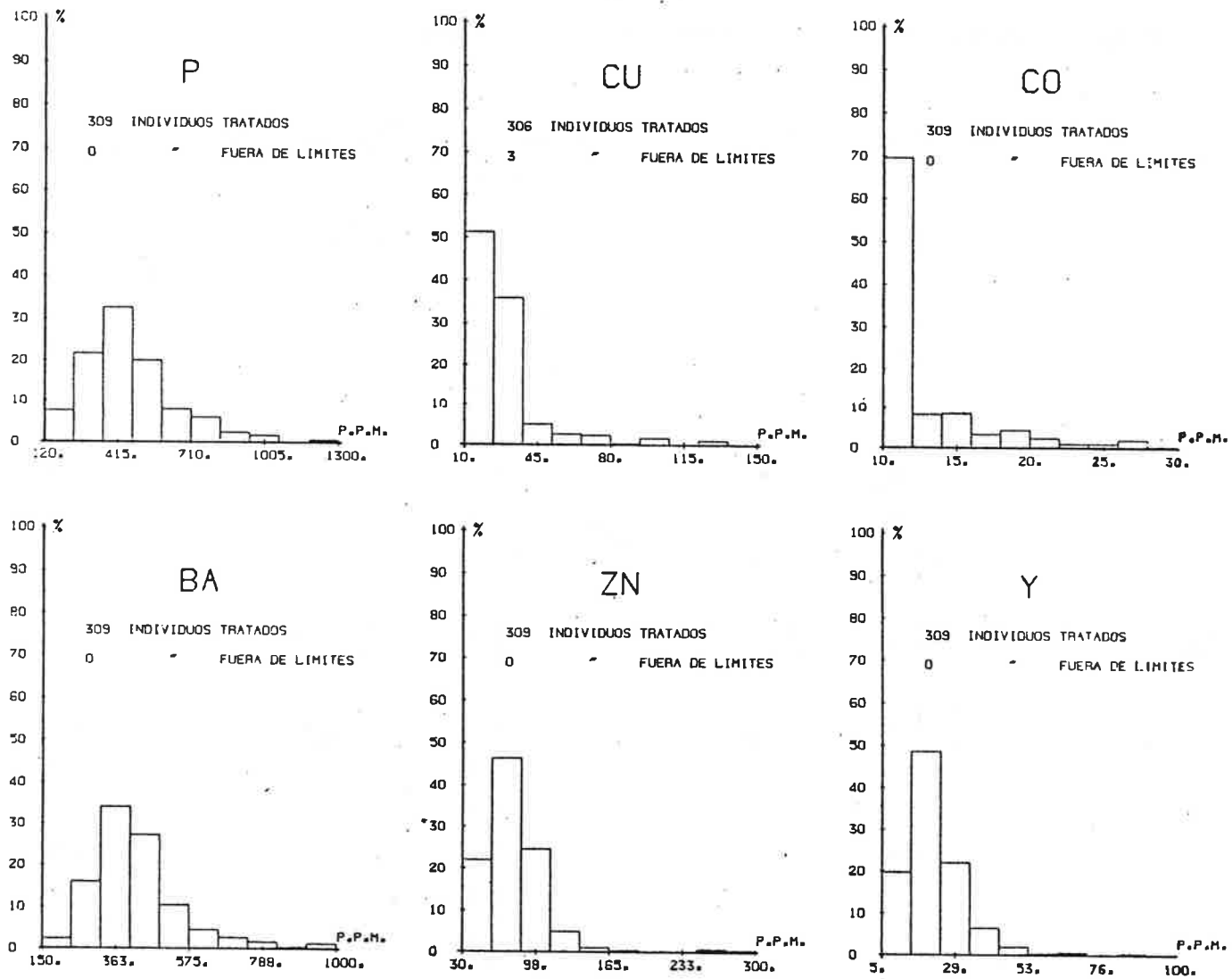


HISTOGRAMAS DE FRECUENCIAS

* ESTUDIO DE DISTRIBUCIONES *

* VALORES NATURALES *

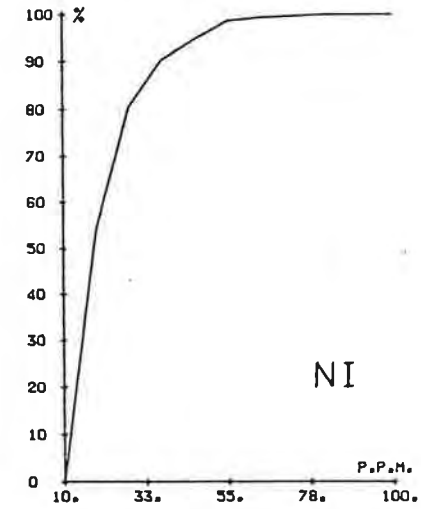
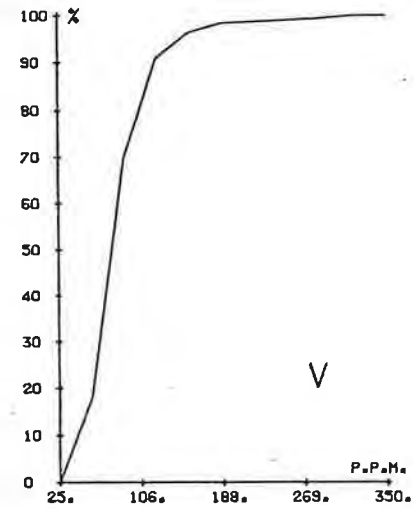
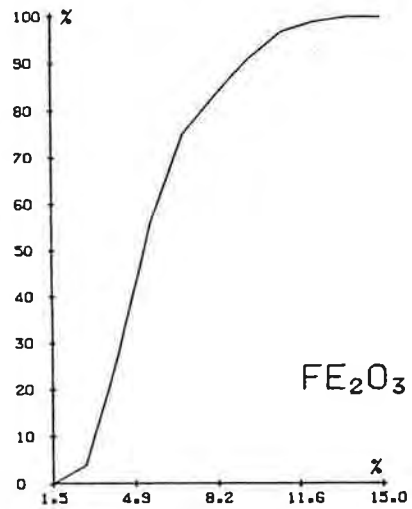
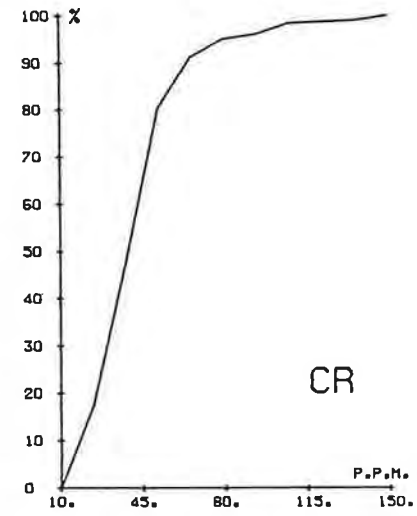
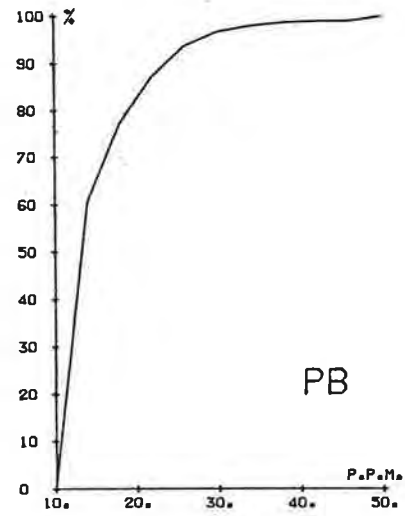
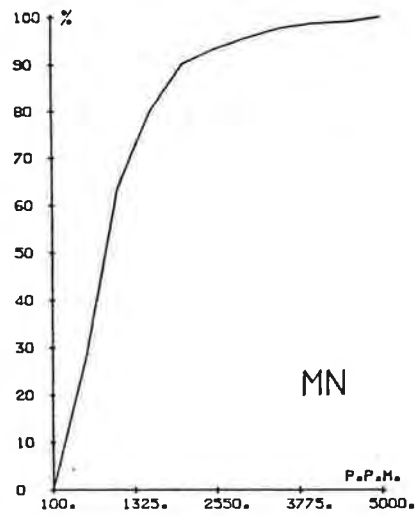
Figura 4



HISTOGRAMAS DE FRECUENCIAS

* ESTUDIO DE DISTRIBUCIONES * * VALORES NATURALES *

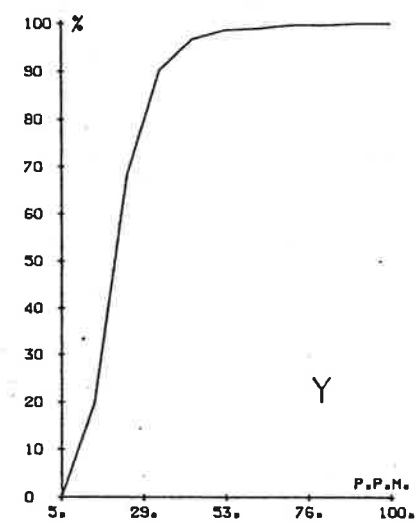
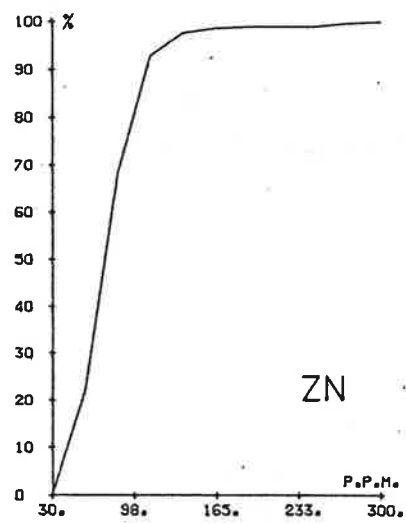
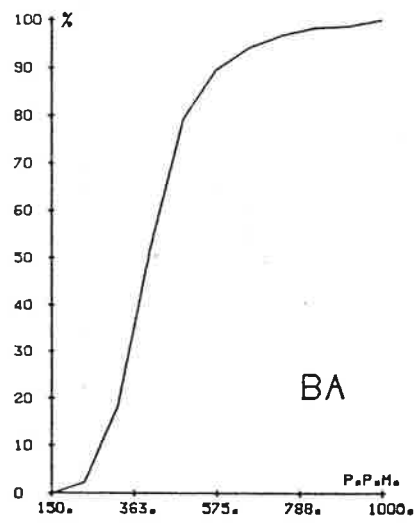
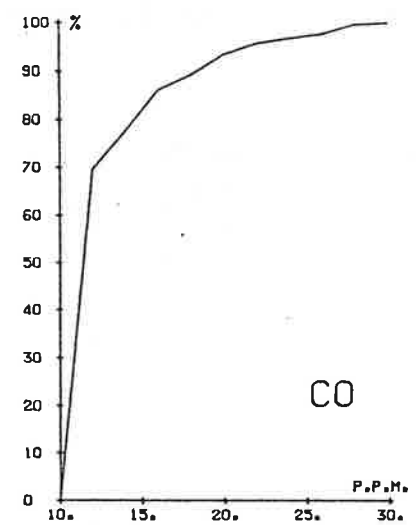
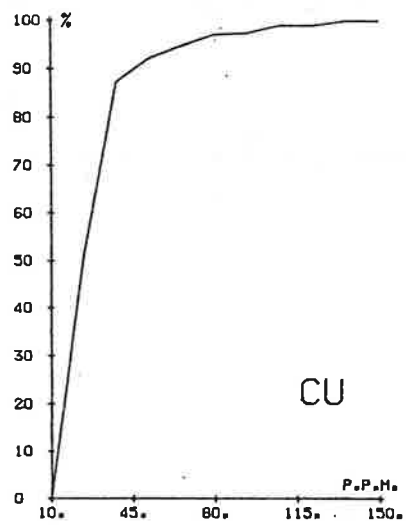
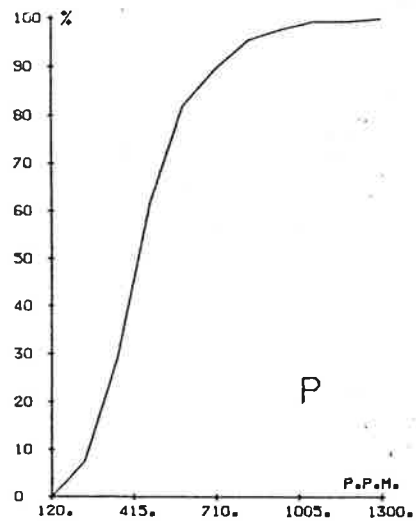
Figura 5



* ESTUDIO DE DISTRIBUCIONES *

* VALORES NATURALES *

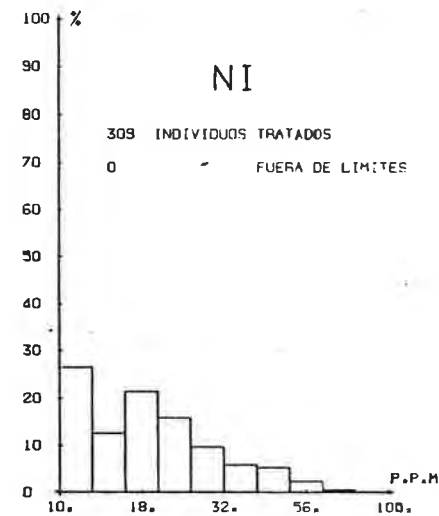
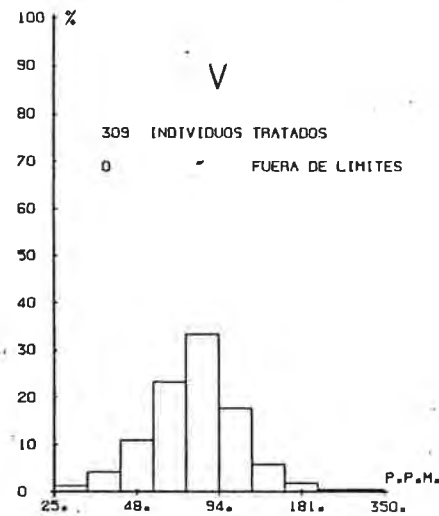
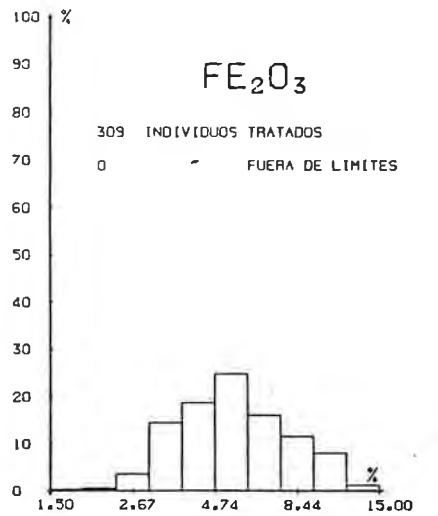
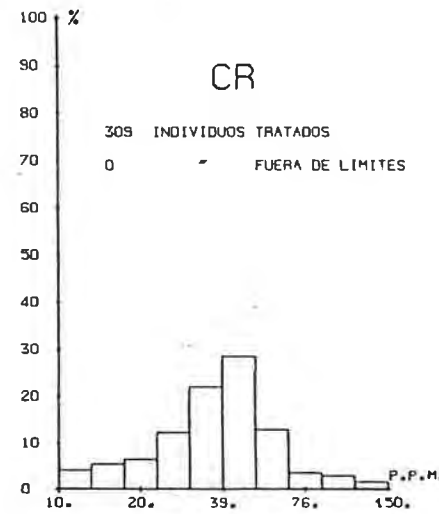
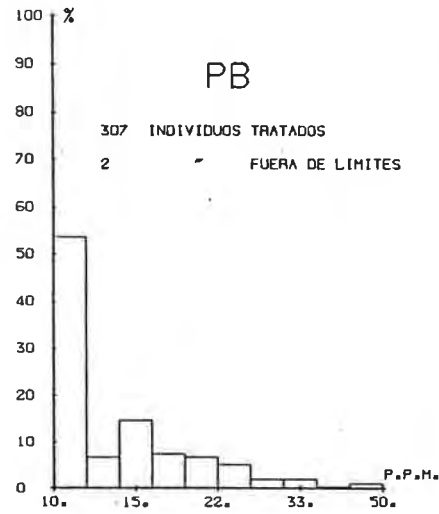
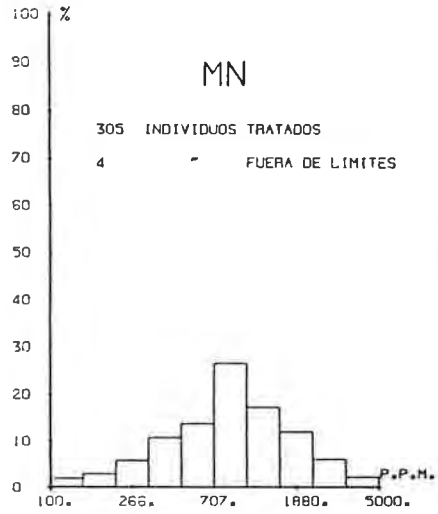
Figura 6



* ESTUDIO DE DISTRIBUCIONES *

* VALORES NATURALES *

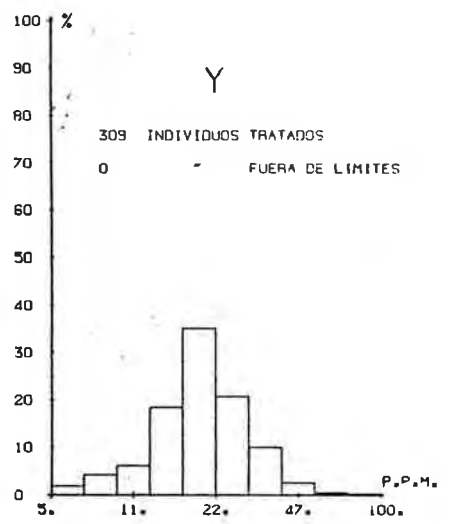
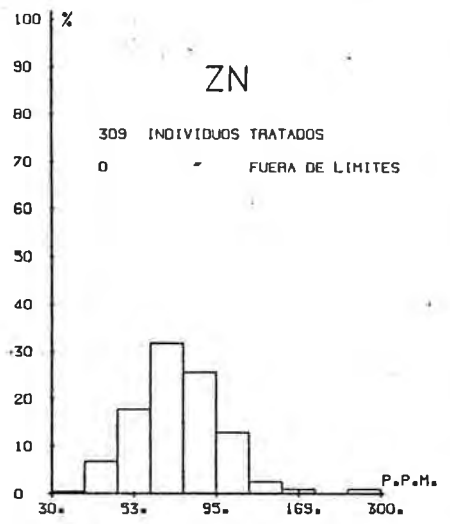
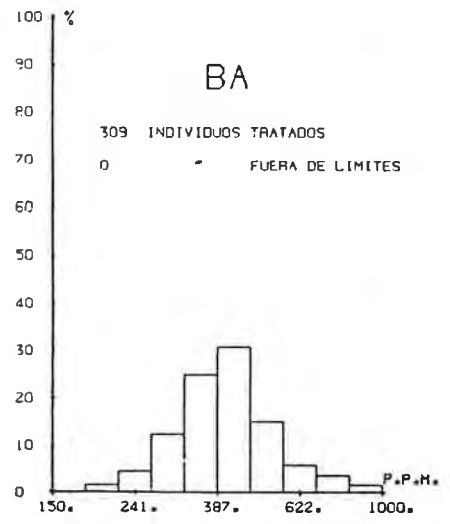
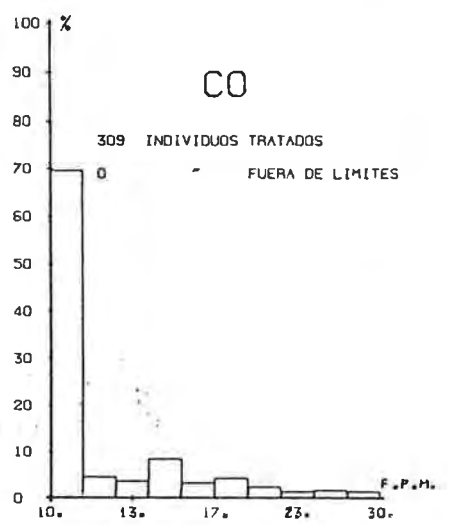
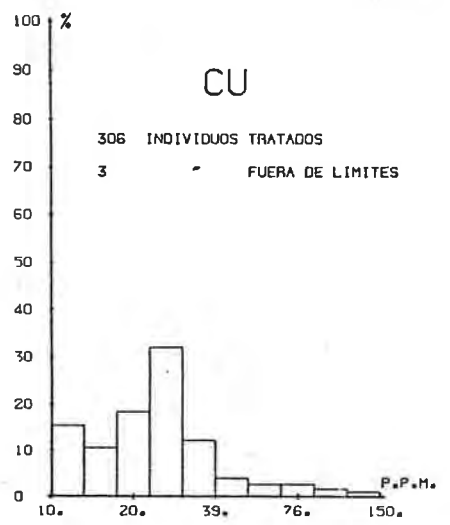
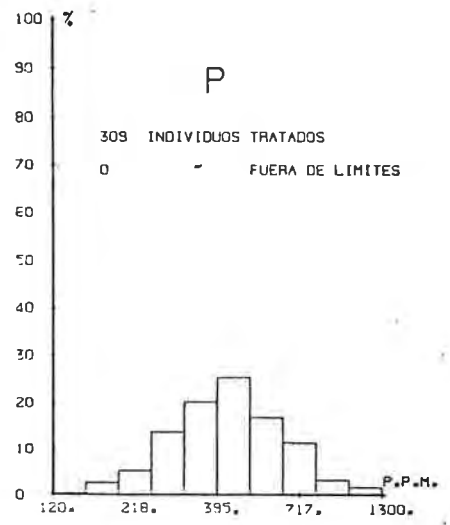
Figura 7



HISTOGRAMAS DE FRECUENCIAS

* ESTUDIO DE DISTRIBUCIONES * * VALORES LOGARITMICOS *

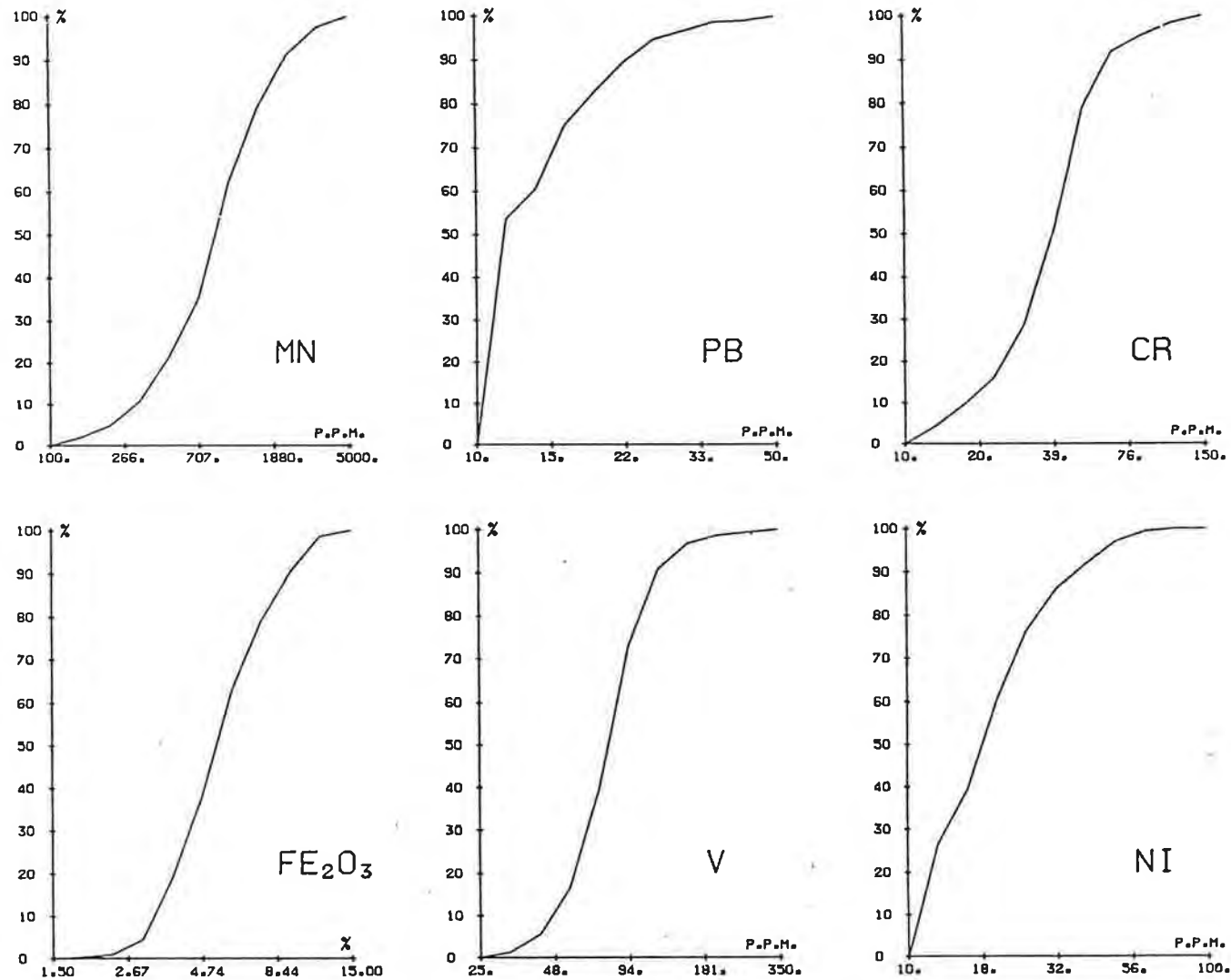
Figura 8



HISTOGRAMAS DE FRECUENCIAS

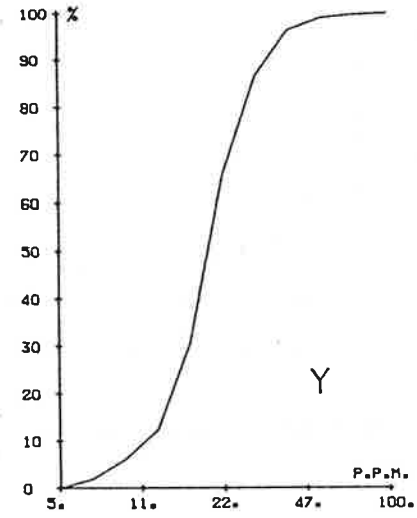
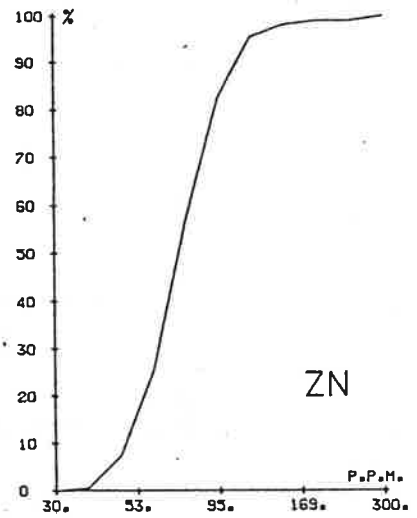
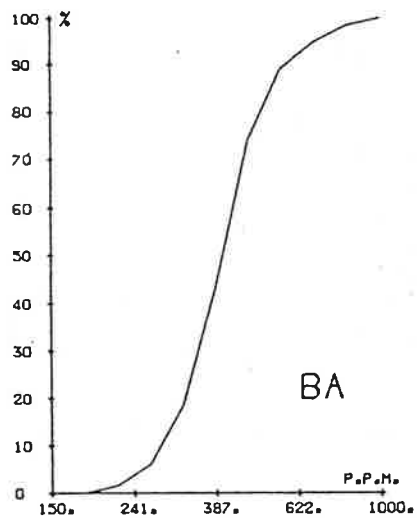
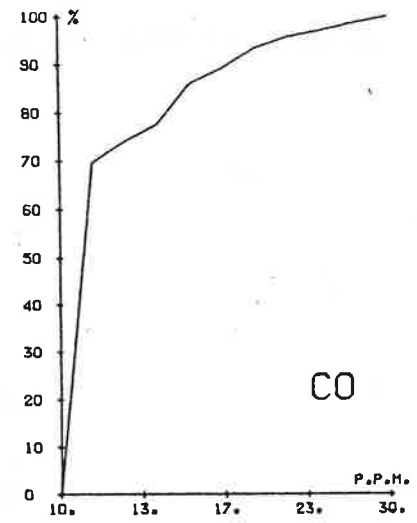
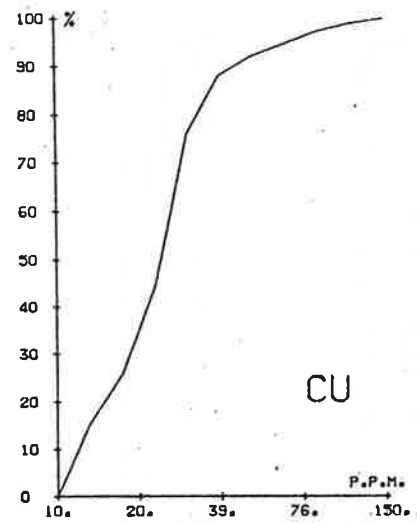
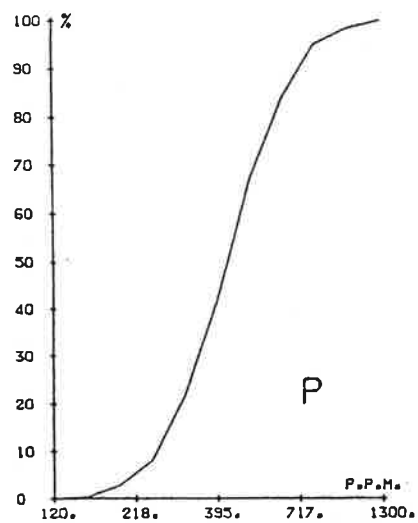
* ESTUDIO DE DISTRIBUCIONES * * VALORES LOGARITMICOS *

Figura 9



* ESTUDIO DE DISTRIBUCIONES * * VALORES LOGARITMICOS *

Figura 10



* ESTUDIO DE DISTRIBUCIONES *

* VALORES LOGARITMICOS *

Figura 11

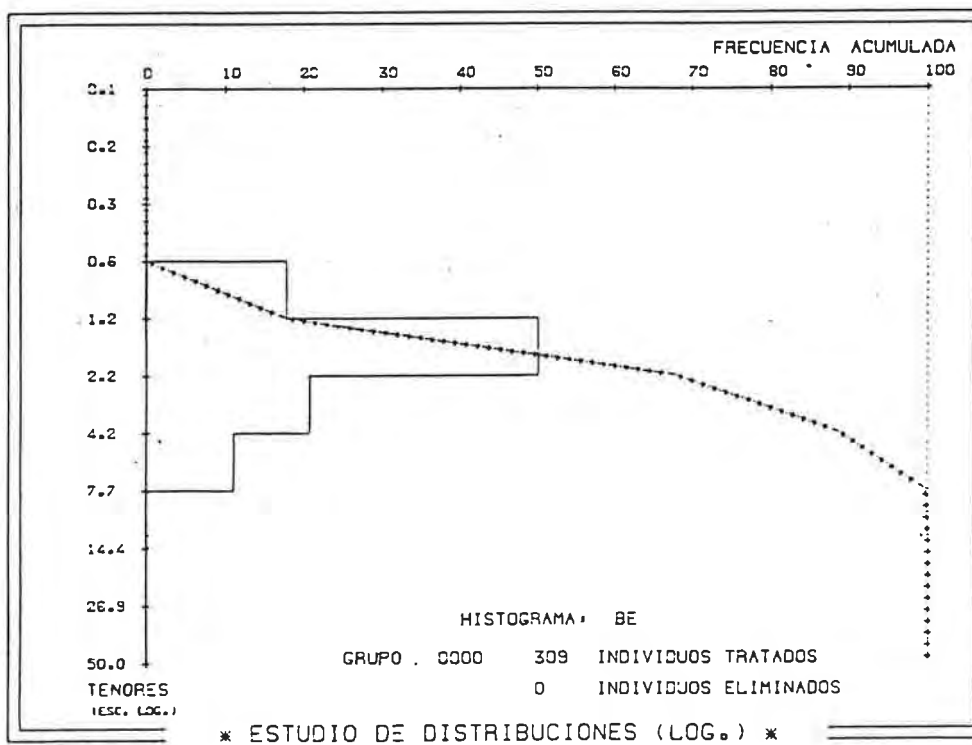
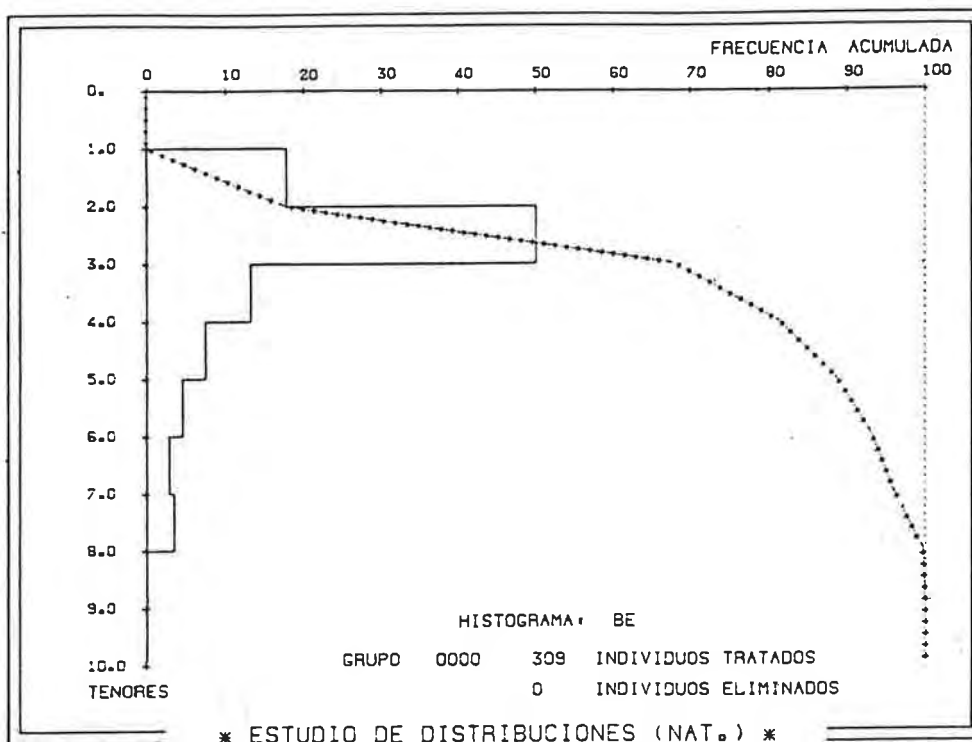


Figura 12

mica se obtienen curvas más regulares, poniendo de manifiesto una cierta tendencia a la lognormalidad de las distribuciones observadas. Tal es el caso del Ba, P, Zn, Y, V, Fe, Mn y Be. No obstante, algunas distribuciones no se comportan de la misma forma. El histograma logarítmico del Cr muestra una sensible disimetría negativa, y las curvas del Cu, Pb y Ni son fuertemente asimétricas y complejas. Estas impresiones podemos comprobarlas en forma cuantitativa, mediante diferentes pruebas estadísticas.

En la tabla 6 damos los parámetros de sesgado y curtosis de las distribuciones, coeficientes g_1 y g_2 de Fisher, calculados sobre los valores brutos y los transformados logarítmicamente. Queda confirmado que todos los elementos presentan una distribución con asimetría positiva, significativa a un nivel de confianza del 95%. El coeficiente de sesgado más elevado fue obtenido para el Pb, y el más bajo para el Fe. Se observa en general que la disimetría es inferior para los elementos más abundantes (Fe, P, Ba, ...); aunque para el Mn, g_1 es relativamente alto, posiblemente debido a la distorsión de la distribución por la presencia de concentraciones excepcionales en algunas localidades de muestreo.

El hierro presenta una distribución mesocúrtica con un coeficiente de curtosis positivo ($g_2=0.28$), que no difiere significativamente del de una distribución normal. Los otros elementos analizados muestran distribuciones francamente leptocúrticas, y las curtosis estimadas son muy elevadas para algunos de ellos, p. ej.: Pb, Zn y Cu.

Al transformar logarítmicamente los datos, el coeficiente de sesgado disminuye en forma importante, y para el Y, Cr y P llega aún a ser negativo. Los valores de g_1 del P, Fe, Cr y Mn no difieren significativamente del de una distribución normal. Para el Pb y el Co las estimatrices del sesgado se ven fuertemente distorsionadas por la gran proporción de muestras con tenores de-

Elemento	Sesgado (g_1 de Fisher)		Curtosis (g_2 de Fisher)	
	Naturales	Logaritmos	Naturales	Logaritmos
Fe ₂ O ₃ (309)	0.901 S	0.078 NS	0.28 NS	-0.39 NS
Mn (305)	1.819 S	0.278 PS	4.17 S	-0.04 NS
Ba (309)	1.376 S	0.338 S	2.68 S	0.54 PS
P (309)	1.243 S	-0.007 NS	2.33 S	0.02 NS
V (309)	2.615 S	0.299 S	11.72 S	1.43 S
Pb (307)	6.723 S	1.652 S	71.28 S	3.86 S
Zn (.09)	2.861 S	0.600 S	14.86 S	1.59 S
Cu (306)	2.864 S	0.665 S	9.88 S	0.95 S
Ni (309)	1.748 S	0.568 S	3.73 S	-0.35 NS
Cr (309)	1.829 S	-0.208 NS	5.43 S	0.34 NS
Co (309)	2.222 S	1.716 S	4.66 S	2.07 S
Be (309)	1.541 S	0.298 PS	1.99 S	-0.21 NS
Y (309)	1.802 S	-0.290 PS	6.50 S	0.98 S

Tabla 6: Coeficientes de Fisher para el sesgado (g_1) y curtosis (g_2) de los datos brutos y log-transformados. Entre paréntesis se da el número de muestras involucradas en su cálculo. Para $n = 309$, los valores críticos son:

$$5\% : \quad g_1 = 0.226 , \quad g_2(\text{inf}) = -0.41 \quad g_2(\text{sup}) = 0.47$$

$$1\% : \quad g_1 = 0.322 , \quad g_2(\text{inf}) = -0.54 \quad g_2(\text{sup}) = 0.79$$

NS: no significativo; PS: posiblemente significativo y S: significativo.

bajo de los respectivos límites de dosificación.

Las características de curtosis se aproximan a cero al emplear los valores logarítmicos, lo que se evidencia en la notoria disminución del coeficiente g_2 para las distribuciones del Pb, Zn, V y Cu. La magnitud de la curtosis de los tenores de P, Mn, Be, Fe, Cr y Ni ($\alpha=5\%$), y Ba ($\alpha=1\%$) es trivial, y podemos calificar sus distribuciones de mesocúrticas. Por el contrario, las distribuciones del Cu, Y, V, Zn, Co y Pb son netamente leptocúrticas.

También utilizamos la prueba de bondad de ajuste de chi-cuadrado sobre los datos brutos y sus valores logarítmicos. Como lo manifiestan los resultados dados en la tabla 7, ningún elemento muestra una distribución empírica normal. En el caso del P, V, Zn y Mn no nos podemos oponer a la hipótesis de lognormalidad, ya que $\chi^2' < \chi^2$ (0.05). Para el Co, Pb y Cu, el valor de chi-cuadrado aumenta al emplear logaritmos, y para los demás elementos disminuye, poniendo en evidencia una desviación de la lognormalidad menor que respecto a la normalidad.

Ensayamos la transformación raíz cuadrada, recomendada cuando las distribuciones experimentales están truncadas inferiormente por el límite de dosificación analítica y, por consiguiente, se presume una distribución del tipo de Poisson. En la tabla 8 comparamos los coeficientes de simetría y curtosis del Pb, Zn, Ni, Co y Be, determinados sobre los tenores brutos y los transformados logarítmica- y raíz-cuadráticamente. El sesgado señala que ninguna de las dos transformaciones probadas logra regularizar las distribuciones observadas para estos elementos. Sólo la distribución de los valores raíz cuadráticos del Be es mesocúrtica, y los otros cuatro elementos continúan mostrando distribuciones leptocúrticas. El test de chi-cuadrado acepta la hipótesis nula para los tenores de Zn transformados por raíz cuadrada ($\chi^2' = 2.38 < \chi^2$ (10,0.10) = 6.25). La distribución empírica del Zn puede, entonces, asimilarse tanto a una distribución logarítmonormal como

Elemento	Valores naturales			Valores logarítmicos		
	GL	χ^2 '	$\chi^2_{0.05}$	GL	χ^2 '	$\chi^2_{0.05}$
Fe ₂ O ₃ (%)	5	67.0	11.1	4	11.3	9.49
Mn (ppm)	5	93.8	11.1	7	12.4	14.1
Ba	5	75.0	11.1	4	12.7	9.49
P	5	66.0	11.1	5	2.4	11.1
V	2	50.4	5.99	4	8.1	9.49
Pb	3	25.6	7.81	4	66.8	9.49
Zn	2	23.6	5.99	4	8.5	9.49
Cu	3	53.8	7.81	6	62.2	12.6
Ni	2	57.2	5.99	5	17.0	11.1
Cr	3	87.4	7.81	6	32.6	12.6
Co	5	80.5	11.1	5	182.6	11.1
Be	1	71.5	3.84	1	13.5	3.84
Y	2	31.1	5.99	5	23.7	11.1

Tabla 7: Valores de chi-cuadrado, χ^2 , para las distribuciones de los tenores brutos y los transformados logarítmicamente. GL: grados de libertad, $k-3$, con k el número de clases empleadas para la estimación de χ^2 '.

Elemento	Sesgado (g_1 de Fisher)			Curtosis (g_2 de Fisher)		
	Naturales	Logaritmos	Raíz cuadrada	Naturales	Logaritmos	Raíz cuadrada
Pb (307)	6.723 S	1.652 S	3.198 S	71.28 S	3.86 S	18.82 S
Zn (309)	2.861 S	0.600 S	1.531 S	14.86 S	1.59 S	5.66 S
Ni (309)	1.748 S	0.568 S	1.097 S	3.73 S	-0.35 NS	0.99 S
Co (309)	2.222 S	1.716 S	1.949 S	4.66 S	2.07 S	3.20 S
Be (309)	1.541 S	0.298 PS	0.952 S	1.99 S	-0.21 NS	0.58 PS

Tabla 8: Coeficientes de Fisher para el sesgado (g_1) y curtosis (g_2) de los tenores brutos, log-transformados y raíz cuadrada-transformados del Pb, Zn, Ni, Co y Be. Entre paréntesis indicamos el número de muestras involucradas en su cálculo. Para $n=309$, los valores críticos son:

$$\alpha = 5\% : \quad g_1 = 0.226 , \quad g_2(\text{inf}) = -0.41 \quad g_2(\text{sup}) = 0.47$$

$$\alpha = 1\% : \quad g_1 = 0.322 , \quad g_2(\text{inf}) = -0.54 \quad g_2(\text{sup}) = 0.79$$

NS: no significativo; PS: posiblemente significativo y S: significativo.

a una distribución de Poisson.

En las figuras 13 a 20 representamos los resultados del test de anamorfosis de Henry para el P (en naturales y logaritmos), Zn e Y (escala aritmética, logarítmica y raíz cuadrada). Este test gráfico confirma lo indicado por el test de bondad de ajuste de chi-cuadrado y las pruebas de simetría y curtosis. Si bien las transformaciones empleadas tienden a simetrizar las distribuciones, aún se observan quiebros en las curvas de Henry.

Concluimos que las distribuciones de frecuencias globales de los elementos trazas analizados (excluimos al Fe_2O_3) son leptocúrticas, con sesgo positivo y en su mayoría plurimodales. La complejidad de las distribuciones experimentales es una imagen de la heterogeneidad de los datos, y la interpretamos como debida a una mezcla de un conjunto de poblaciones geoquímicas diferenciadas, ya sea por fenómenos litológicos, pedológicos o metalogénicos. Veremos luego como es posible separar a estos conjuntos geoquímicos homogéneos. De los trece elementos examinados, nueve no se distribuyen lognormalmente (para un nivel de confianza del 95%), en oposición a la ley geoquímica fundamental establecida por Ahrens L.H. (1954a, 1954b, 1957). No obstante, la transformación logarítmica simple tiende a regularizar las distribuciones, disminuyendo el sesgado y la curtosis, y aproximándolas a un comportamiento normal. Algo similar sucede con la transformación raíz cuadrada. En el caso del Zn ambas transformaciones conducen a no rechazar la hipótesis de normalidad según el test de chi-cuadrado, y la distribución del Zn puede asimilarse a una lognormal o a una de Poisson. El empleo de las transformaciones directamente sobre la totalidad de las muestras es arriesgado y puede originar errores de interpretación, puesto que generalmente producen un aumento del solapamiento de las diferentes poblaciones, dificultando su reconocimiento y distinción. También es posible que las poblaciones separadas sigan una distribución regular, en oposición a la serie total de datos. Creemos que la

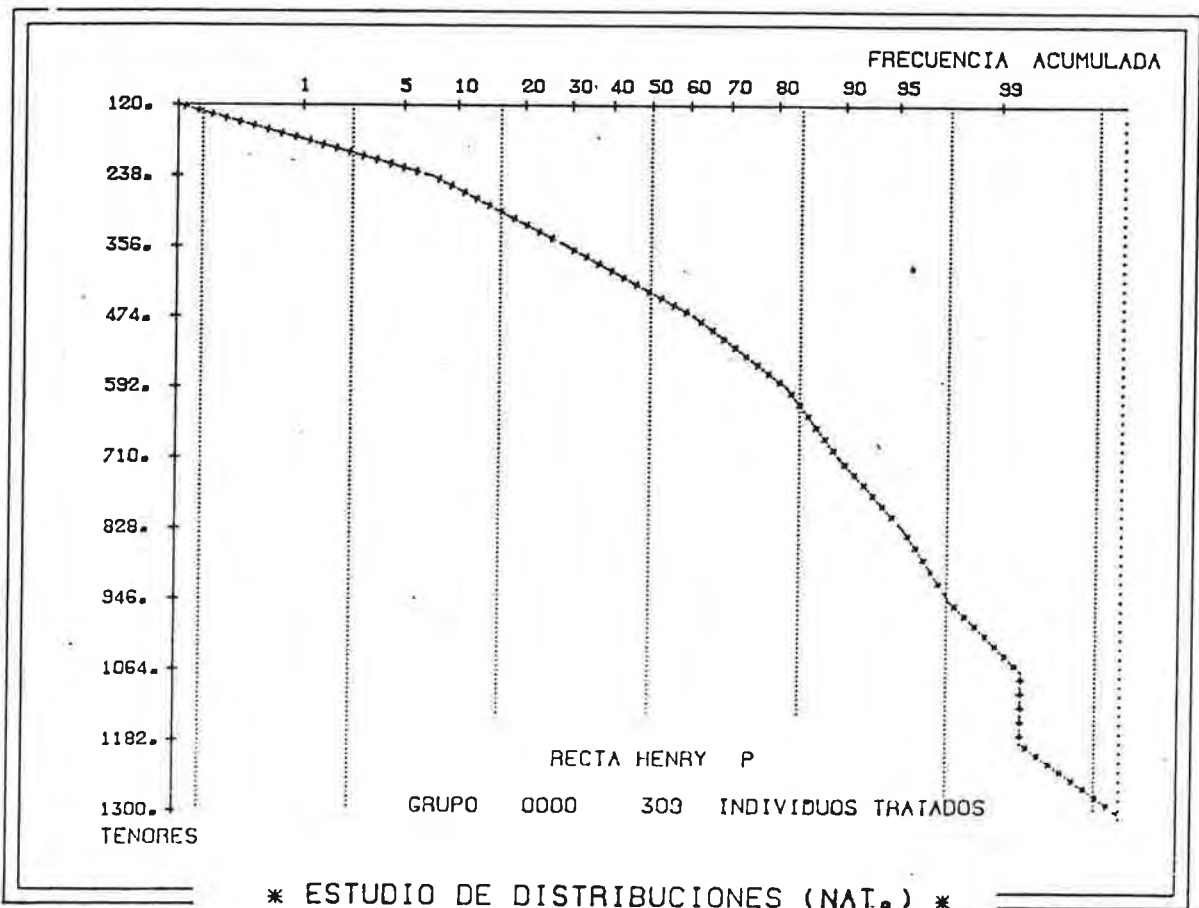
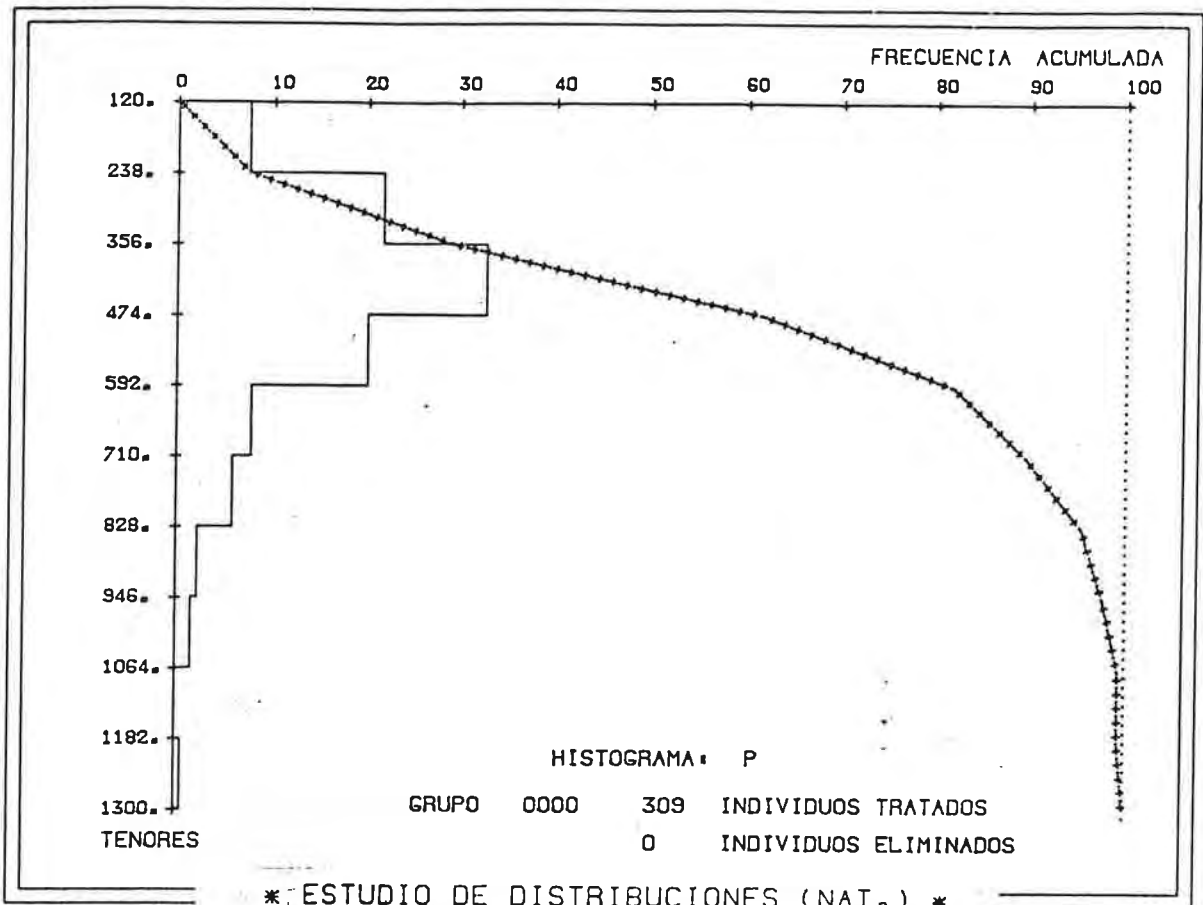


Figura 13

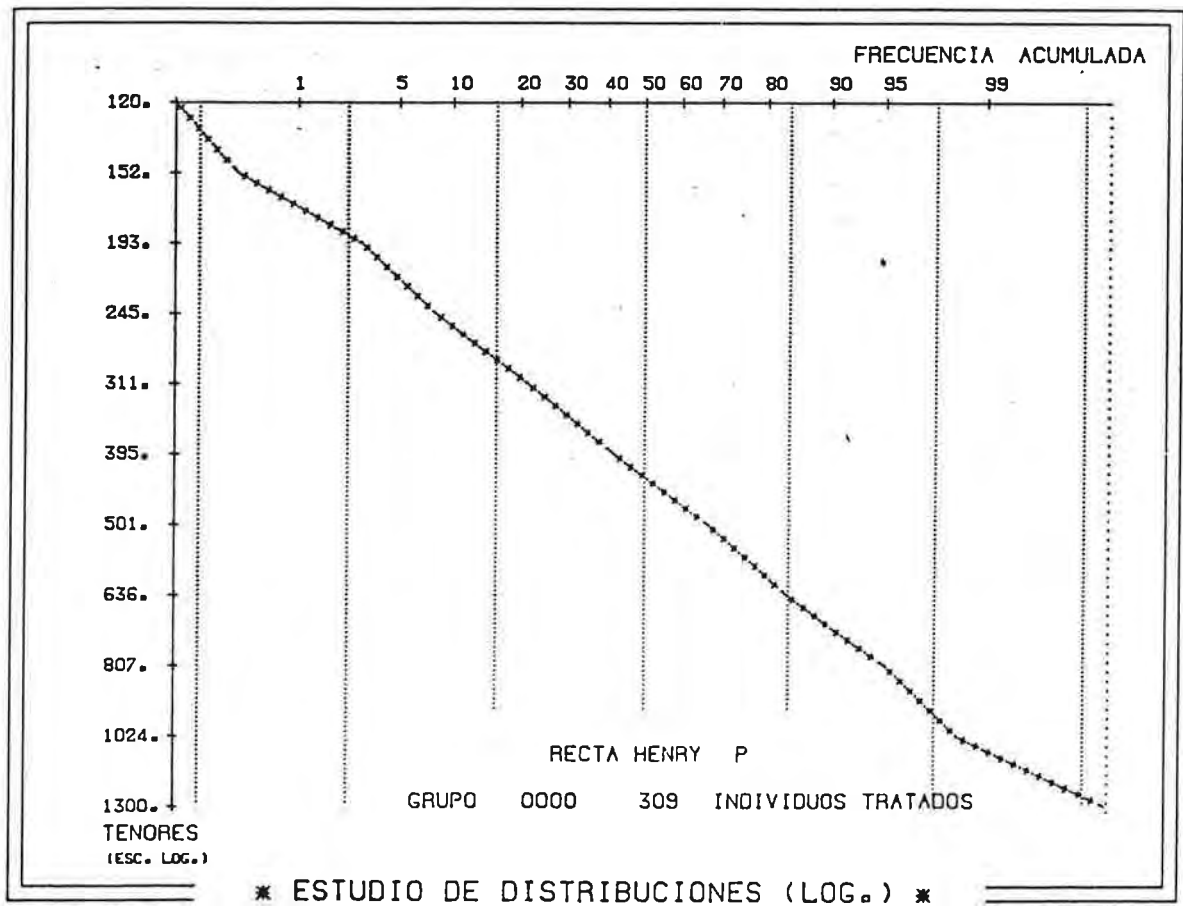
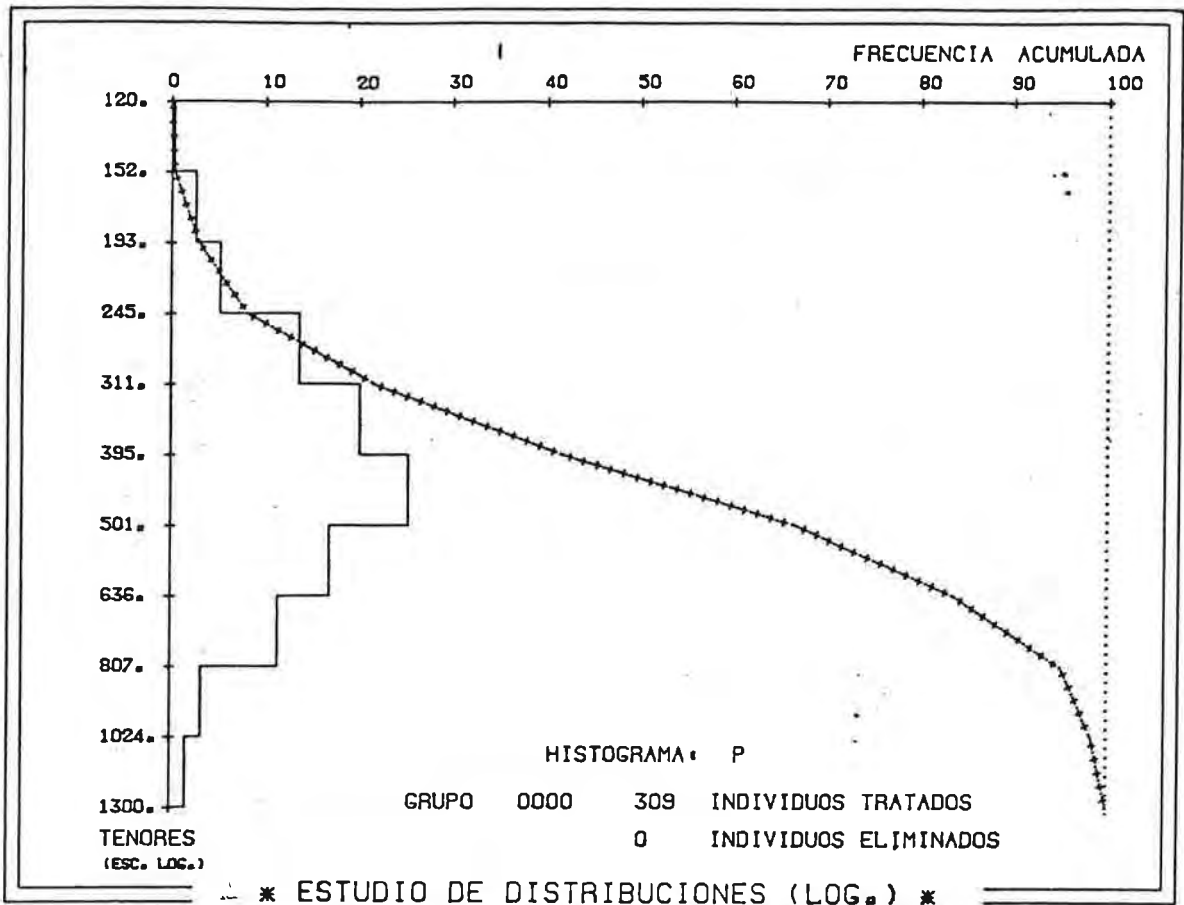


Figura 14

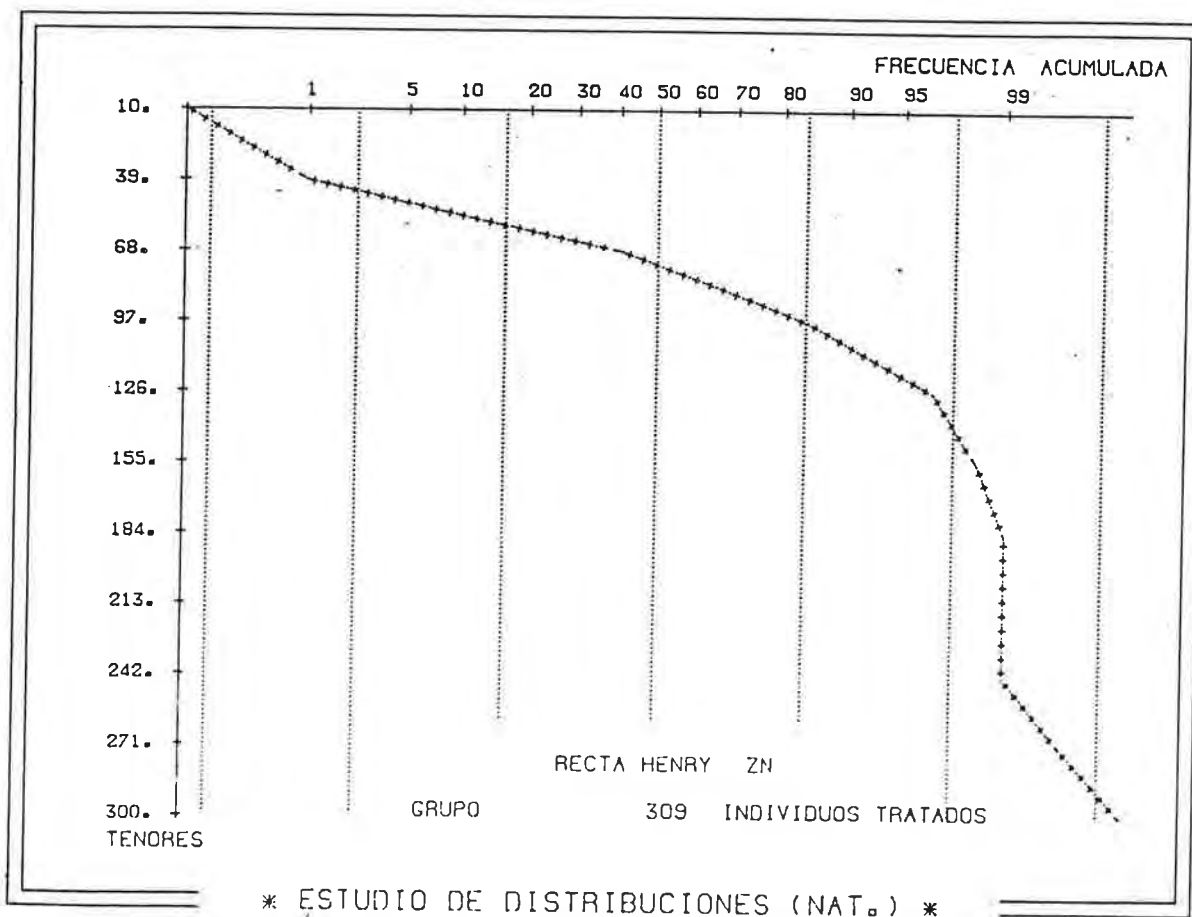
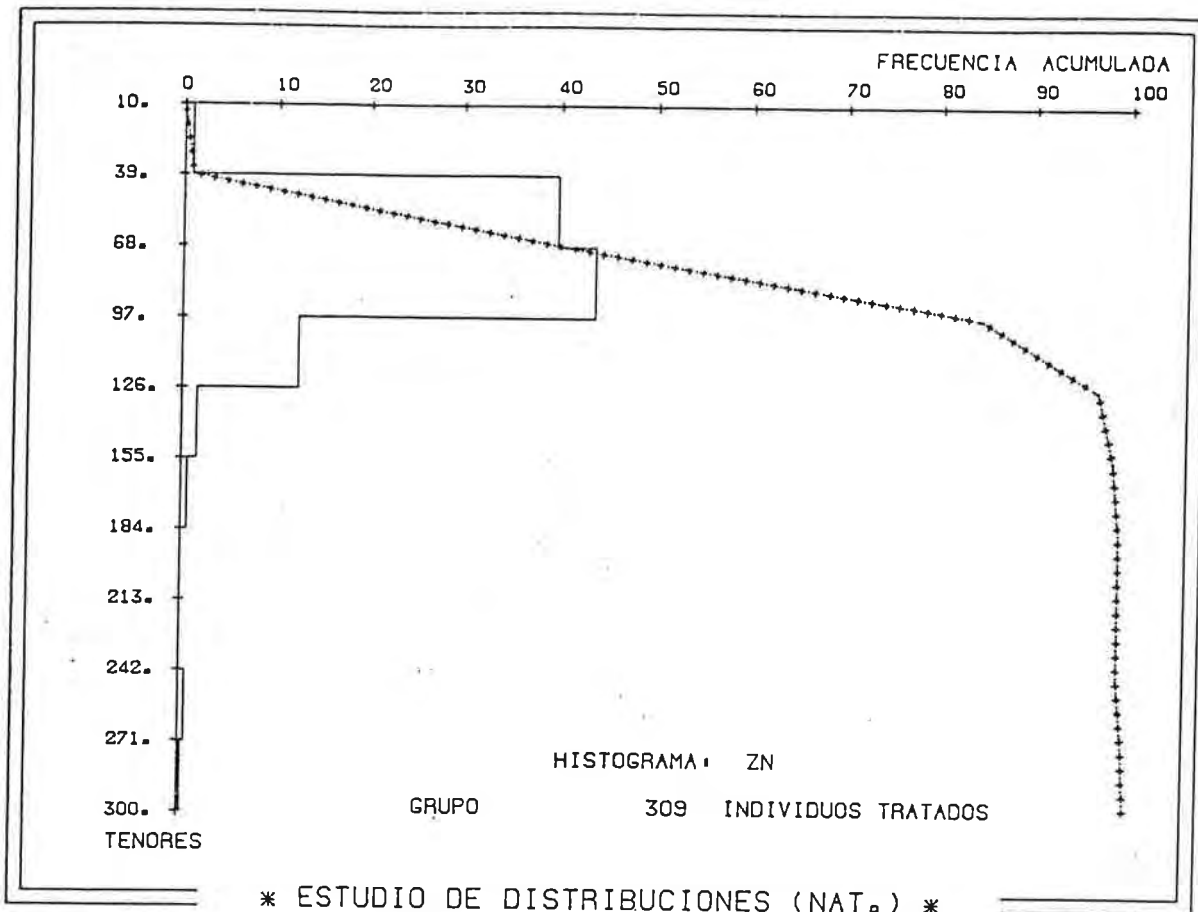


Figura 15

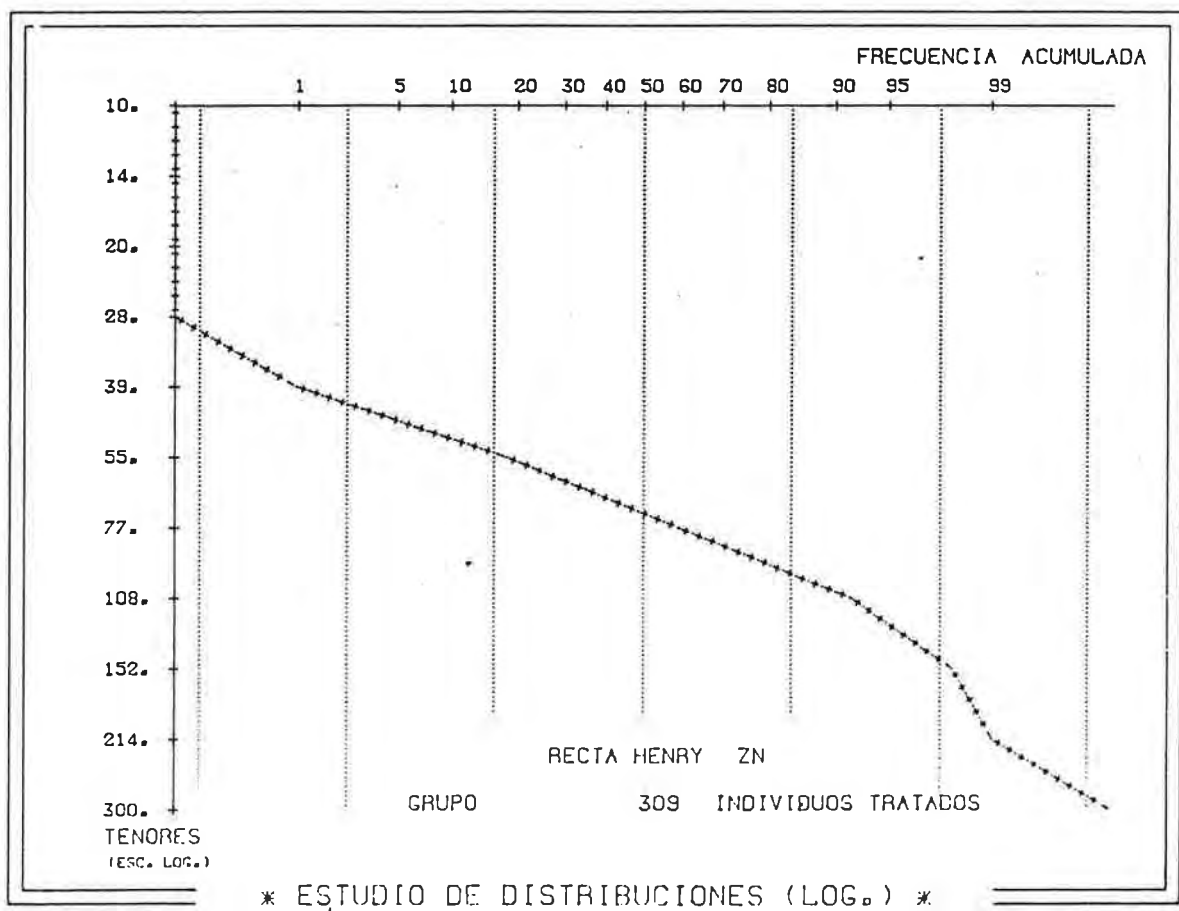
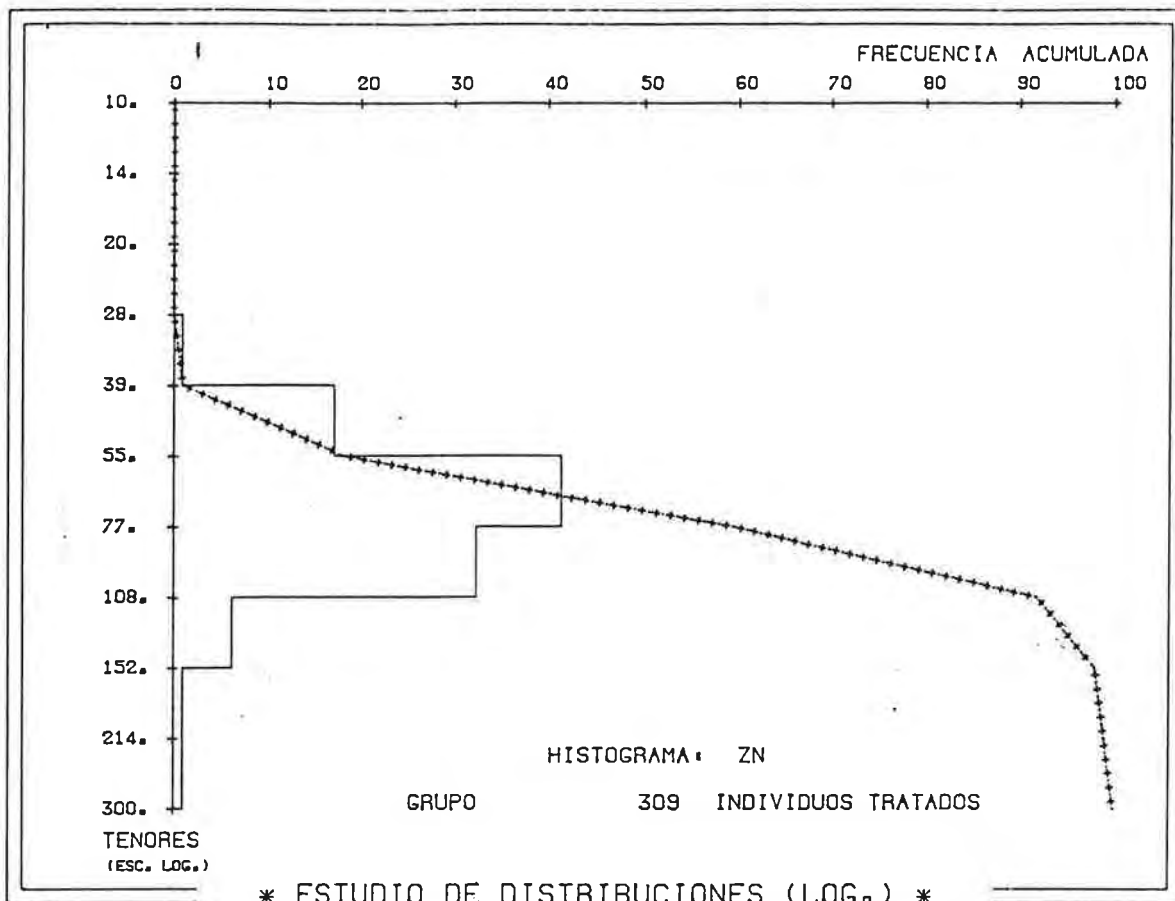


Figura 16

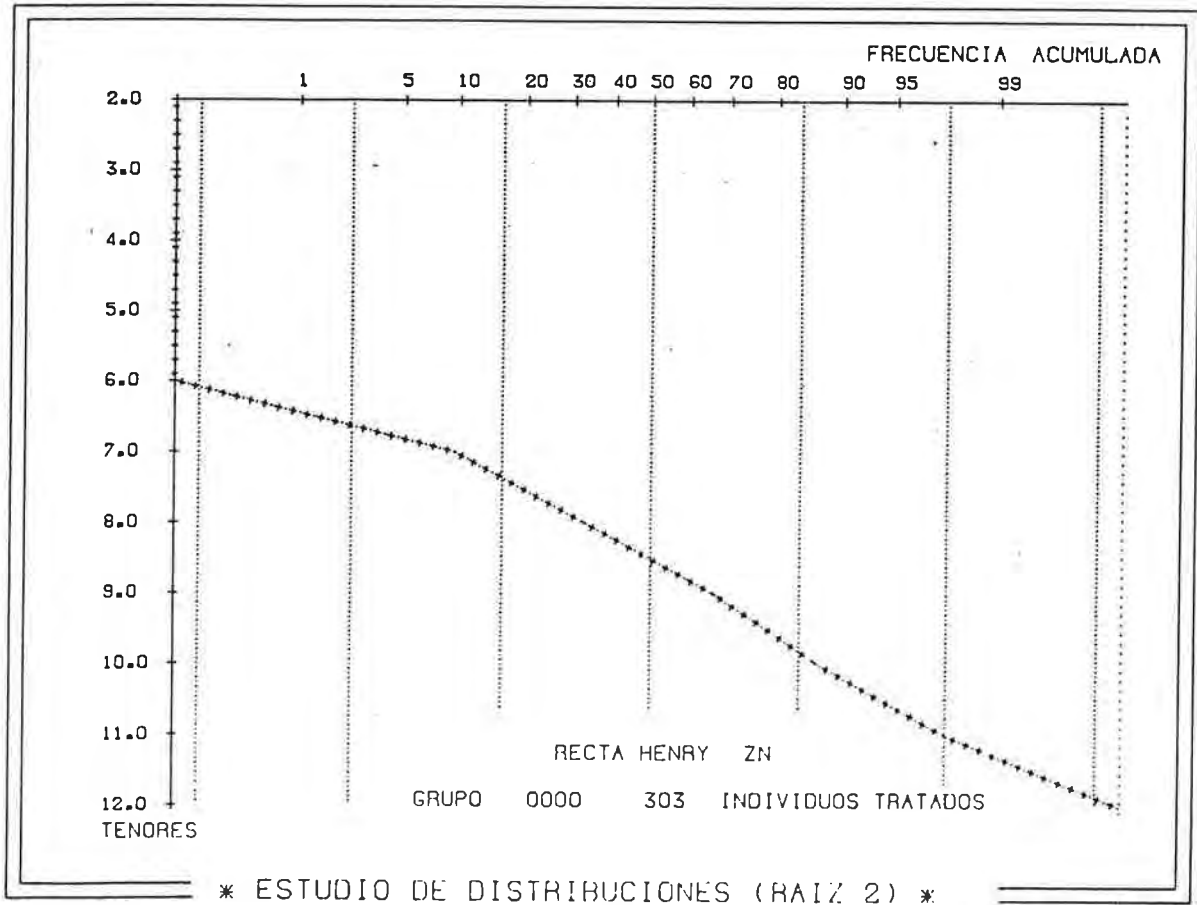
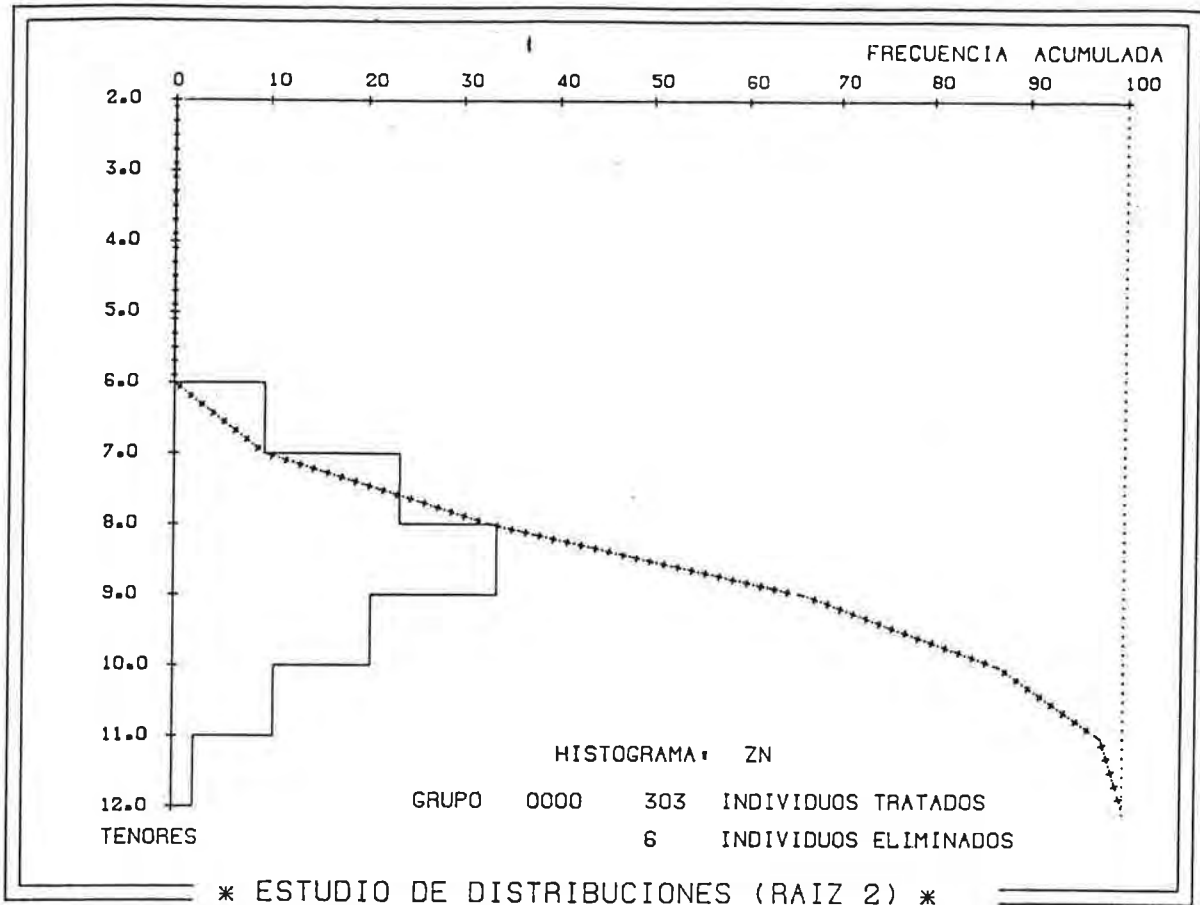


Figura 17

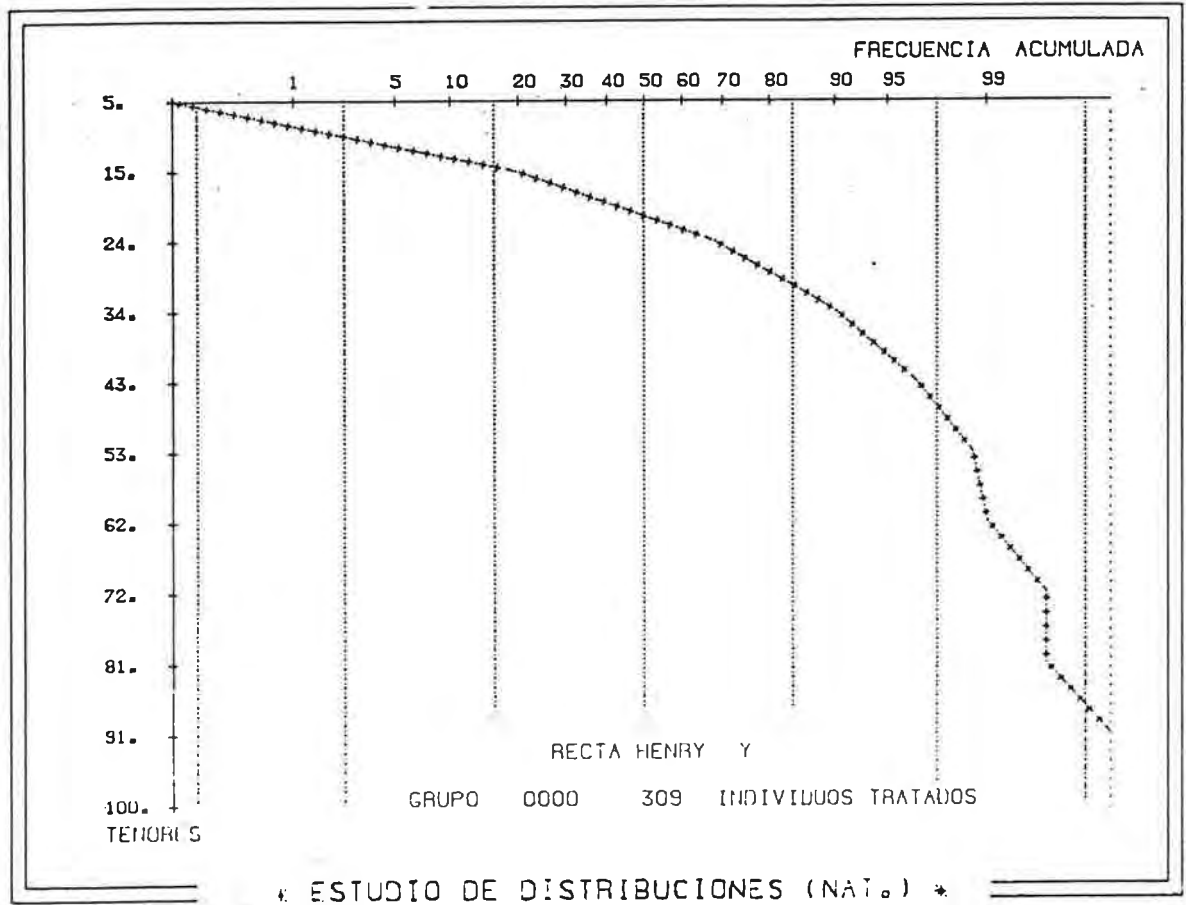
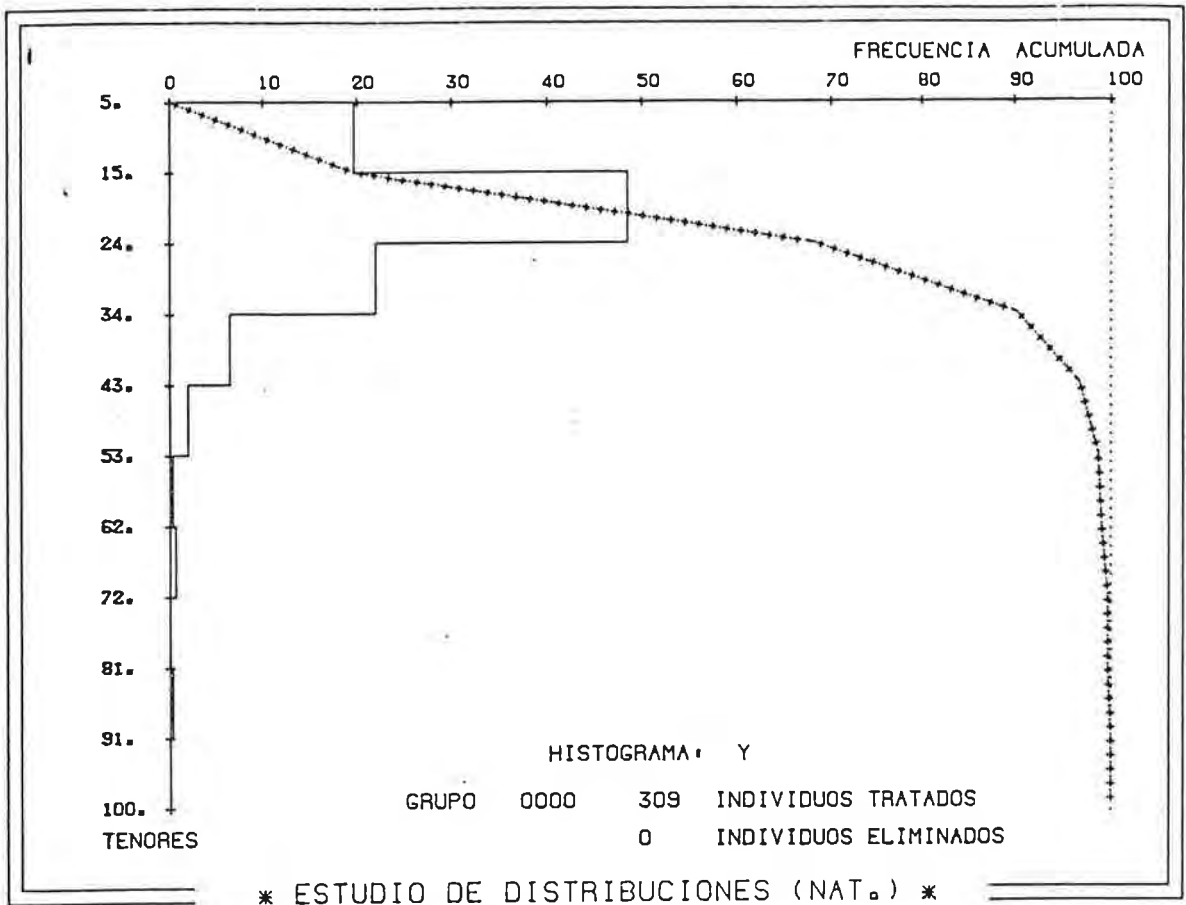


Figura 18

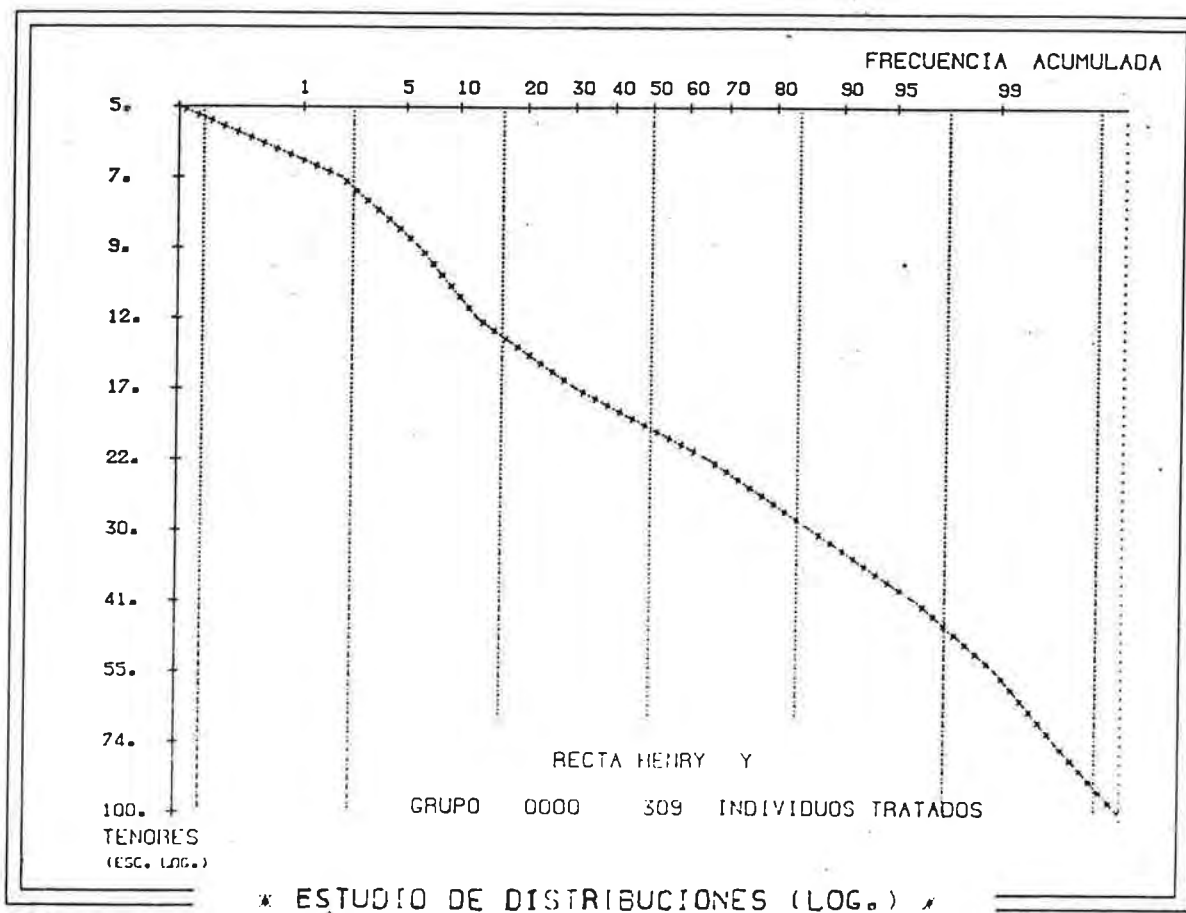
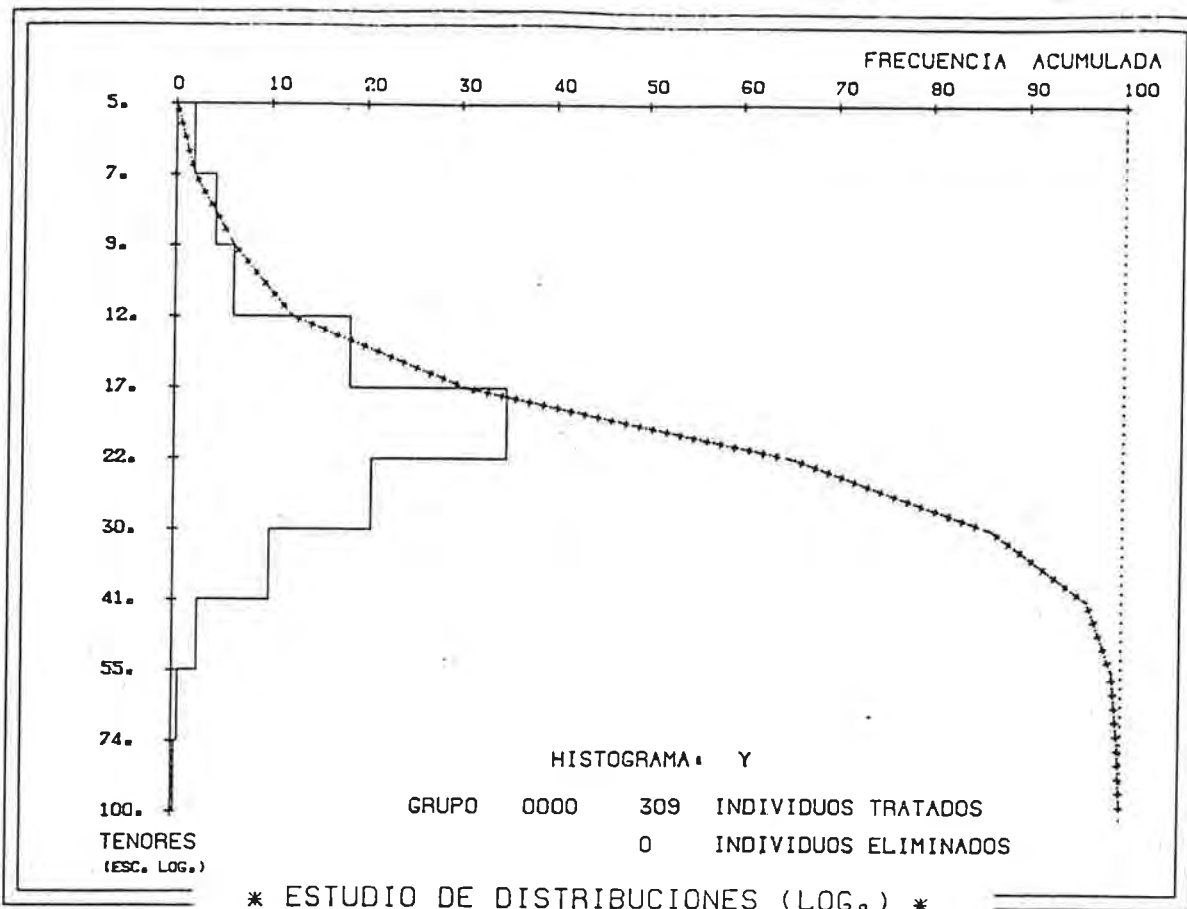


Figura 19

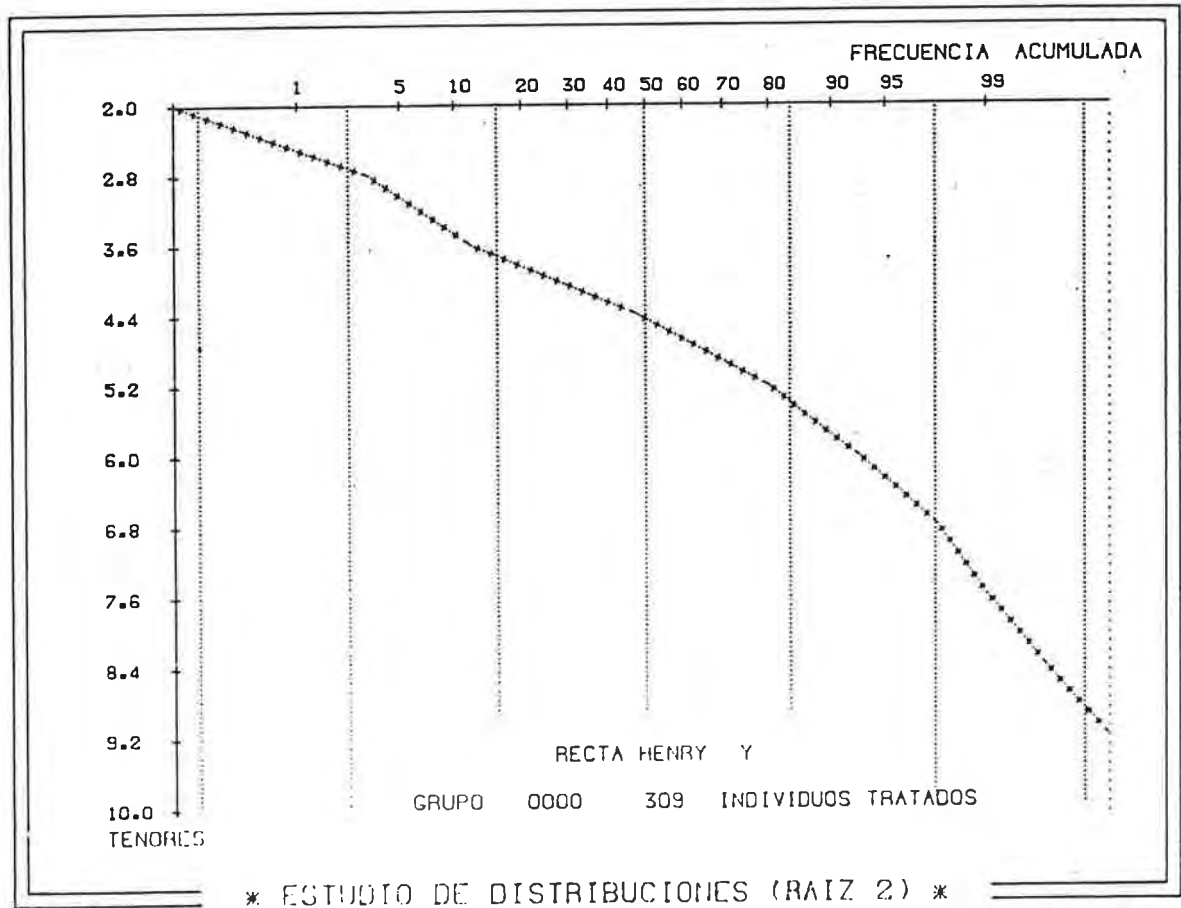
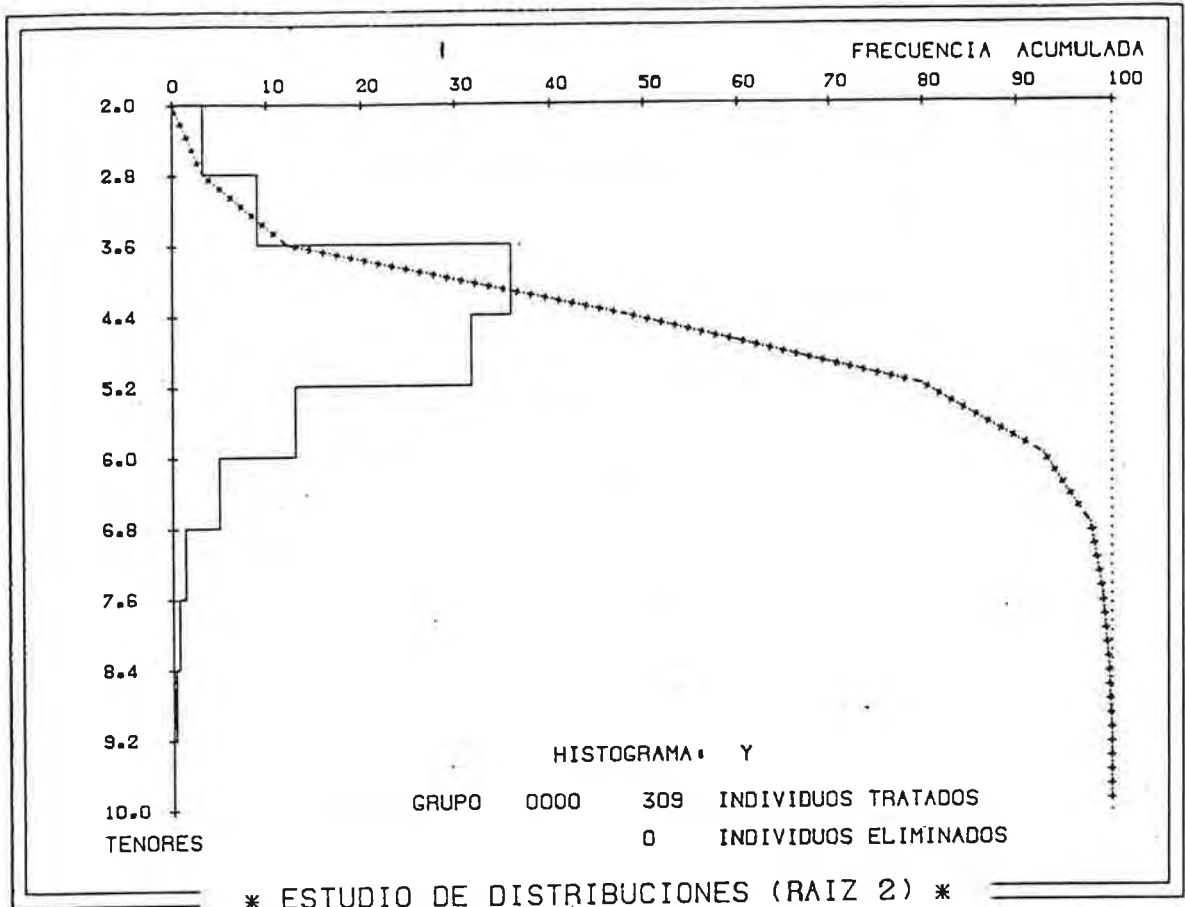


Figura 20

forma más racional de proceder es llevar a cabo el tratamiento estadístico de los datos geoquímicos, tanto sobre los tenores brutos como sobre los transformados logarítmicamente; y examinar los resultados de ambas series de datos, según su interpretabilidad en función de los fenómenos geológicos activos sobre el material superficial muestreado, diferenciando aquellos que influyen en la variabilidad composicional a nivel del fondo geoquímico (litología, topografía, pedología, ...) de los que pueden originar tenores verdaderamente anómalos (metalogénicos).

3.2.1.2. Tenores de fondo geoquímico normal y valores críticos

En la tabla 9 exponemos diferentes estimaciones (medias aritmética y geométrica, mediana) del tenor de fondo geoquímico y desviaciones respecto a él, determinadas sobre el conjunto total de muestras del área en estudio, excluyendo aquellos valores excepcionalmente anómalos en Mn (>5000ppm), Pb (>50ppm) y Cu (>150ppm). La mediana y la media geométrica concuerdan en general muy bien y, para la mayoría de los elementos, difieren en forma importante de las medias aritméticas. Hemos agregado a título indicativo los límites críticos calculados según $\bar{X}+2s$ y $G\epsilon^2$. Estos límites no han sido determinados a partir de los parámetros evaluados para los conjuntos geoquímicos de fondo normal; y, en consecuencia, se encuentran desviados en el sentido de los tenores elevados. El manganeso y el fósforo, ambos distribuidos lognormalmente, muestran la diferencia más notoria entre los límites calculados en valores naturales y logarítmicos.

Luego de representar los tenores brutos de los elementos, ver p. ej. en la figura 21 el mapa a escala 1/20000 de las concentraciones de cobre, se efectuó una primera aproximación a la cartografía de anomalías. Para la realización de los mapas de anomalías geoquímicas establecimos cuatro límites, que dividen el intervalo de variación de los elementos en tenores medios, al-

Elemento	N	Media		Mediana	Desviación estándar		$\bar{x} + 2s$	$G\epsilon^2$
		Aritmética	Geométrica		Aritmética	Geométrica		
Fe ₂ O ₃ (%)	309	5.8	5.4	5.3	2.3	1.46	10.4	11.5
Mn (ppm)	305	1105	853	901	834	2.11	2773	3797
Ba	309	423	406	400	128	1.32	679	707
P	309	459	425	424	187	1.48	833	931
V	309	83	77	77	36	1.45	155	162
Pb	307	14	13	11	6	1.44	26	27
Zn	309	77	73	72	29	1.37	135	137
Cu	306	27	23	23	19	1.70	65	66
Ni	309	20	18	17	11	1.61	42	47
Cr	309	41	36	38	22	1.66	85	99
Co	309	12	12	<10	4	1.29	20	20
Be	309	2.6	2.2	2	1.4	1.68	5.4	6.2
Y	309	21	20	20	10	1.55	41	48

Tabla 9: Estimatrices del tenor de fondo regional (medias aritmética y geométrica, mediana), desviaciones estándares y límites críticos para el área total. N es el número de muestras consideradas.

DNMG

MIE-DINAMIGE-DAPS

* ESTUDIO GEOQUIMICO SEMITACTICO *

TENORES DE CU

ESC.: 1/20000

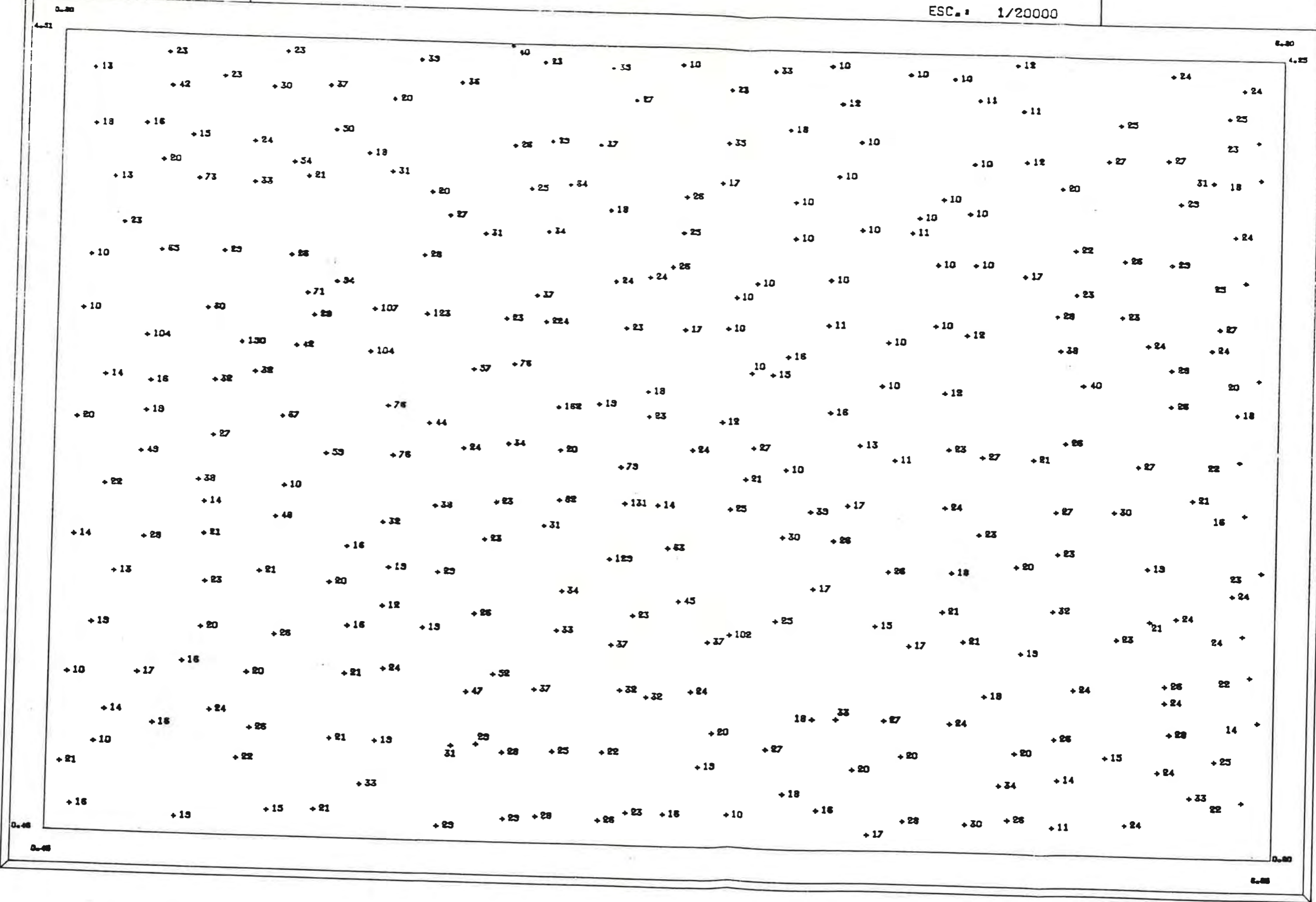
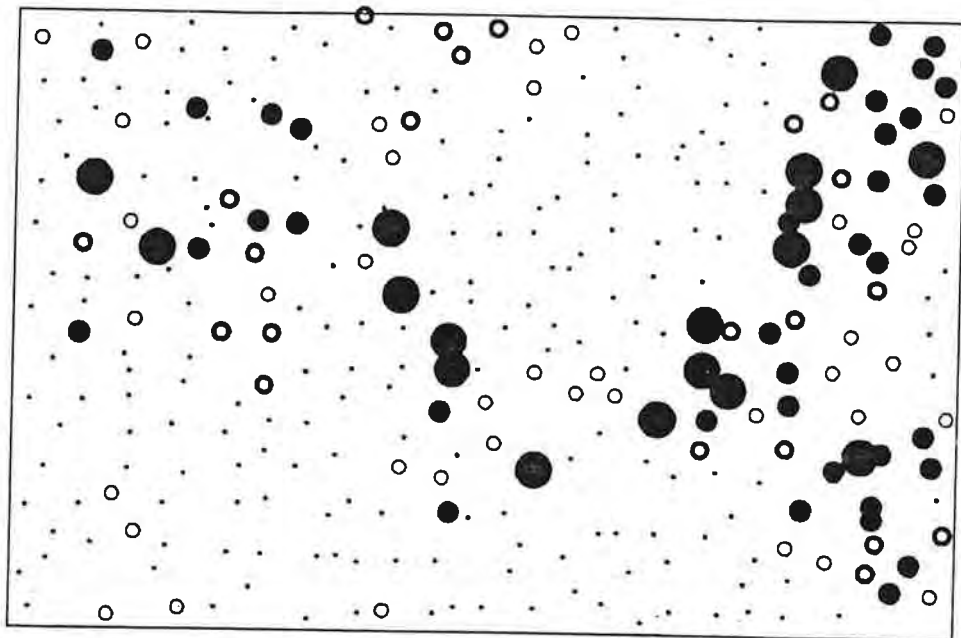


FIG. Nº 21

tos, muy altos y excepcionales. La elección de dichos límites se llevó a cabo considerando los parámetros de la tabla 9 y las distribuciones de frecuencias de los diferentes elementos. En las figuras 22 a 28 presentamos los mapas resultantes a escala 1/50000. El examen de estas representaciones en función del cuadro geológico regional (figura 2) es muy instructivo. Los tenores excepcionales en hierro se despliegan sobre los metavolcanitos básicos, denotando muy buena coherencia espacial con las áreas a tenores elevados en Ni, Cr, Co, Zn y parcialmente Mn y P. El Be e Y y también el Pb y Ba se muestran enriquecidos en los suelos y sedimentos sobre las intrusiones graníticas y las litologías de la formación Sierra de Animas, en el borde occidental del sector. En los mapas de la figura 24 se evidencia una zona con tenores anómalos en cobre y vanadio, que se superpone parcialmente con áreas de alta concentración en Fe y Co.

La repartición areal similar de algunos elementos, de comportamiento geoquímico análogo, v. gr.: Ni-Cr-Fe₂O₃-Co, Cu-V, Be-Y, Pb-Ba, ..., pone de manifiesto la existencia de una redundancia importante en la información procesada.

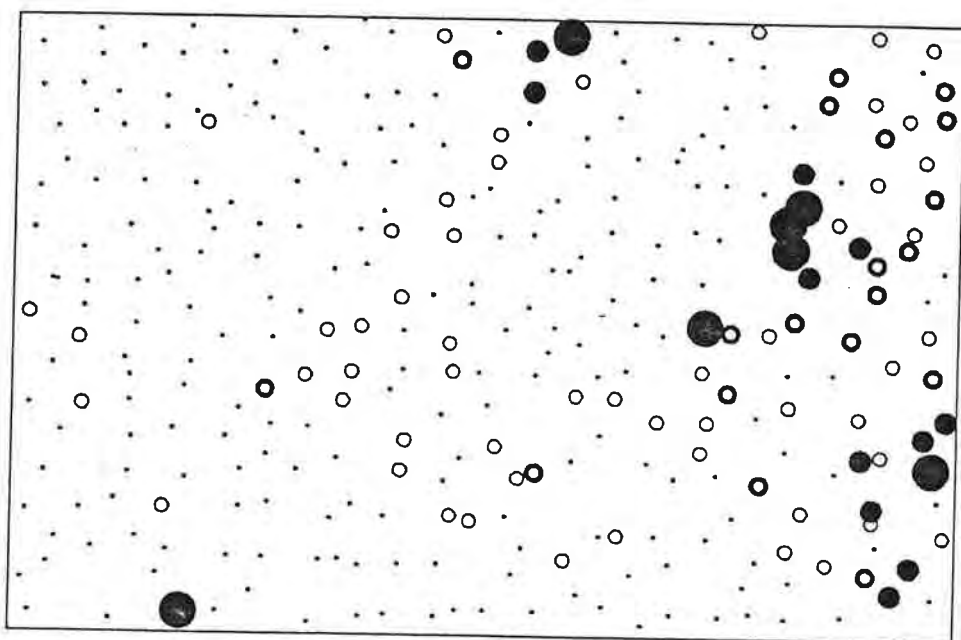
Los mapas de anomalías señalan que los límites elegidos para la totalidad de las localidades de muestreo no son adecuados para la representación de anomalías significativas desde un punto de vista metalogénico. En efecto, las zonas con tenores "anómalos" parecen estar relacionadas, en su gran mayoría, a unidades litológicas con un tenor de fondo geoquímico superior al valor global, p. ej.: concentraciones de Pb sobre las intrusiones graníticas, Ni y Cr sobre volcanitos básicos, etc.. Queda entonces en evidencia la importancia de conocer los tenores de fondo geoquímico para cada unidad litológica homogénea, para así poder definir con mayor precisión los valores críticos correspondientes.



FE2X



Figura 22a



MN

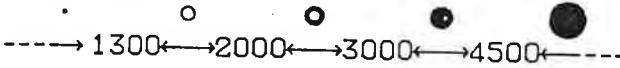
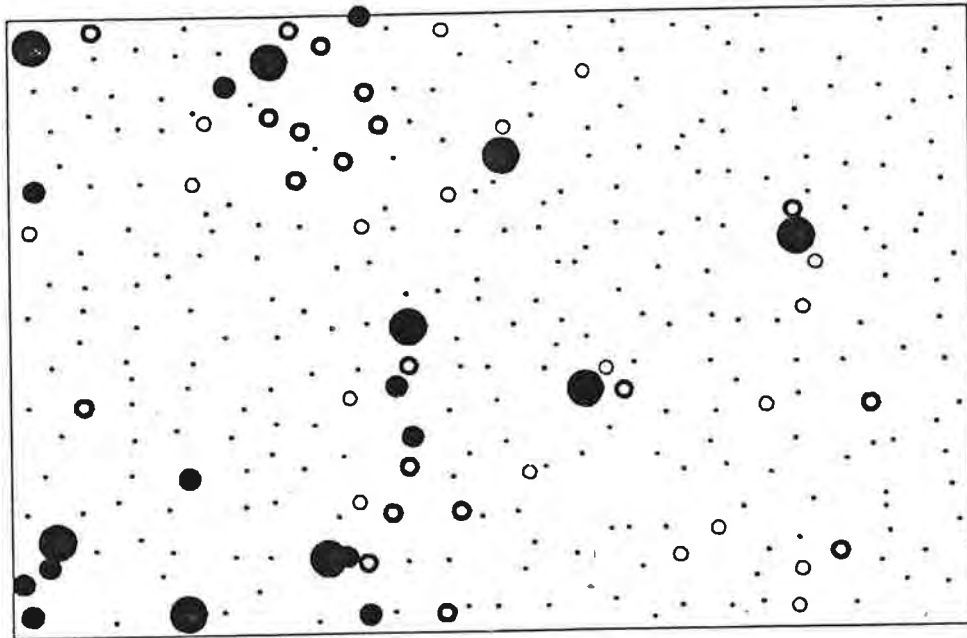


Figura 22b

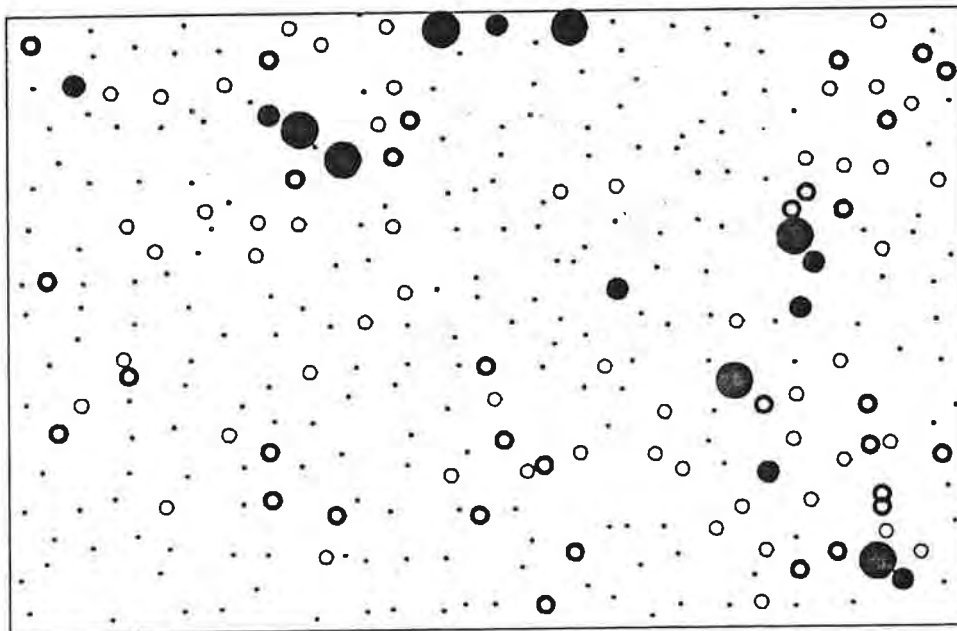
Escala: 1/50000



BA



Figura 23a



P

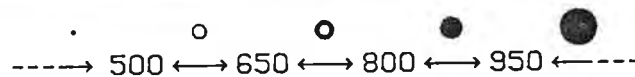
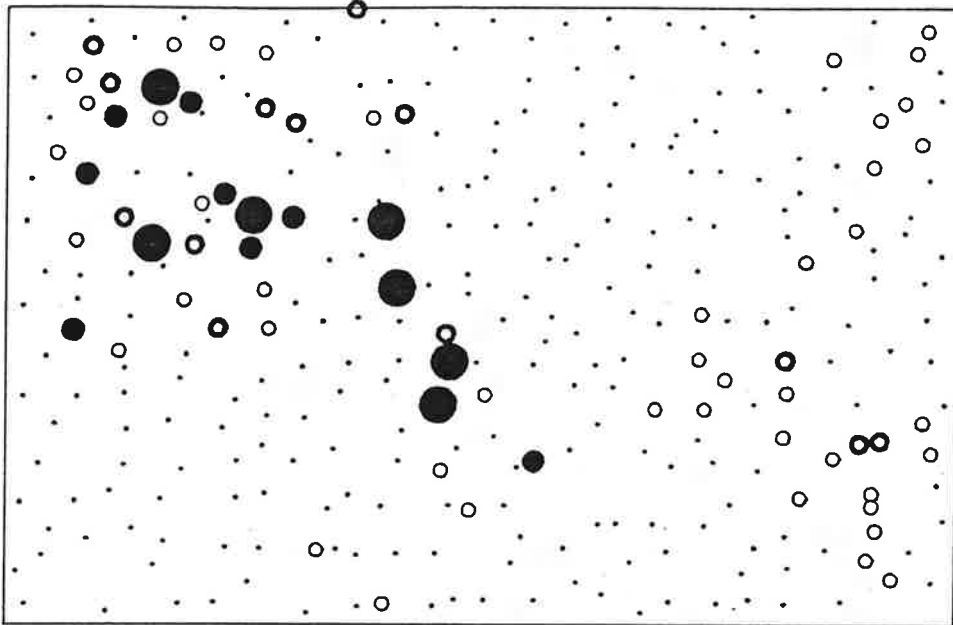


Figura 23b

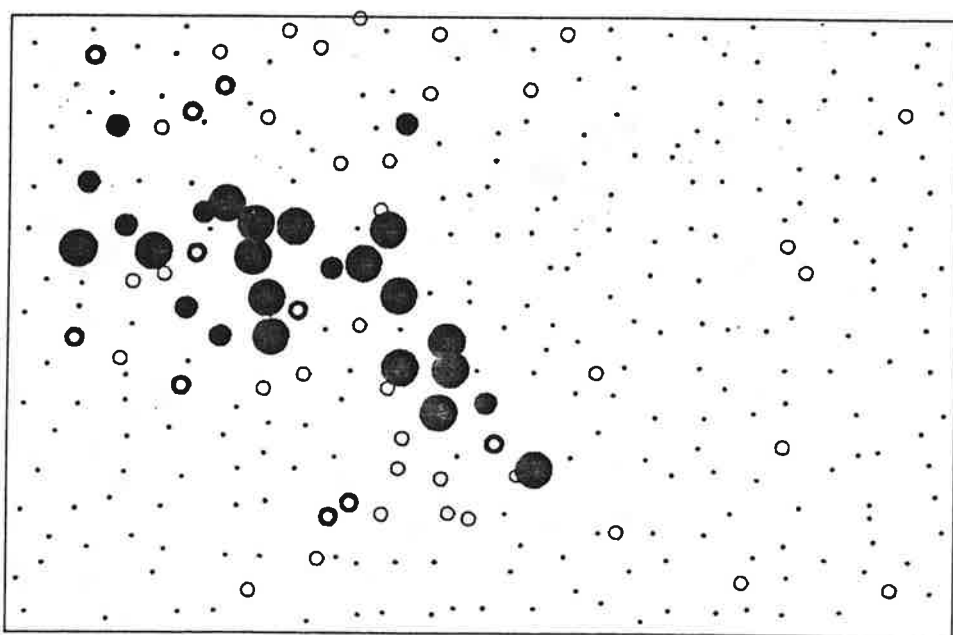
Escala: 1/50000



V



Figura 24a

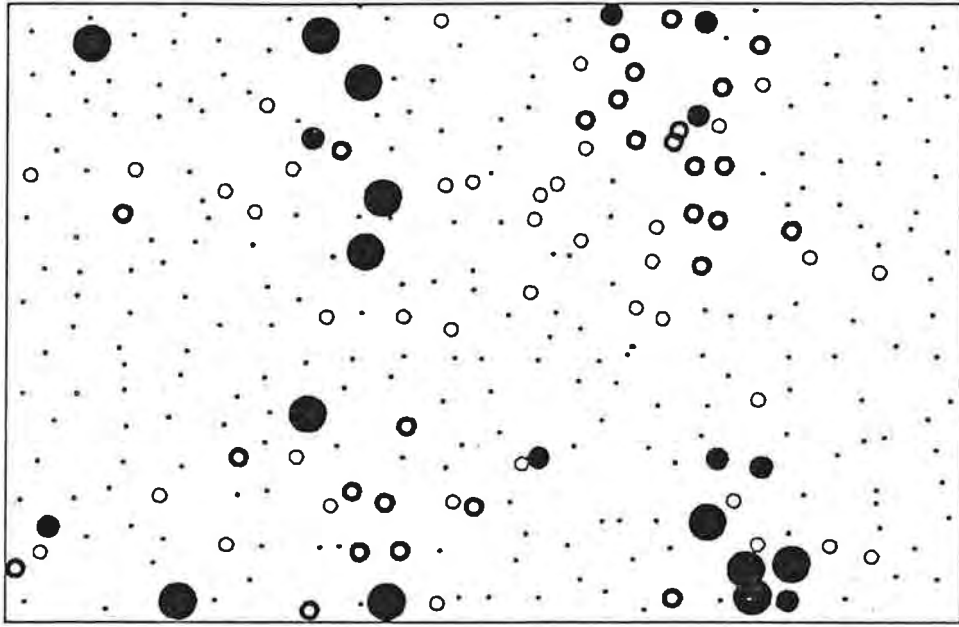


CU



Figura 24b

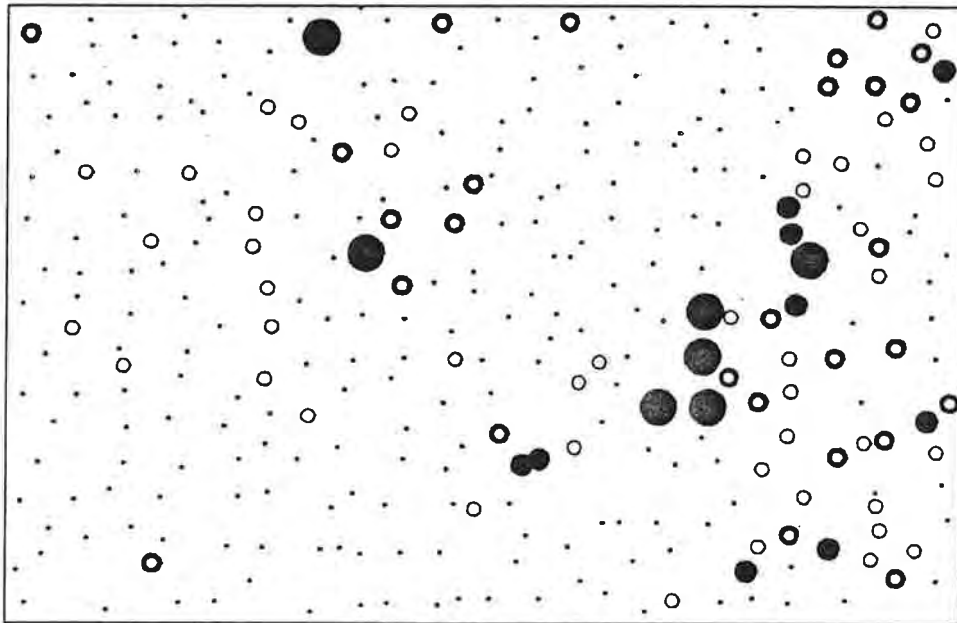
Escala: 1/50000



PB



Figura 25a



ZN

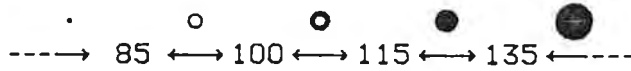
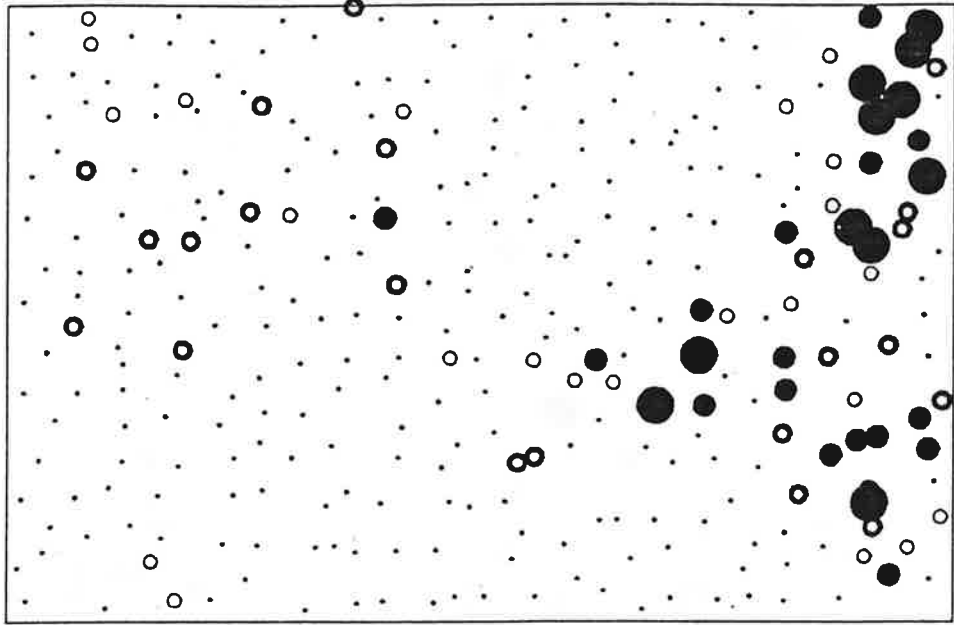


Figura 25b

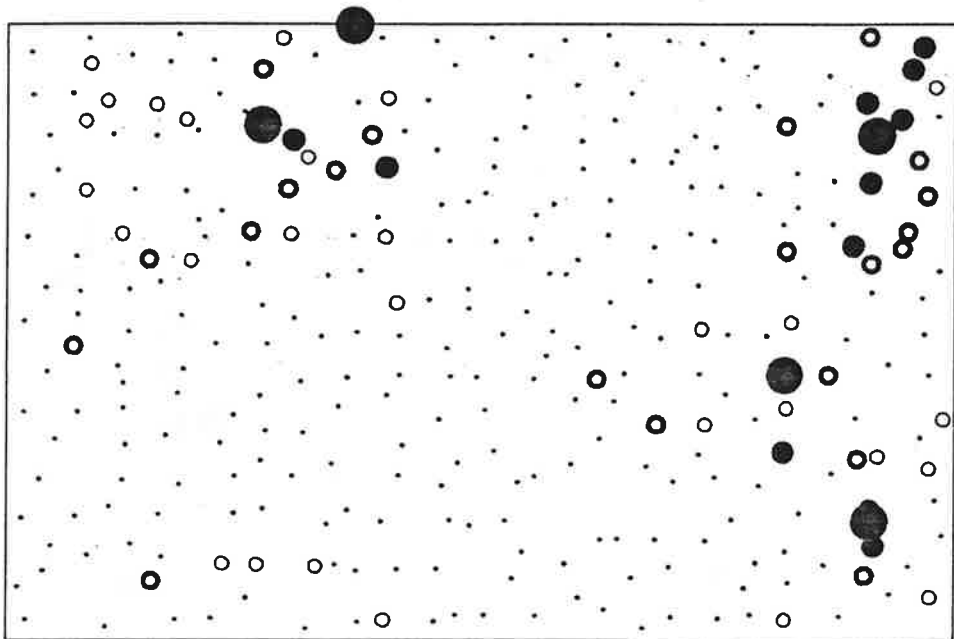
Escala: 1/50000



NI



Figura 26a

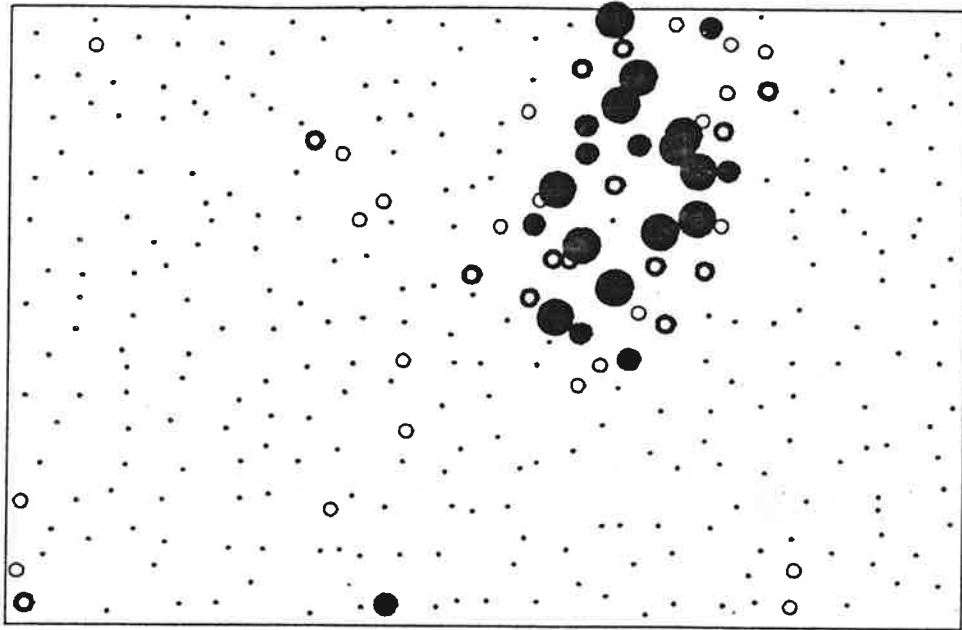


CR



Figura 26b

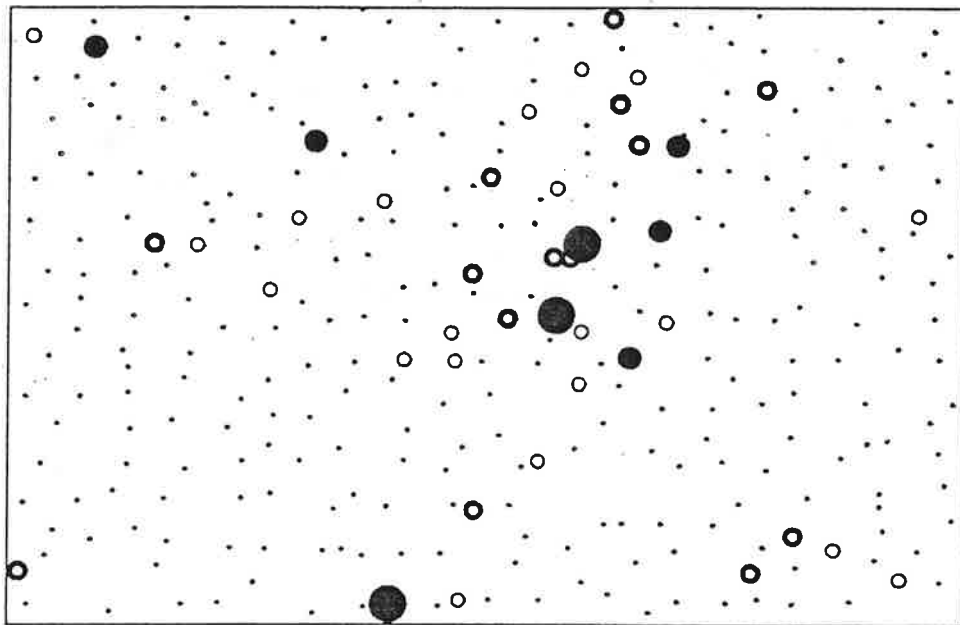
Escala: 1/50000



BE



Figura 27a

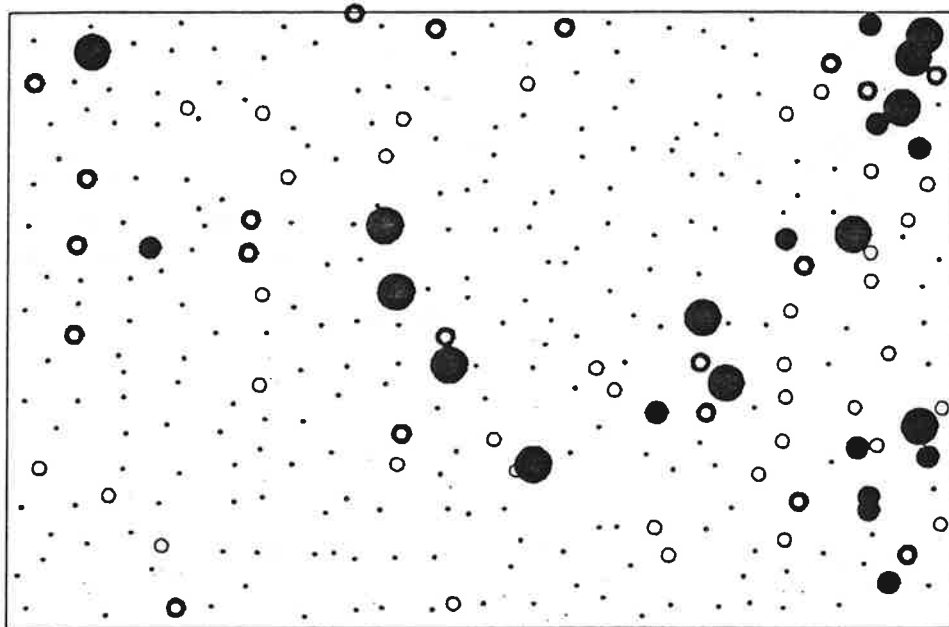


Y



Figura 27b

Escala: 1/50000



CO



Figura 28
Escala: 1/50000

3.2.1.3. Influencia de la naturaleza de las muestras

Con el propósito de examinar la influencia de la modalidad de muestreo sobre la variabilidad composicional de los especímenes, calculamos los parámetros estadísticos elementales para los cuatro tipos de muestras: sedimentos en lecho vivo, suelos en flat, suelos en fondo de vallecito y suelos (tablas 10 a 13). En la tabla 14 comparamos las medias geométricas y las medianas de los diferentes grupos de muestras. Advertimos una tendencia del Mn y Fe, junto con Cr, Ni, V, Co y Zn a concentrarse en los sedimentos de lecho vivo y los suelos consolidados en los "flats", que a su vez están empobrecidos en Ba, P y Be en relación con los suelos en fondo de hondonada y suelos. Los suelos muestran los tenores medios más bajos en Mn y Fe. Estas observaciones concuerdan con la acumulación de hierro y manganeso en los drenajes, bajo la forma de hidróxidos y óxidos hidratados, acompañados de otros elementos al estado de trazas, que probablemente coprecipitan y se adsorben sobre los mismos.

Un estudio más detallado requeriría contemplar las diferentes modalidades de muestreo para una determinada roca madre, más precisamente un determinado facies litogeoquímico. Esto conduciría a una evaluación precisa de la variabilidad de los tenores pedogeoquímicos debida a la naturaleza de las muestras.

3.2.1.4. Análisis de las superficies geoquímicas

Los mapas de anomalías geoquímicas de las figuras 22 a 28 señalaron una fuerte estructuración de la información geoquímica en estudio. Para establecer los caracteres esenciales de las estructuras presentes, procedimos a examinar la repartición areal de los datos por el método de análisis de tendencia y representaciones de medias móviles.

* PARAMETROS ESTADISTICOS ELEMENTALES *

SEDIMENTOS EN LECHO VIVO

* ELEMENTO *	* NUMERO DE * * MUESTRAS *	* VALOR * * MINIMO *	* VALOR * * MAXIMO *	* MEDIA * * ARITM. *	* DESVIACION * * ESTANDAR *	* COEFICIENTE * * VARIACION *	* MEDIA * * GEOMETRICA *	* DESVIACION * * GEOMETRICA *
FE2X	23	3.68	11.13	6.60	2.32	0.35	6.23	1.64
MN	23	150.00	3193.00	1360.17	778.60	0.57	1100.45	2.43
BA	23	236.00	644.00	400.17	95.50	0.24	388.92	1.46
P	23	242.00	703.00	468.57	129.79	0.28	450.11	1.34
V	23	57.00	128.00	85.70	20.19	0.24	83.49	1.71
B	23	10.00	17.00	11.96	2.35	0.20	11.75	1.41
AS	23	20.00	154.00	26.13	27.90	1.07	22.14	1.79
PE	23	10.00	25.00	12.91	5.32	0.41	12.20	1.45
ZN	23	54.00	274.00	93.48	43.88	0.47	87.40	1.72
CU	23	11.00	45.00	24.17	7.33	0.30	23.16	1.72
NI	23	10.00	53.00	25.17	11.90	0.47	22.69	1.71
CR	23	23.00	101.00	44.26	16.95	0.38	41.55	1.56
CO	23	10.00	20.00	12.52	2.88	0.23	12.23	1.36
BE	23	1.00	7.00	2.04	1.33	0.65	1.77	1.83
Y	23	11.00	62.00	22.39	10.61	0.47	20.79	1.83
NE	23	10.00	14.00	10.17	0.85	0.08	10.14	1.32

Tabla 10

* PARAMETROS ESTADISTICOS ELEMENTALES *

SUELOS EN FLAT

ELEMENTO	NUMERO DE MUESTRAS	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	MEDIA ARITM.	DESVIACION ESTANDAR	COCIENTE VARIACION	MEDIA GEOMETRICA	DESVIACION GEOMETRICA
FE2X	121	2.55	13.41	6.08	2.22	0.37	5.71	1.45
MN	121	127.00	14040.00	1341.90	1561.21	1.16	966.04	2.19
EA	121	240.00	939.00	433.16	128.05	0.30	416.51	1.39
P	121	145.00	1032.00	394.29	171.33	0.43	362.45	1.57
V	121	27.00	222.00	83.26	30.57	0.37	78.56	1.47
B	121	10.00	28.00	11.79	3.63	0.31	11.39	1.29
AS	121	20.00	55.00	20.63	6.82	0.33	20.25	1.25
PE	121	10.00	56.00	14.73	7.83	0.53	13.47	1.50
LN	121	40.00	254.00	78.90	28.16	0.36	75.10	1.43
CU	121	10.00	131.00	29.47	20.66	0.70	25.16	1.73
NI	121	10.00	55.00	21.45	10.97	0.51	19.18	1.60
CR	121	10.00	133.00	43.47	20.64	0.47	39.14	1.60
AG	121	0.20	0.50	0.20	0.03	0.14	0.20	1.16
SN	121	20.00	22.00	20.02	0.20	0.01	20.00	1.22
MO	121	2.00	9.00	2.12	0.73	0.34	2.07	1.22
CO	121	10.00	29.00	12.55	4.03	0.32	12.05	1.35
EE	121	1.00	8.00	2.59	1.42	0.55	2.30	1.66
Y	121	6.00	81.00	23.23	10.40	0.45	21.41	1.52
NE	121	10.00	16.00	10.08	0.62	0.06	10.06	1.20

Tabla 11

* PARAMETROS ESTADISTICOS ELEMENTALES *

SUELOS EN FONDO DE VALLECITO

* ELEMENTO *	* NUMERO DE *	* VALOR *	* VALOR *	* MEDIA *	* DESVIACION *	* COEFICIENTE *	* MEDIA *	* DESVIACION *
* MUESTRAS *	* MINIMO *	* MAXIMO *	* ARITM. *	* ESTANDAR *	* VARIACION *	* GEOMETRICA *	* GEOMETRICA *	
FE2X	73	1.54	11.75	5.69	2.24	0.39	5.27	1.49
MN	73	122.00	5160.00	1222.97	1082.84	0.89	845.47	2.55
BA	73	247.00	915.00	420.00	104.00	0.25	408.56	1.25
P	73	184.00	1290.00	507.45	200.56	0.40	470.77	1.58
V	73	30.00	137.00	74.25	23.33	0.31	70.35	1.44
B	73	10.00	29.00	12.25	4.36	0.36	11.70	1.38
AS	73	20.00	23.00	20.05	0.37	0.02	20.04	1.27
PE	73	10.00	133.00	16.78	15.37	0.92	14.41	1.60
ZN	73	36.00	135.00	76.89	23.64	0.31	73.27	1.37
CU	73	10.00	82.00	23.05	13.05	0.57	20.36	1.64
NI	73	10.00	79.00	21.25	14.08	0.66	18.08	1.77
CR	73	10.00	146.00	38.78	23.78	0.61	33.04	1.83
SN	73	20.00	21.00	20.01	0.17	0.01	20.00	1.24
W	73	10.00	11.00	10.01	0.12	0.01	10.01	1.08
MU	73	2.00	5.00	2.05	0.37	0.18	2.04	1.34
CO	73	10.00	27.00	12.18	4.20	0.35	11.66	1.33
BE	73	1.00	7.00	2.97	1.82	0.61	2.51	1.86
Y	73	7.00	49.00	22.45	9.12	0.41	20.73	1.58
NB	73	10.00	21.00	10.23	1.46	0.14	10.16	1.13

Tabla 12

* PARAMETROS ESTADISTICOS ELEMENTALES *

SUELOS

* ELEMENTO *	* NUMERO DE * * MUESTRAS *	* VALOR * * MINIMO *	* VALOR * * MAXIMO *	* MEDIA * * ARITH. *	* DESVIACION * * ESTANDAR *	* COEFICIENTE * * VARIACION *	* MEDIA * * GEOMETRICA *	* DESVIACION * * GEOMETRICA *
* FE2A *	* 90 *	* 2.23 *	* 12.88 *	* 5.30 *	* 2.32 *	* 0.44 *	* 4.88 *	* 1.56 *
* MN *	* 90 *	* 125.00 *	* 10240.00 *	* 979.38 *	* 1130.74 *	* 1.15 *	* 746.05 *	* 2.01 *
* EA *	* 90 *	* 194.00 *	* 922.00 *	* 419.24 *	* 153.80 *	* 0.37 *	* 393.99 *	* 1.48 *
* P *	* 90 *	* 219.00 *	* 1274.00 *	* 505.06 *	* 184.95 *	* 0.37 *	* 476.29 *	* 1.48 *
* V *	* 90 *	* 28.00 *	* 313.00 *	* 88.31 *	* 49.97 *	* 0.57 *	* 78.72 *	* 1.66 *
* E *	* 90 *	* 10.00 *	* 21.00 *	* 11.68 *	* 2.65 *	* 0.23 *	* 11.42 *	* 1.34 *
* AS *	* 90 *	* 20.00 *	* 53.00 *	* 20.37 *	* 3.48 *	* 0.17 *	* 20.20 *	* 1.21 *
* PB *	* 90 *	* 10.00 *	* 31.00 *	* 13.56 *	* 5.20 *	* 0.38 *	* 12.77 *	* 1.41 *
* ZN *	* 90 *	* 36.00 *	* 135.00 *	* 67.02 *	* 18.50 *	* 0.28 *	* 64.54 *	* 1.43 *
* CU *	* 90 *	* 10.00 *	* 224.00 *	* 33.43 *	* 37.07 *	* 1.11 *	* 24.67 *	* 2.03 *
* NI *	* 90 *	* 10.00 *	* 55.00 *	* 17.73 *	* 8.65 *	* 0.49 *	* 16.14 *	* 1.56 *
* CR *	* 90 *	* 10.00 *	* 145.00 *	* 39.11 *	* 22.23 *	* 0.57 *	* 34.25 *	* 1.69 *
* AG *	* 90 *	* 0.20 *	* 0.50 *	* 0.21 *	* 0.10 *	* 0.49 *	* 0.20 *	* 1.30 *
* W *	* 90 *	* 10.00 *	* 18.00 *	* 10.10 *	* 0.85 *	* 0.08 *	* 10.07 *	* 1.22 *
* MO *	* 90 *	* 2.00 *	* 4.00 *	* 2.07 *	* 0.34 *	* 0.16 *	* 2.05 *	* 1.27 *
* CO *	* 90 *	* 10.00 *	* 27.00 *	* 11.37 *	* 3.49 *	* 0.31 *	* 11.02 *	* 1.37 *
* BE *	* 90 *	* 1.00 *	* 7.00 *	* 2.31 *	* 1.21 *	* 0.52 *	* 2.04 *	* 1.71 *
* Y *	* 90 *	* 5.00 *	* 47.00 *	* 17.99 *	* 8.33 *	* 0.46 *	* 16.14 *	* 1.66 *
* NB *	* 90 *	* 10.00 *	* 15.00 *	* 10.06 *	* 0.53 *	* 0.05 *	* 10.04 *	* 1.16 *

Tabla 13

Elemento	Grupo 0 n=23		Grupo 1 n=121		Grupo 2 n=73		Grupo 3 n=90	
	G	m	G	m	G	m	G	m
Fe ₂ O ₃ (%)	6.2	6.1	5.7	5.5	5.3	5.2	4.9	4.6
Mn (ppm)	1100	1309	966	905	845	974	746	765
Ba	389	369	416	403	408	401	394	394
P	450	455	362	371	471	464	476	472
V	83	80	79	76	70	72	79	78
Pb	12	<10	13	11	14	12	13	<10
Zn	87	85	75	74	73	73	64	65
Cu	23	23	25	24	20	23	25	23
Ni	23	21	19	19	18	18	16	16
Cr	42	43	39	41	33	35	34	34
Co	12	11	12	<10	12	<10	11	<10
Be	1.8	2	2.3	2	2.5	2.0	2.0	2
Y	21	20	21	21	21	20	16	17

Tabla 14: Comparación de las medias geométricas, G, y medianas, m, de los grupos definidos por la naturaleza de las muestras, 0: sedimentos en lecho vivo; 1: suelos en flat; 2: suelos en fondo de hondonada y 3: suelos.

- Análisis de tendencia

Determinamos las superficies de tendencia lineales, cuadráticas y cúbicas del Fe, Mn, Ba, P, V, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr, Co, Be e Y y también las cuárticas, quinticas y séxticas para el Ni, Be, Cu y V. En una primera etapa se valoraron los nodos de una grilla de 200m×200m, por una técnica de interpolación de los tenores de las muestras según su distancia al nodo; y en etapas sucesivas, variando el radio del círculo de interpolación, para no incurrir innecesariamente en un sobrealisado de la información original. Las ecuaciones de las superficies fueron establecidas por un procedimiento de regresión múltiple paso a paso. En la tabla 15 exponemos la proporción de varianza explicada por la superficie, es decir, el coeficiente de determinación expresado en porcentaje; el F' del análisis de la varianza explicada por el modelo y la varianza residual, que permite examinar la significación de la ecuación de regresión; y finalmente, el coeficiente de variación de los tenores observados.

Los F' revelan que las superficies de tendencia estimadas son estadísticamente significativas, para un nivel de confianza del 95%, a excepción de la superficie lineal del Pb. Los R^2 (%) del plano y demás superficies de este elemento tampoco superan los valores críticos establecidos por Howarth R.J. (1967), y la repartición areal de los tenores de Pb no difieren en forma significativa de una distribución aleatoria. No obstante, las concentraciones de plomo muestran una cierta estructuración con una zona a tenores elevados sobre los granitoides (ver figura 25a), y localmente algunos valores excepcionales, a veces aislados. Esta configuración de los tenores es aparentemente demasiado compleja como para poder ser descrita satisfactoriamente por funciones polinomiales simples. Posiblemente la exclusión de los valores aberrantes logre mejorar el ajuste de la superficie.

Las superficies del P y Mn no cumplen con el test de Howarth, similar a lo que ocurre con el Pb, puesto que el re-

Elemento	Superficie lineal		Superficie cuadrática		Superficie cúbica		Superficie cuártica		Superficie quintica		Superficie séxtica		V(%)
	R ² (%)	F'	R ² (%)	F'	R ² (%)	F'	R ² (%)	F'	R ² (%)	F'	R ² (%)	F'	
Fe ₂ O ₃ (%)	6.9	24.9	12.2	18.4	29.4	30.6							39
Mn (ppm)	5.8	20.4	8.6	12.6	12.3	10.4							107
Ba	7.0	25.3	10.9	16.3	20.2	18.6							30
P	2.1	7.3	3.0	4.1	4.2	3.2							41
V	3.2	11.2	8.6	12.6	16.5	14.6	18.4	10.6	23.8	10.1	25.9	8.2	43
Pb	0.4	1.2	9.2	13.5	11.9	10.0							65
Zn	6.0	21.4	7.2	10.4	10.9	9.0							37
Cu	3.6	12.3	11.8	17.9	23.2	22.3	23.5	14.5	25.2	11.0	28.1	9.3	87
Ni	13.6	52.4	24.2	43.2	33.5	37.0	34.3	24.5	39.6	21.4	39.4	15.5	55
Cr	3.2	11.1	10.1	15.0	23.8	23.0							53
Co	7.5	27.2	11.7	17.7	16.4	14.4							32
Be	3.9	13.5	16.2	25.7	38.1	45.4	41.8	33.8	42.0	23.5	45.4	19.8	58
Y	2.5	8.5	11.7	17.7	16.7	14.8							45
Valores críticos	6.0	3.0	12.0	2.2	16.2	1.9		1.7		1.6		1.5	

Tabla 15: Test de ajuste de las superficies de tendencia a los tenores de los diferentes elementos. R²(%) es el coeficiente de determinación de las ecuaciones polinómicas, F' es el cociente de la varianza explicada por el modelo y la varianza residual y, V(%) es el coeficiente de variación expresado en porcentaje y calculado para las 309 muestras. Los valores críticos corresponden a un nivel de 0.05 y para R² fueron determinados por Howarth R.J. (1967). Los grados de libertad para los F son: superficie lineal (2,669), cuadrática (5,666), cúbica (9,662), cuártica (14,657), quintica (20,651), séxtica (27,644).

lieve de las superficies geoquímicas de estos elementos es muy acentuado, con frecuentes tenores parásitos; y no es posible describirlo por una función sencilla de las coordenadas geográficas:

Para el Fe y Ni las superficies de tendencia satisfacen la prueba experimental para el R^2 ; mientras que el Ba, V, Zn, Cu, Cr, Co, Be e Y sólo lo hacen para alguna de las ecuaciones ensayadas, generalmente las de mayor grado.

El ajuste de las superficies aumenta con el grado del polinomio experimentado, lo que se explica por la disminución de la rigidez de la superficie calculada. Los mejores ajustes se lograron para las ecuaciones cúbicas del Be (38%) y Ni (34%) y luego del Fe_2O_3 (29%), Cr (24%), Cu (23%) y Ba (20%); sin embargo, las varianzas explicadas por las superficies de tendencia no son sustanciales.

En las figuras 29 a 32 representamos las superficies de tendencia calculadas para el Ni, Be, Cu y V bajo la forma de mapas de curvas isotenores.

Para el níquel el ajuste aumenta hasta la superficie de quinto grado, y en la séxtica no se modifica sensiblemente, y aún disminuye levemente. Las superficies de bajo grado relativamente rígidas, muestran una tendencia de los tenores a crecer hacia el este del sector, con algunas elevaciones y fosas secundarias. A partir del polinomio cuártico, y particularmente en el quintico, se observa una tendencia S-NE con tenores máximos del orden de 40ppm en el ángulo NE del sector, sobre las metalavas básicas. Las zonas bajas, con menos de 15ppm, se relacionan con las intrusiones graníticas y en el NW un área a 20-25ppm de Ni señala el tenor de fondo de los microgranitos. El polinomio séxtico explica casi el 40% de la variabilidad de los tenores en níquel.

* NI : SUPERFICIE LINEAL *

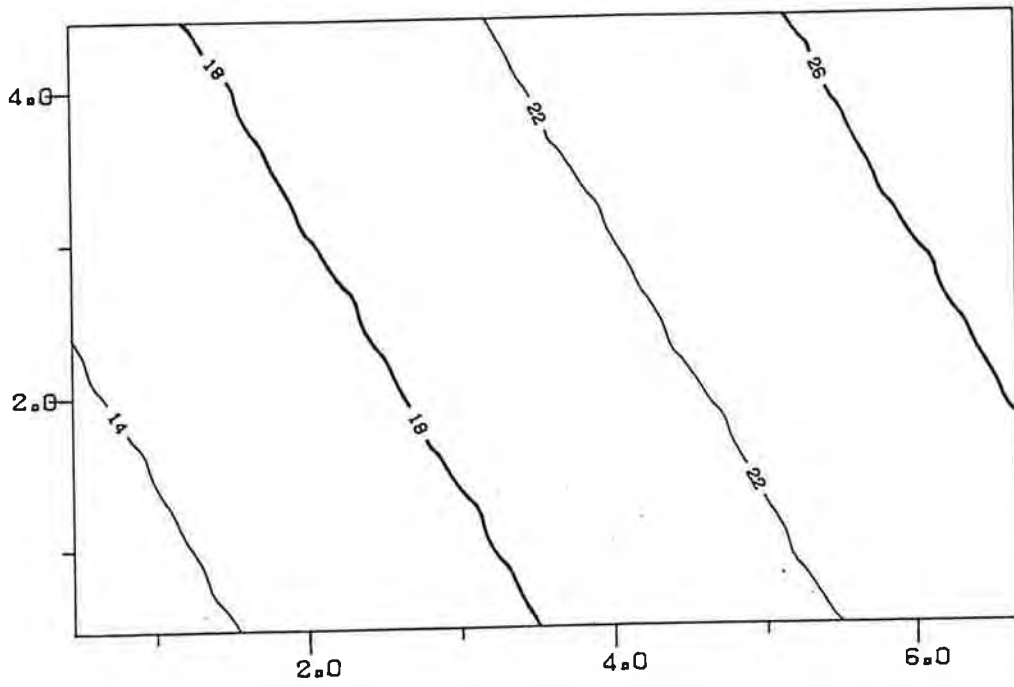


Figura 29a

* NI : SUPERFICIE CUADRATICA *

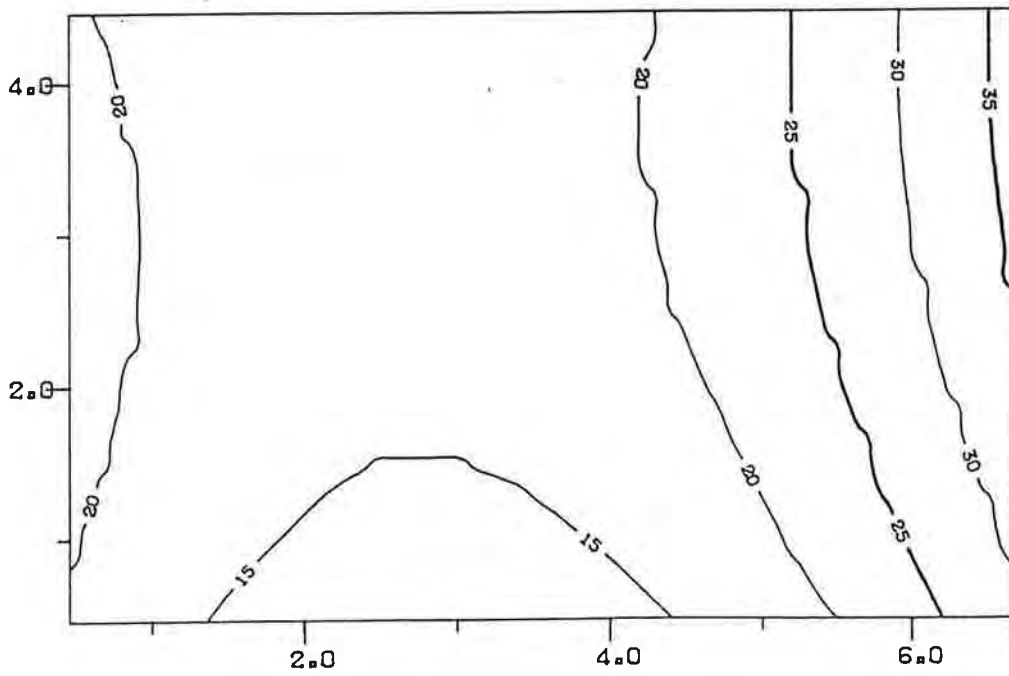


Figura 29b

Escala: 1/50000

* NI : SUPERFICIE CUBICA *

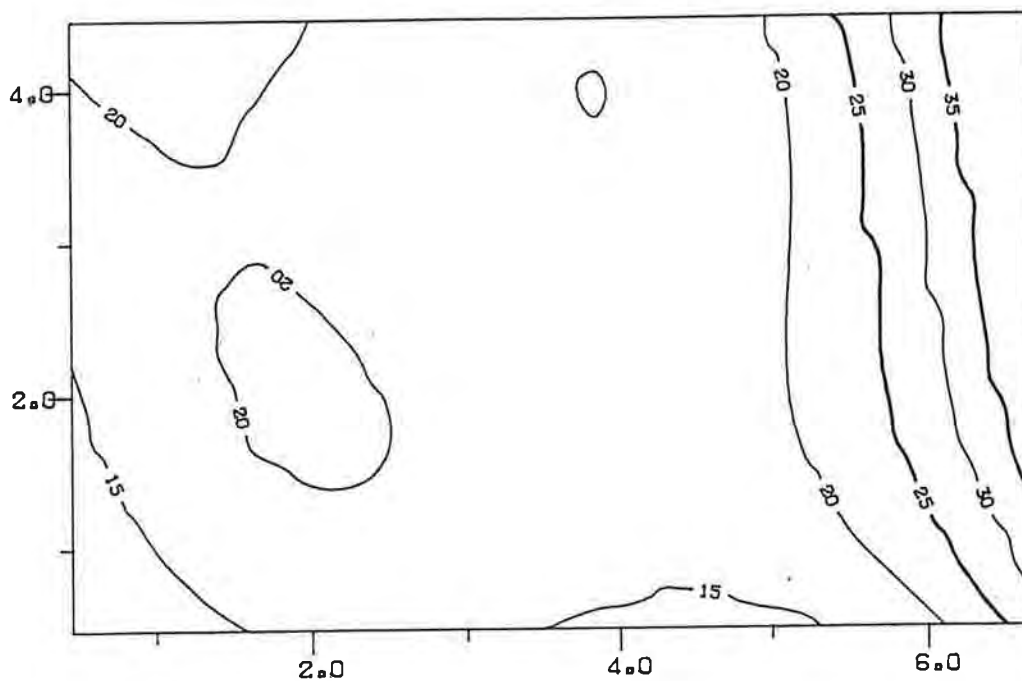


Figura 29c

* NI : SUPERFICIE DE ORDEN 4 *

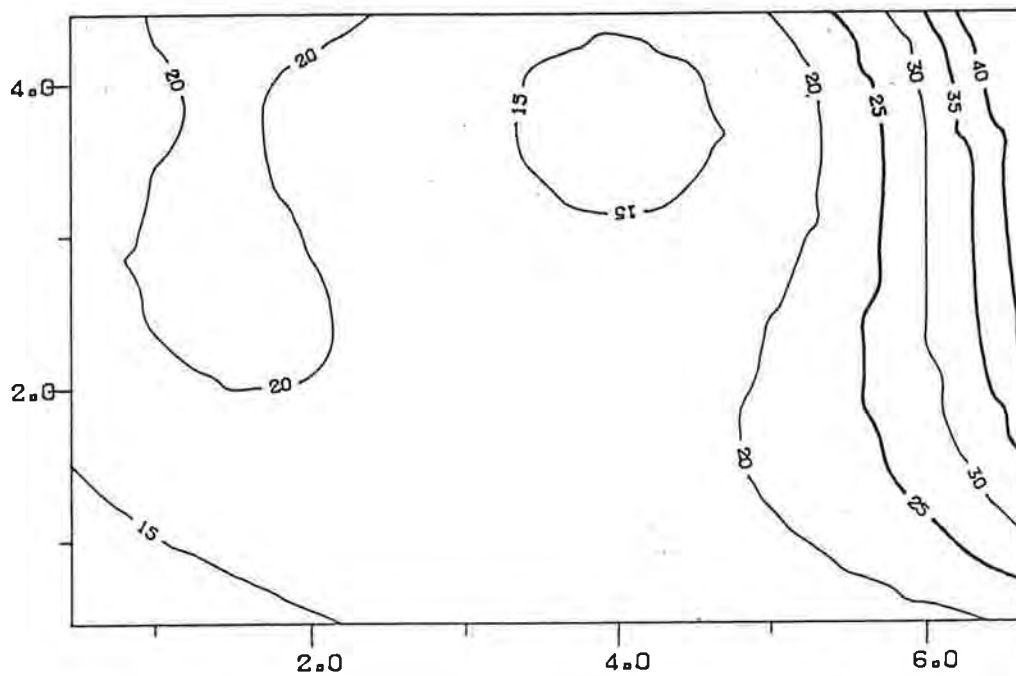


Figura 29d
Escala: 1/50000

* NI : SUPERFICIE DE ORDEN 5 *

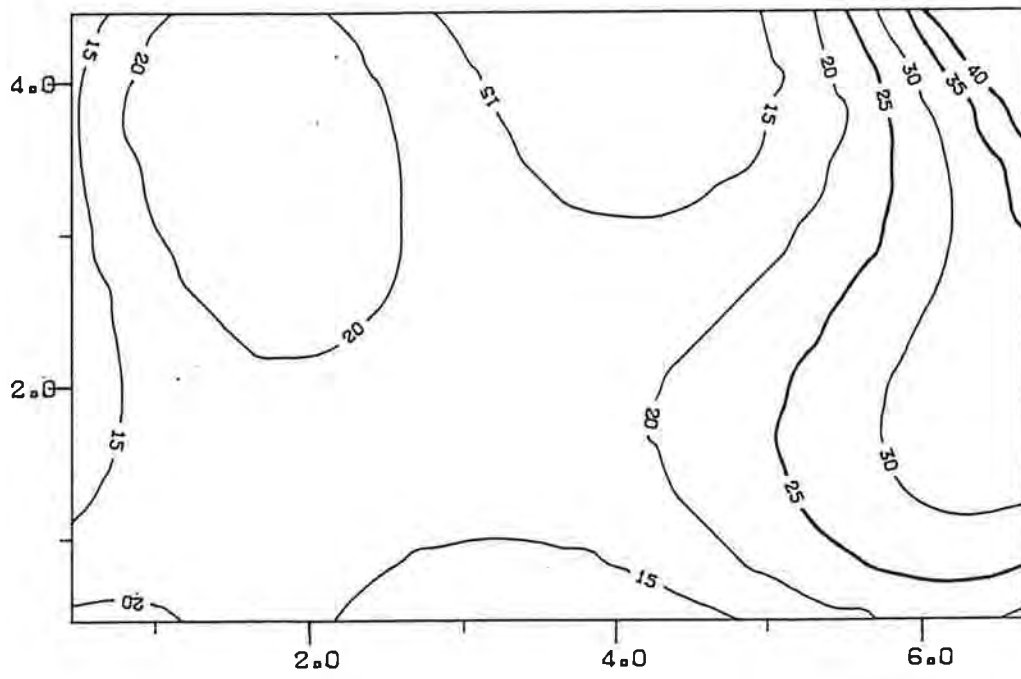


Figura 29e

* NI : SUPERFICIE DE ORDEN 6 *

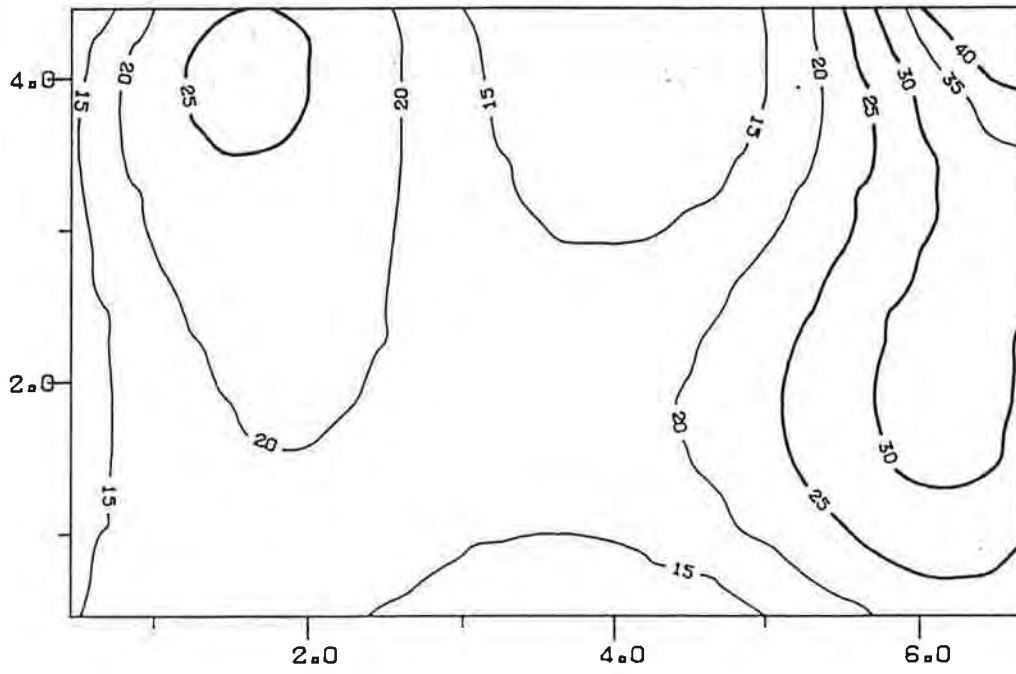


Figura 29f
Escala: 1/50000

* BE : SUPERFICIE LINEAL *

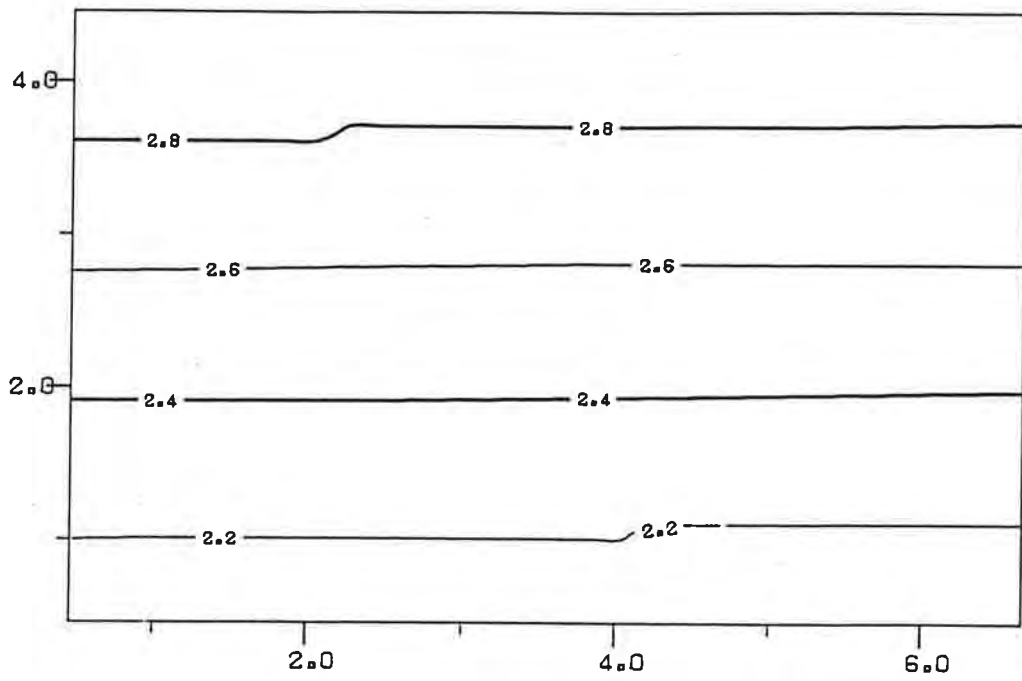


Figura 30a

* BE : SUPERFICIE CUADRATICA *

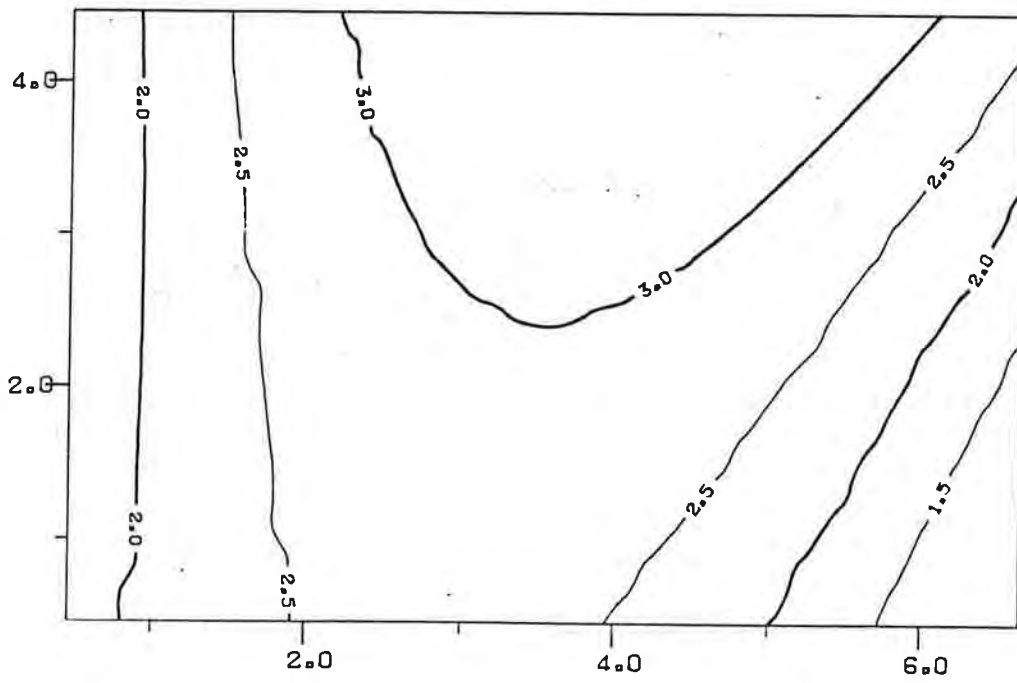


Figura 30b

Escala: 1/50000

* BE : SUPERFICIE CUBICA *

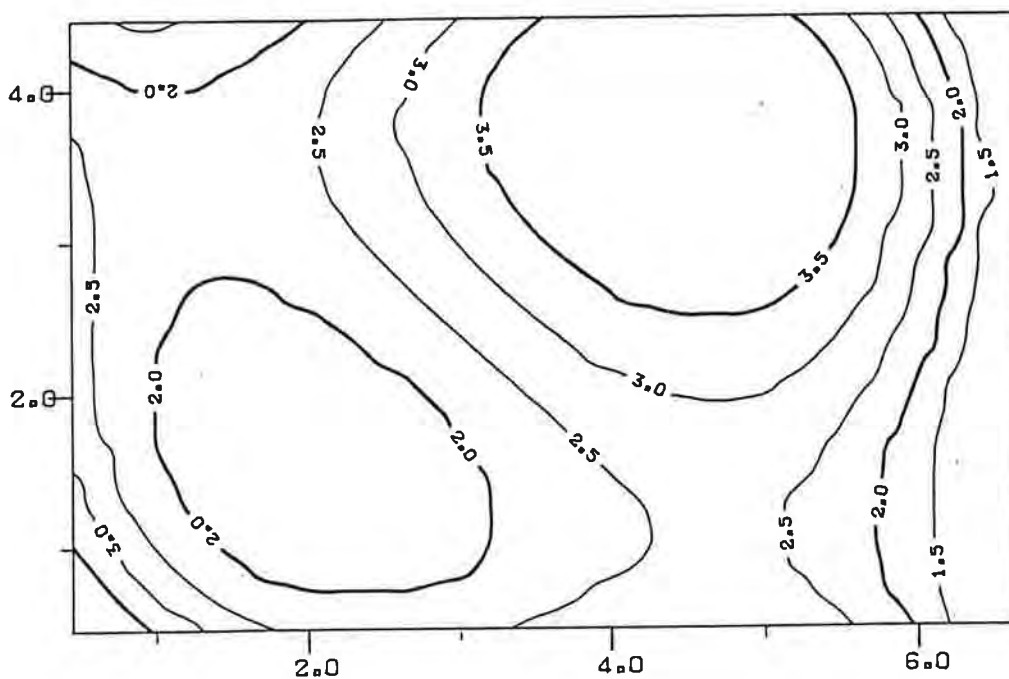


Figura 30c

* BE : SUPERFICIE DE ORDEN 4 *

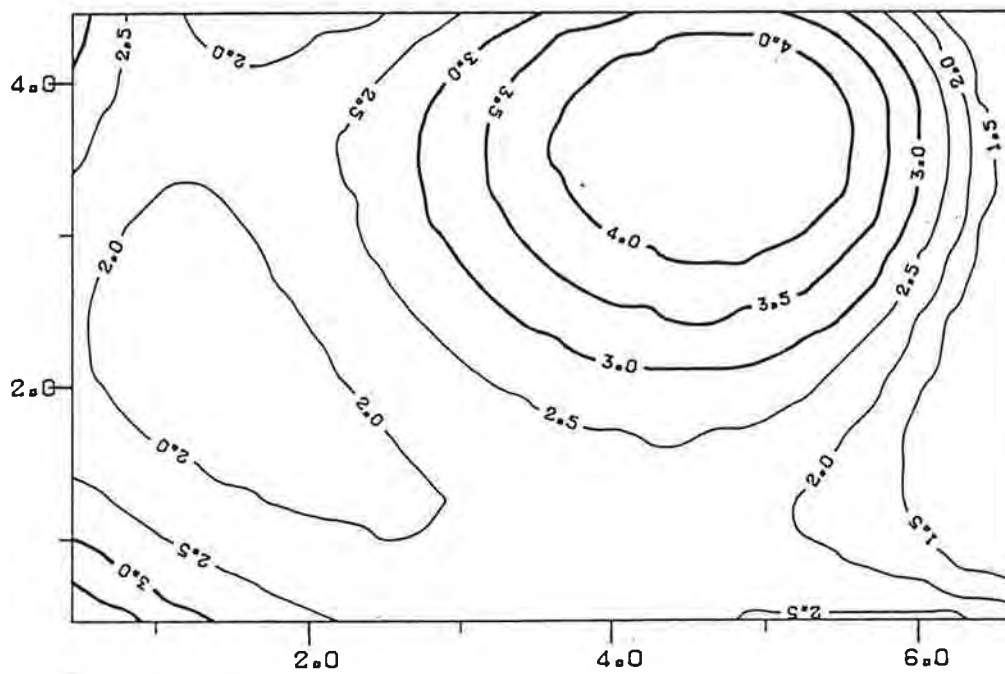


Figura 30d
Escala: 1/50000

* BE : SUPERFICIE DE ORDEN 5 *

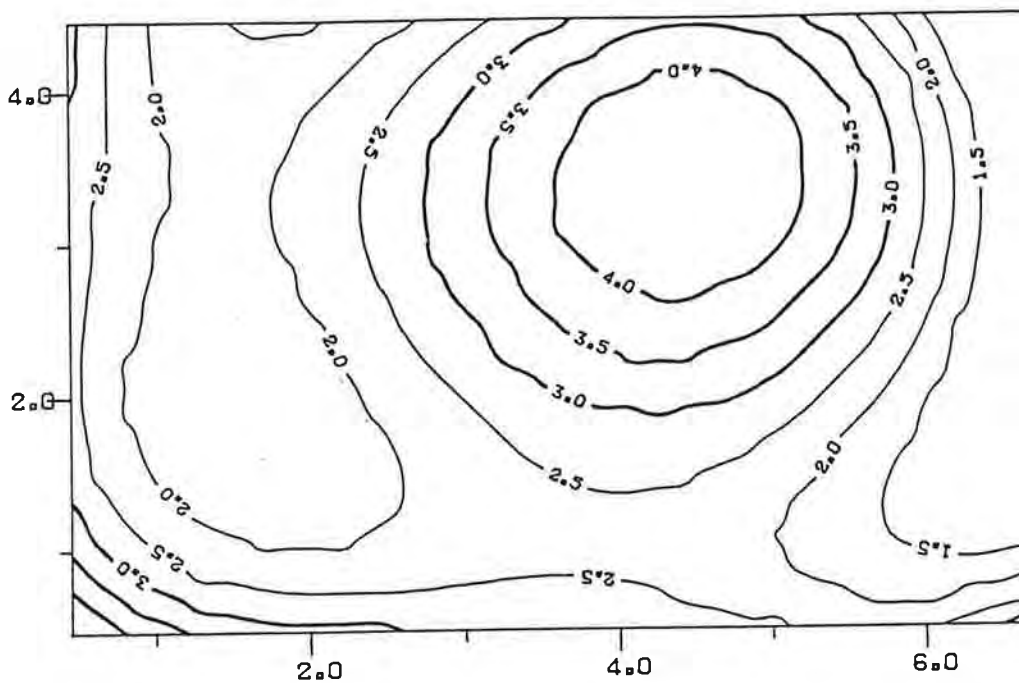


Figura 30e

* BE : SUPERFICIE DE ORDEN 6 *

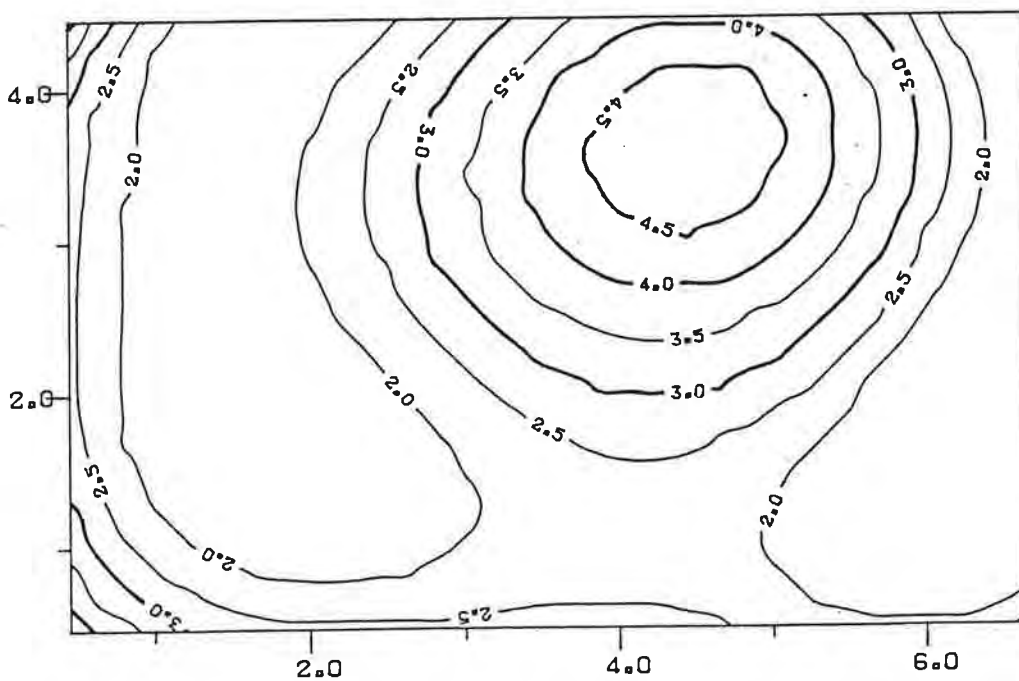


Figura 30f

Escala: 1/50000

* CU : SUPERFICIE LINEAL *

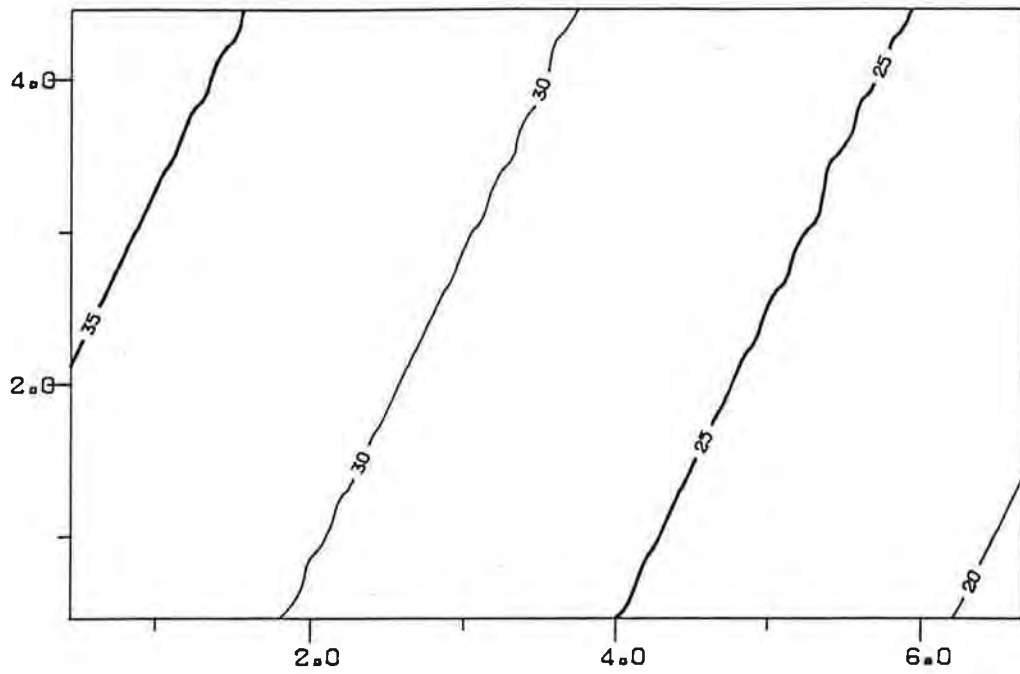


Figura 31a

* CU : SUPERFICIE CUADRATICA *

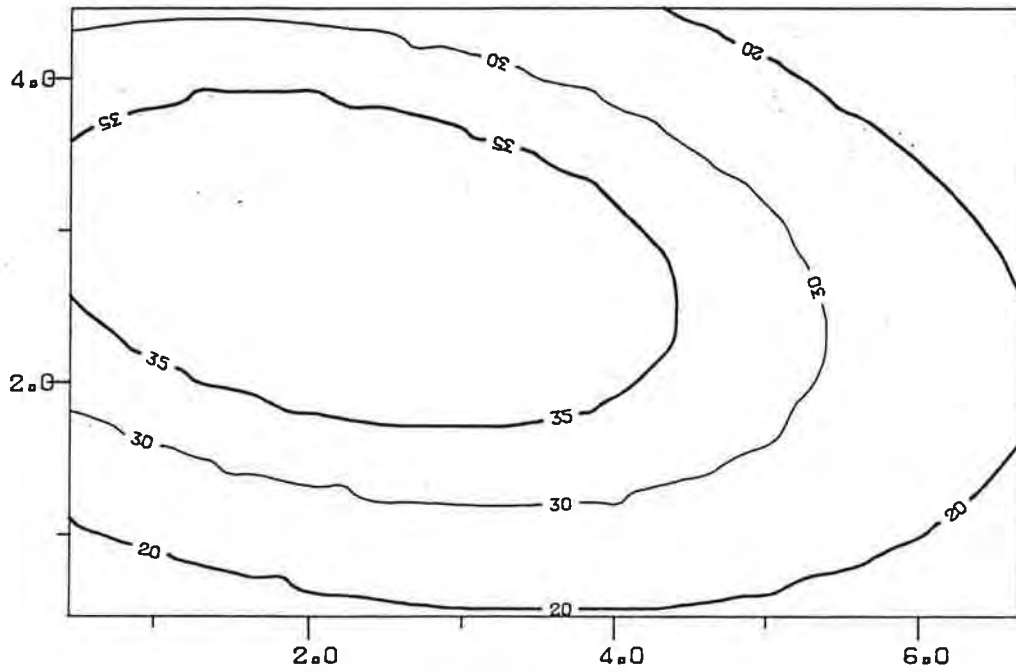


Figura 31b

Escala: 1/50000

* CU : SUPERFICIE CUBICA *

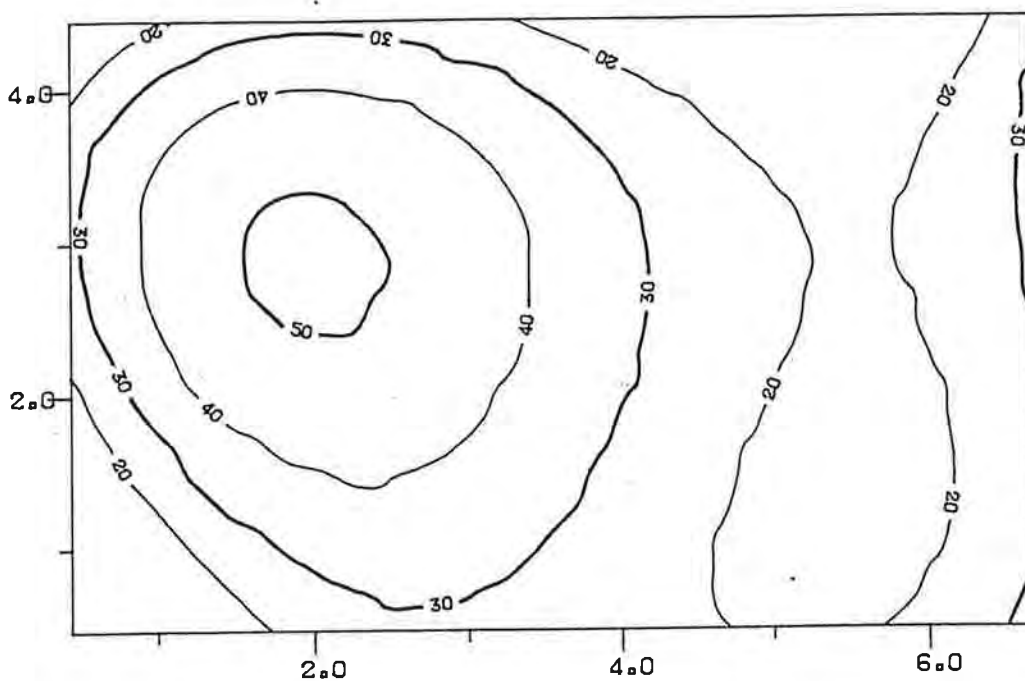


Figura 31c

* CU : SUPERFICIE DE ORDEN 4 *

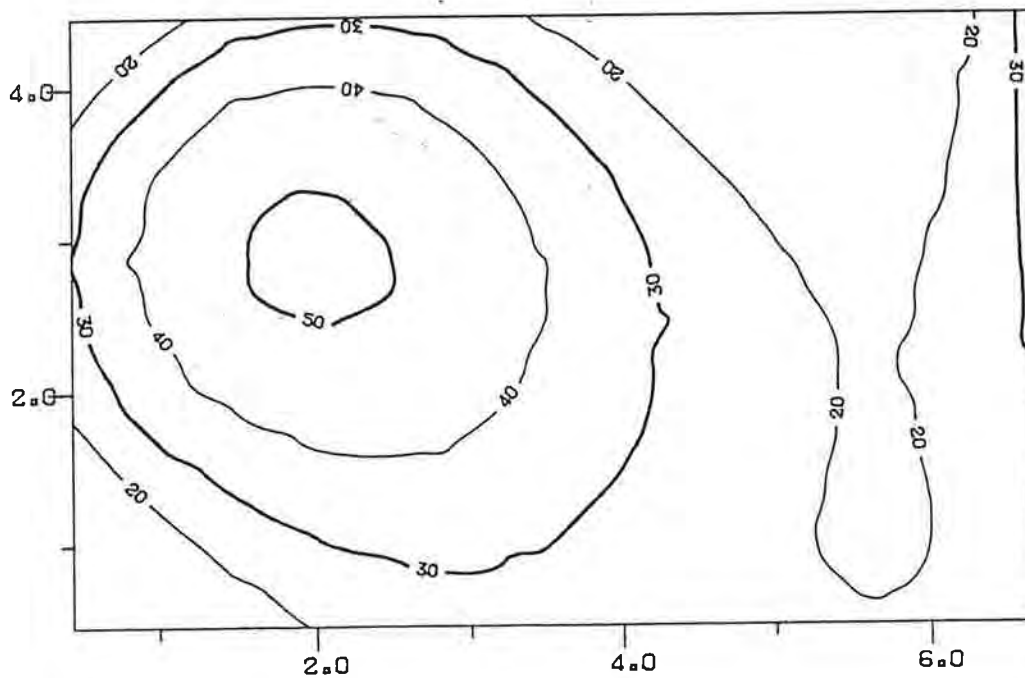


Figura 31d
Escala: 1/50000

* CU: SUPERFICIE DE ORDEN 5 *

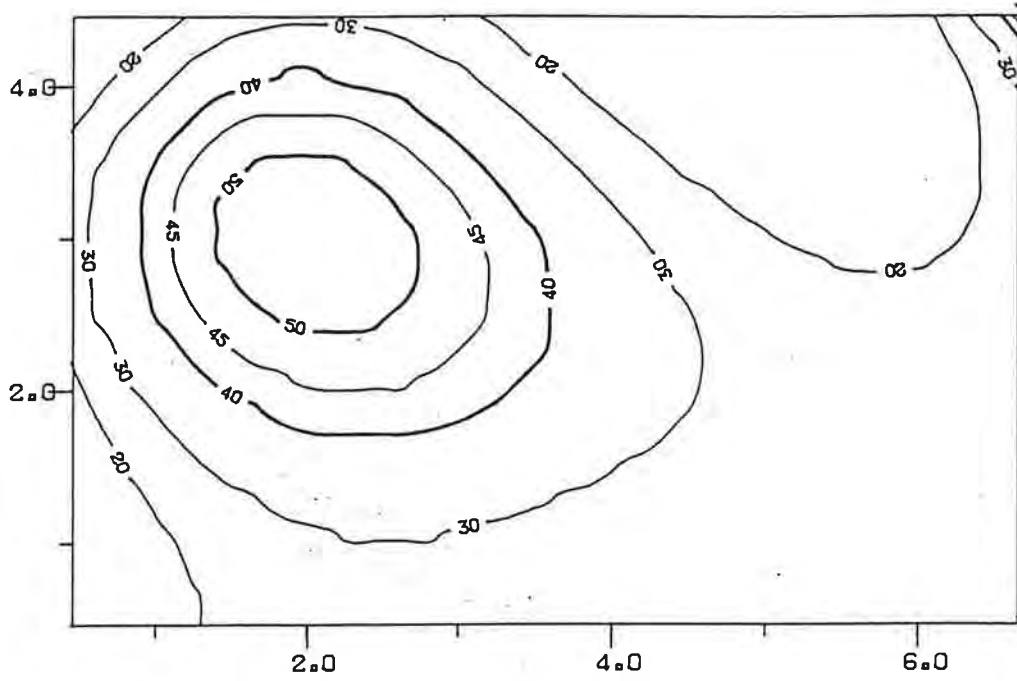


Figura 31e

* CU: SUPERFICIE DE ORDEN 6 *

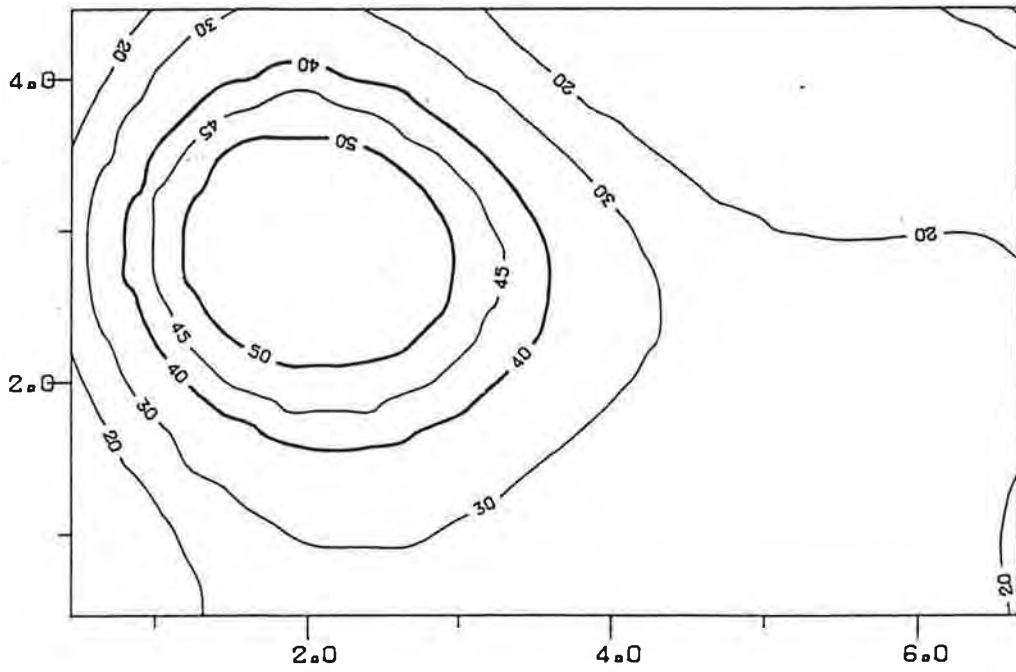


Figura 31f
Escala: 1/50000

* V : SUPERFICIE LINEAL *

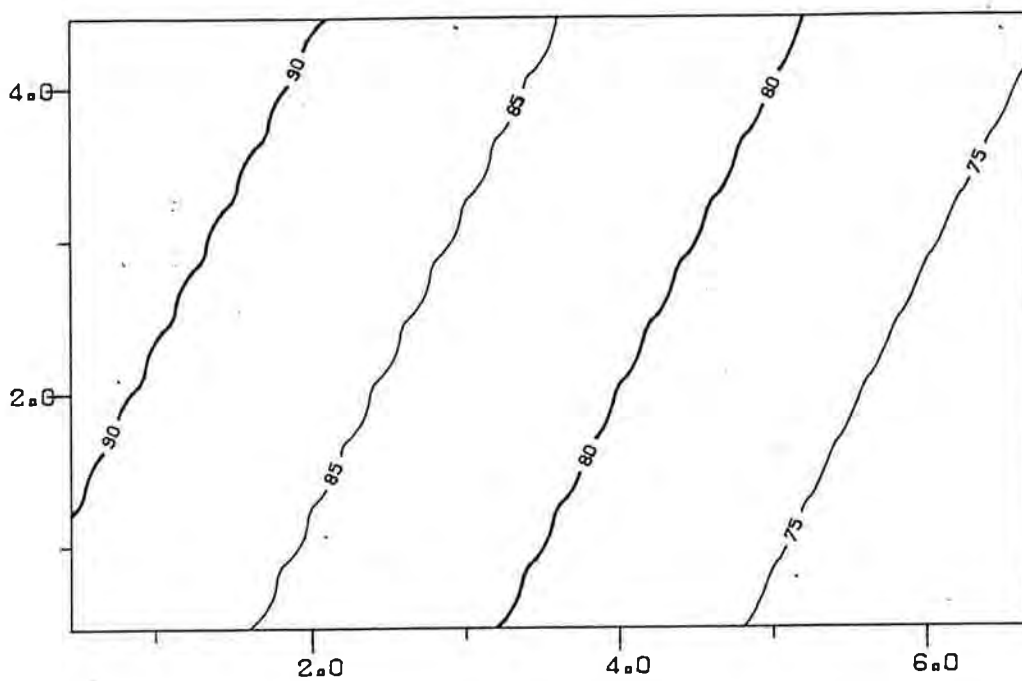


Figura 32a

* V : SUPERFICIE CUADRATICA *

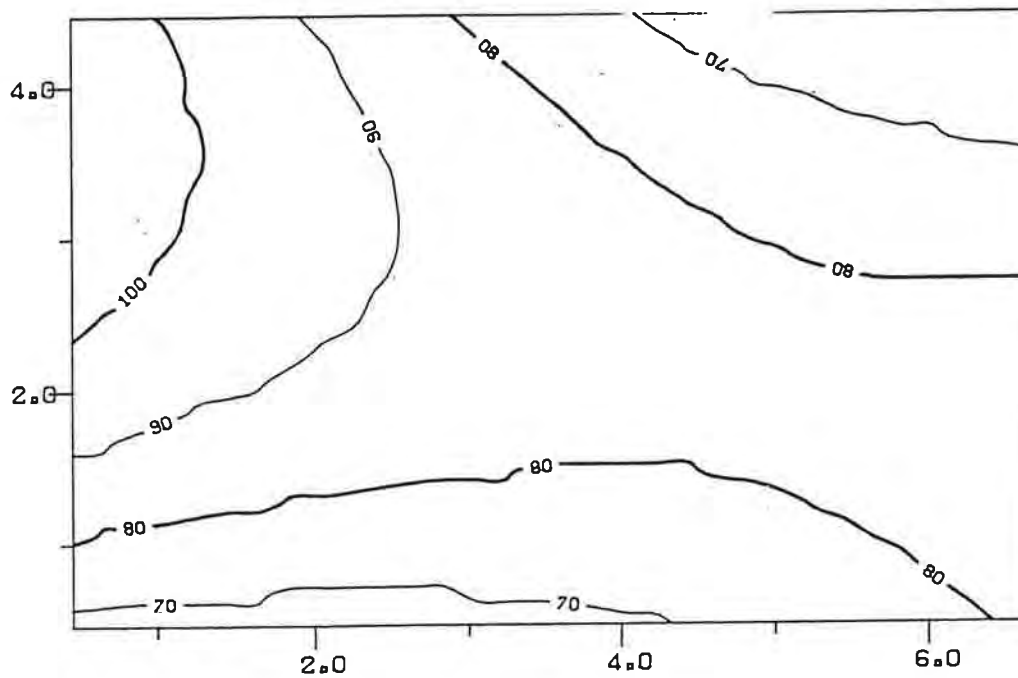


Figura 32b
Escala: 1/50000

* V : SUPERFICIE CUBICA *

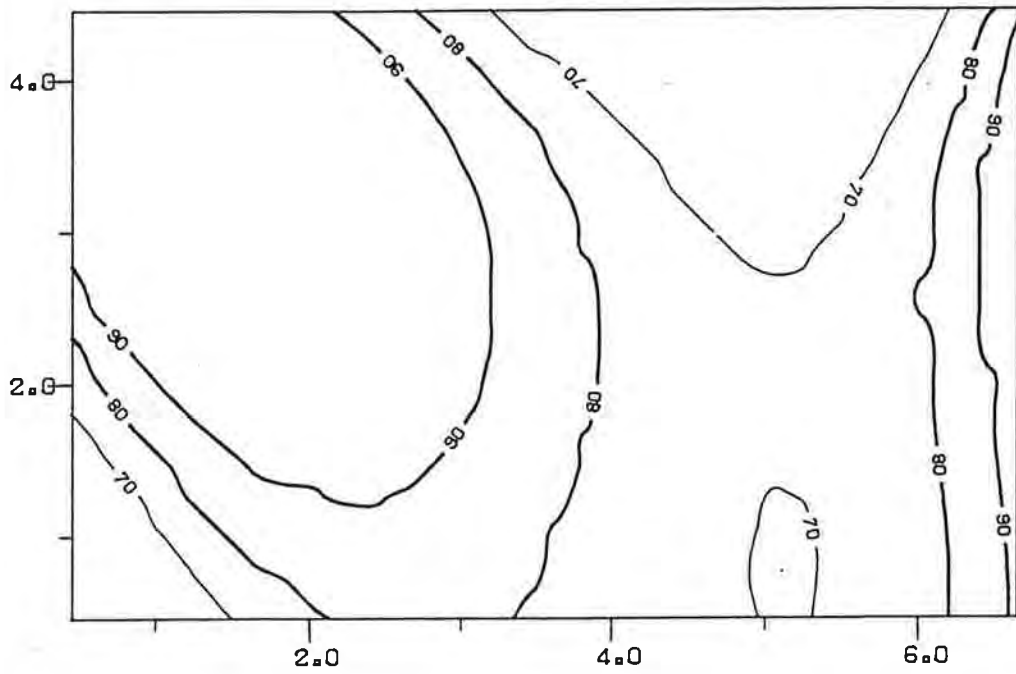


Figura 32c

* V : SUPERFICIE DE ORDEN 4 *

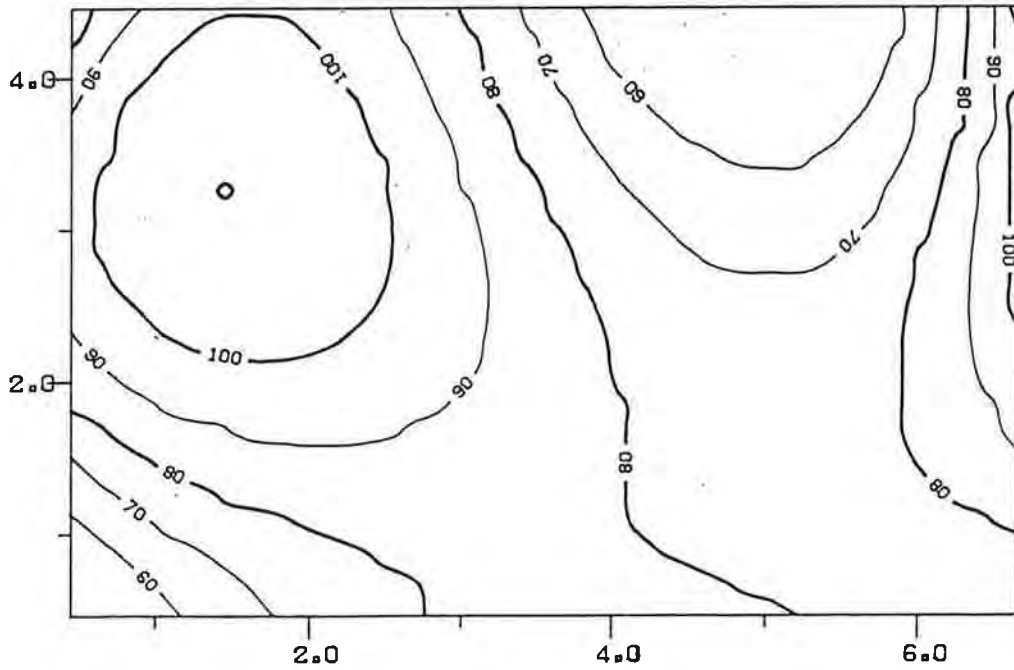


Figura 32d
Escala: 1/50000

* V ■ SUPERFICIE DE ORDEN 5 *

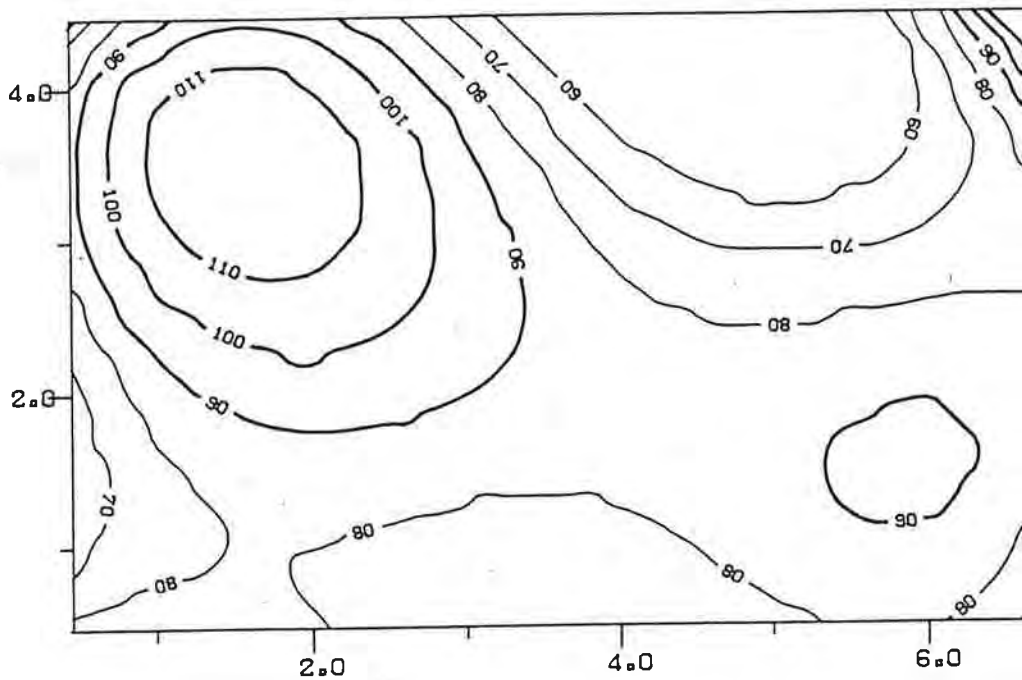


Figura 32e

* V ■ SUPERFICIE DE ORDEN 6 *

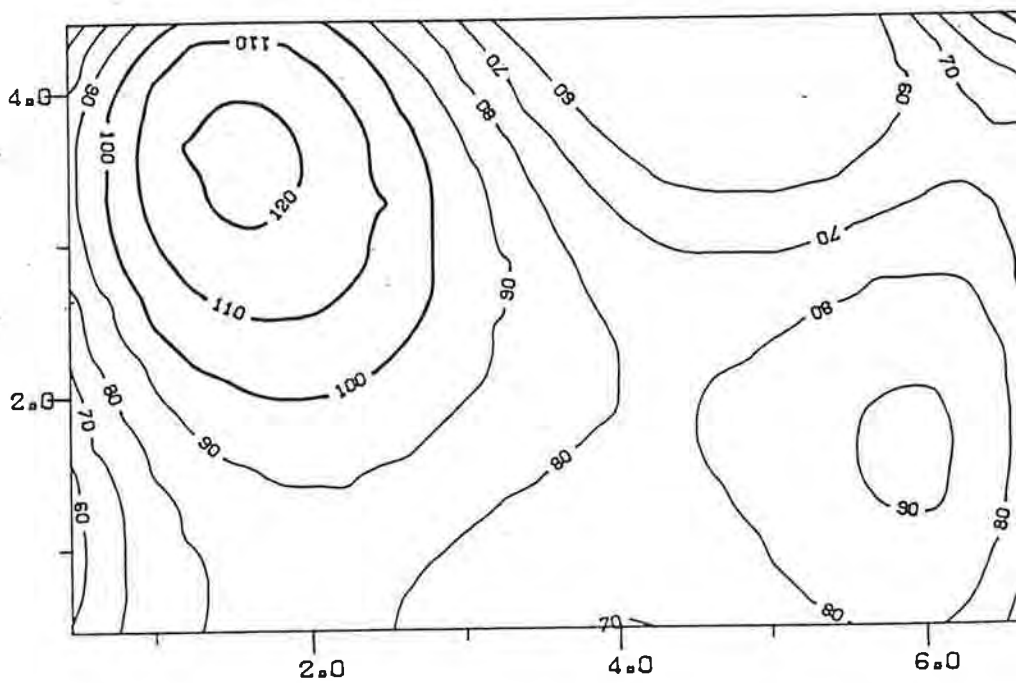


Figura 32f
Escala: 1/50000

La ecuación lineal del Be revela una tendencia de sur a norte, que al disminuir la rigidez de la superficie, comienza a delinear las intrusiones graníticas como las zonas altas. En las superficies quíntica y séxtica se observa perfectamente una elevación bien contrastada en el sector norte del granito de Minas, aproximadamente a 4ppm de Be, que disminuye hacia el este mostrando una zona a tenores bajos de estructura similar al máximo de la superficie quíntica del níquel. Hacia el oeste la superficie pasa por una fosa (microgranitos y volcanitos básicos), para luego aumentar hasta llegar nuevamente a unos 4ppm, sobre la formación Sierra de Animas. Para este elemento la superficie séxtica alcanza a explicar un 45% de su varianza total, lo que es comprensible debido a la configuración relativamente sencilla de la distribución geográfica de los tenores de Be.

En lo que respecta al cobre y vanadio, ambos presentan una estructuración de sus concentraciones bastante semejante. Los tenores tienden a aumentar, en la superficie plana, del ángulo SE al NW. Las superficies del cobre luego comienzan a definir una zona elevada, con tenores de 50ppm, en el centro-oeste del sector, que desciende hacia los bordes del sector y sólo aumenta nuevamente en el extremo NE. El comportamiento del vanadio es paralelo al del cobre, y el máximo central (100-120ppm) se encuentra tan sólo levemente desplazado respecto al del Cu. Una particularidad de la superficie séxtica del V es un máximo secundario (80-90ppm) en la zona SE. Nuevamente en el NE la superficie muestra una zona alta (100ppm). Las varianzas explicadas por los polinomios de sexto grado son de 28% para el Cu y 26% para el V, sensiblemente menores que las obtenidas para el Be y el Ni.

Como lo manifiestan los mapas de la figura 24, una zona relativamente extendida desde el centro hacia el NW del sector se muestra anómala en Cu y en V, exactamente donde las superficies de tendencia señalan el máximo relieve. Esta estruc-

tura seguramente ha distorsionado las superficies de tendencia hacia el conjunto de muestras agrupadas con tenores anómalos que la conforman. Las funciones polinomiales no dan, entonces, una descripción de las variaciones del fondo geoquímico, sino que delinear en parte la estructura anómala. En los mapas de las figuras 33 y 34 representamos los tenores residuales de las superficies séxticas del Cu y del V, junto con las curvas isoconcentraciones obtenidas directamente de los datos originales. Al sustraer la componente continua de los tenores experimentales se clarifica la imagen de la anomalía en cobre, que se revela como una zona de valores residuales positivos (entre 30 y 100ppm) autocorrelacionados. Esto resulta más interesante si tomamos en cuenta que seguramente ha tenido lugar una sobrecorrección del fondo geoquímico. Los tenores residuales de V muestran una franja anómala (30-100ppm) coincidente con la de cobre y varias zonas en forma de pequeñas manchas a aproximadamente 30ppm; indicando que el fondo geoquímico no es completamente considerado por la superficie séxtica.

Al comparar los coeficientes de variación calculados sobre los datos brutos con los ajustes de las diferentes superficies (ver tabla 15), se puede concluir que no existe una relación simple entre ellos. Por ejemplo, para el Mn y el Pb, con desviaciones estándares relativas del 107% y 65% respectivamente, los ajustes de las ecuaciones de tendencia no difieren significativamente del de una distribución de números aleatorios; mientras que para el Cu ($V=87\%$) la superficie cúbica explica un 23% de su varianza. Las superficies calculadas dependen de la distribución areal de los tenores y, particularmente, de su autocorrelación. Elementos como el Ni y el Be, cuyos tenores están controlados en el área estudiada esencialmente por la litología, muestran una distribución areal relativamente simple, con una regionalización considerable. El conjunto de datos representa, entonces, a poblaciones de fondo geoquímico, que pueden ser descritas por una superficie de tendencia bien definida.

* ISOTENORES DE COBRE *

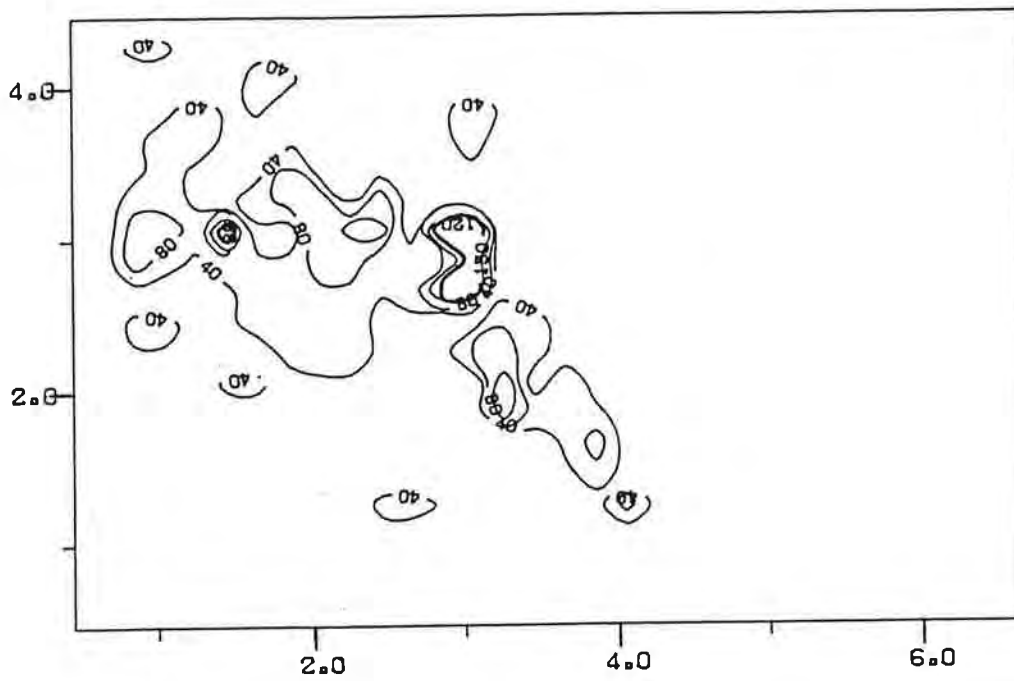


Figura 33a

* CU: RESIDUALES (SUPERFICIE ORDEN 6) *

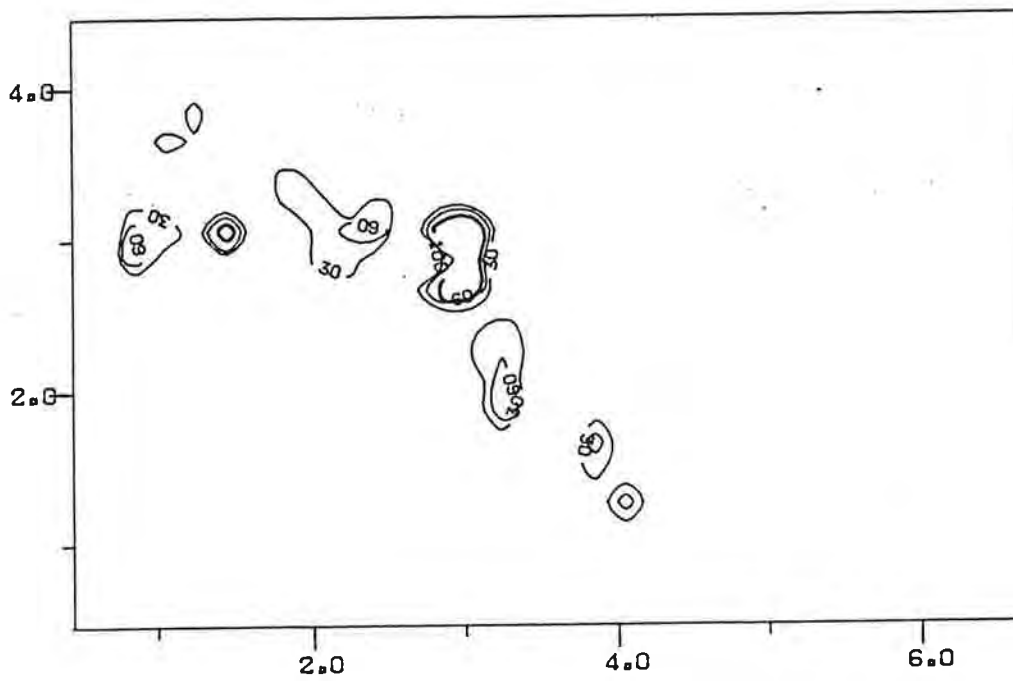


Figura 33b

Escala: 1/50000

* ISOTENORES DE VANADIO *

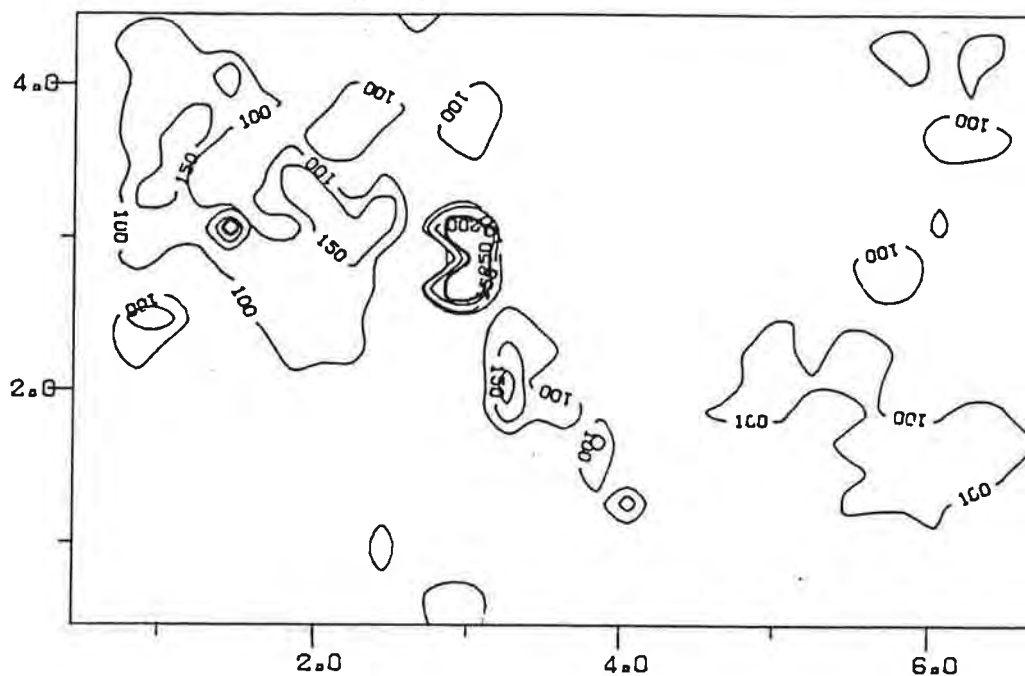


Figura 34a

* V : RESIDUALES (SUPERFICIE ORDEN 6) *

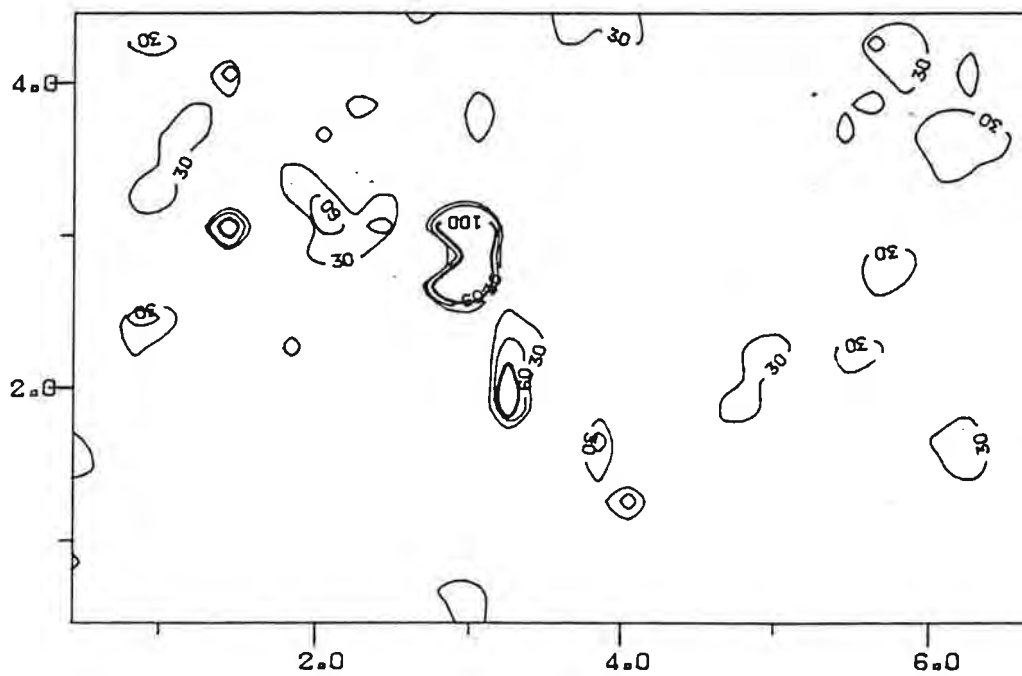


Figura 34b

Escala: 1/50000

Como ya vimos, funciones polinomiales bastante rígidas alcanzan a tomar en cuenta más de un 40% de las variaciones de sus tenores. Para elementos como el cobre y vanadio, que posiblemente se encuentran asociados a una mineralización, la topografía de la superficie geoquímica es más complicada. Dado que la zona anómala forma por sí misma una estructura bien definida con tenores elevados, las superficies representan una tendencia anómala en lugar de las variaciones más o menos continuas de los tenores de fondo. Otros elementos como el P, Mn, Pb, Zn, ... exhiben distribuciones geográficas de sus tenores más complejas, con fluctuaciones locales muy rápidas, ya sea debido a la influencia de fenómenos litológicos a pequeña escala, p. ej.: elevación de los tenores de Pb en los facies de borde de los microgranitos en contacto con calizas; fenómenos supergénicos, p. ej.: acumulación o eliminación del Mn y el P según el pH del medio; presencia de mineralizaciones; o aún a errores de manipulación. En estos casos el análisis de tendencia puede ser poco efectivo, puesto que los valores parásitos distorsionan la estimación de las ecuaciones, y los datos se comportan generalmente como si estuvieran distribuidos en forma aleatoria. Sólo la exclusión de los valores aberrantes puede mejorar el ajuste de las superficies. Sin embargo, esta eliminación no es obvia, e implica distinguir aquellos datos esencialmente espúreos de los que pueden estar indicando una diferenciación local en la litología, que puede traducirse en la señal geoquímica como una fluctuación aún más rápida que la ocasionada por una mineralización.

Resumiendo, el análisis de tendencia ha mostrado ser eficaz en la descripción de los rasgos generales de las variaciones continuas del fondo geoquímico de los elementos, que siguen los cambios graduales de la geología (Fe_2O_3 , Ni, Cr, Be, Ba, ...). Cuando la distribución de los elementos se ve más fuertemente influenciada por fenómenos pedológicos, topográficos, metalogénicos, ..., el relieve de la superficie geoquímica re-

sulta muy complejo, y las superficies de tendencia evaluadas son poco significativas (Mn, P, Pb, Zn, ...).

- Representación de medias móviles

El método de medias móviles permite completar la información sobre la zonalización de los datos geoquímicos en estudio, ya que por ser un método de interpolación local origina superficies muy flexibles capaces de describir configuraciones de datos complejas.

Los nodos de una grilla de 200m×200m fueron evaluados considerando los tenores de los puntos de muestreo dentro de la celda y los de las celdas adyacentes a la misma. De esta forma se minimizó la variabilidad de los tenores debida a fluctuaciones geoquímicas locales y errores de manipulación. Las concentraciones alisadas fueron representadas gráficamente mediante una técnica de sombreado variable, generando buenas imágenes del comportamiento geoquímico regional de los diferentes elementos. Las figuras 35 y 36 exponen los mapas para el Fe_2O_3 , Mn, Ni, Cr, Co, Zn y el Cu, V, P, Y, Be y Pb, que establecidos a escala 1/50000 fueron reducidos fotográficamente para su publicación al 1/100000, y se presentan aquí con el esbozo geológico del sector.

El Ni, Cr, Co, V, Zn, Mn y Fe, y parcialmente también el Cu, muestran en el este del sector una zona bien contrastada a tenores relativamente altos sobre las metalavas básicas. Inmediatamente hacia el oeste una fosa, empobrecida en los elementos de la primera fila de transición, delinea la parte norte del granito a biotita, cartografiado como granito de Minas. Esta se manifiesta rica en Be e Y en comparación con las demás litologías, inclusive intrusiones graníticas. Otras zonas con tenores elevados en los elementos del grupo del hierro indicarían diferenciaciones geoquímicas locales en el conjunto de grauvacas, cuarcitas y filitas, y un cierto comportamiento básico de los microgranitos y microgranodioritas en el centro-noroeste y sureste del

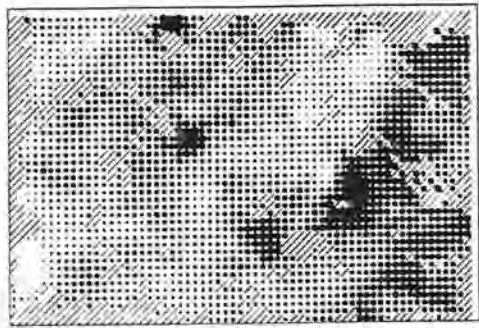
sector. Los suelos sobre la zona sur del granito de Minas no exhiben el mismo espectro geoquímico que los desarrollados sobre el propio granito en el N del área estudiada. Este hecho, también patentizado por el análisis de tendencia de las concentraciones en berilio, será examinado luego con mayor detalle.

La imagen del P es muy uniforme, con algunas prominencias sobre las rocas volcánicas básicas y las granodioritas a grano fino.

Las imágenes del Pb y del Ba muestran el enriquecimiento en estos elementos de los suelos desarrollados sobre las rocas graníticas (sustitución del K^+ por Ba^{2+} y Pb^{2+} en las estructuras feldespáticas). Una zona en el SW del sector, a tenores relativamente altos en Ba, Pb y Be podría relacionarse a las litologías de la Sierra de Animas (sienitas, traquitas, ...).

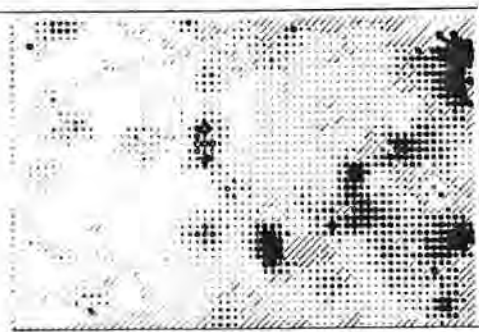
En las representaciones de los tenores de cobre y vanadio se aprecia una cresta de dirección aproximada $N130^{\circ}$ - $N140^{\circ}$, ocasionalmente con tenores altos en hierro, cobalto y cromo. Esta unidad no posee un equivalente litológico en la cartografía de Midot D. (1983), y corresponde a la anomalía geoquímica de los mapas de la figura 24, descrita como una tendencia anómala en las superficies estimadas por análisis de tendencia.

Las representaciones de medias móviles facilitan la comparación de las superficies geoquímicas con la información sobre el cuadro geológico del sector, y consideran aspectos complementarios a las cartografías de imposición puntual (figuras 22 a 28) e imposición zonal con procedimiento de interpolación global (análisis de tendencia). Ha quedado demostrado que la mayoría de las "anomalías" de los mapas de las figuras 23 a 28 están controladas por la litología. Sólo una zona anómala principal en Cu y V, correspondiente a la anomalía geoquímica estratégica, se manifiesta de interés prospectivo.



ZN

40 PPM 132



CO

10 PPM 15



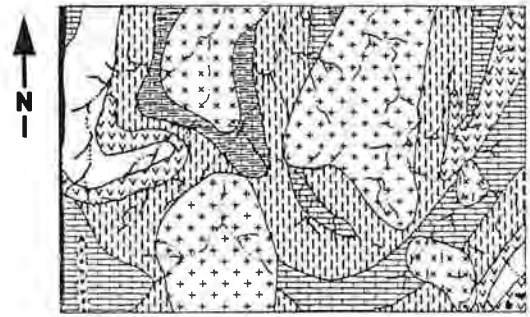
NI

10 PPM 45



FE2X

3 % 11



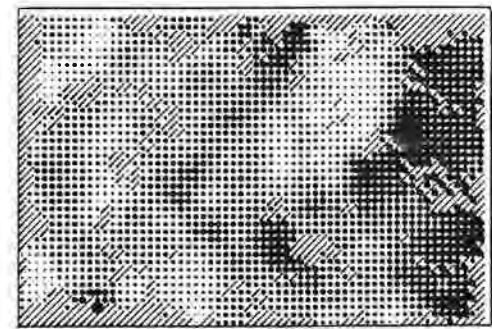
REFERENCIAS GEOLOGICAS

- | | |
|--|---|
| Trayugas, Molinas y Sien Ca | Conjunto de granodios cuarcitas y filitas |
| Celinas dolomíticas grise. Celinas dolomíticas - dolomíticas brancas | Meta-lavas básicas Breñas volcánicas |
| Júpiter | Granito - gneiss Granito - gneiss |
| Esquistos laminados | Granito - gneiss Granito - gneiss |



CR

14 PPM 35



MN

201 PPM 3753

5 KMS

ESCALA

FIGURA-35



V
39 PPM 153



P
206 PPM 873



CU
10 PPM 68



PB
10 PPM 28



Y
9 PPM 43



BE
1 PPM 6



BA
240 PPM 689

5 KMS
ESCALA

FIGURA - 36

3.2.2. Estudio de las asociaciones geoquímicas

Las representaciones cartográficas han puesto en evidencia que algunos elementos exhiben una repartición areal similar de sus tenores, p. ej.: níquel y cromo, cobre y vanadio, berilio y ytrio, etc.. Lo cual indica que estos elementos poseen un comportamiento geoquímico semejante, ya sea en el medio primario y/o en el ambiente superficial, que origina una redundancia de los datos contenidos en la matriz de información espacial en estudio. Los métodos de análisis de correlación y las técnicas multidimensionales de análisis factorial y de clasificación automática permiten cuantificar la repetición de la información, estableciendo la magnitud de las interdependencias entre los elementos analizados.

3.2.2.1. Correlaciones interelementos

- Coefficientes de correlación

Determinamos la matriz de los coeficientes de correlación para los tenores brutos (tabla 16) y los transformados logarítmicamente (tabla 17). Fueron excluidas del análisis aquellas muestras con concentraciones excepcionales en Mn, Cu y Pb. Subrayamos con trazo lleno los coeficientes de correlación superiores a 0.5 y con una línea punteada a los comprendidos entre 0.4 y 0.5. Señalamos que para los $n-2=299$ grados de libertad, los valores críticos, r_{α} , extraídos de la tabla de Bravais-Pearson (Zar H., 1974) son: $r_{0.05}=0.113$, $r_{0.01}=0.148$ y $r_{0.001}=0.188$. Sin embargo, considerando la heterogeneidad del conjunto total de datos, opinamos que es riesgoso interpretar coeficientes de correlación inferiores a 0.4.

Las principales correlaciones positivas (directas) son: Fe-Ni, Cr-Ni, Cr-V, Fe-Cr, Fe-V, Fe-Zn, Cu-V, Fe-Co, Co-Ni, Ni-Zn, Ni-V, Mn-Zn, Fe-Mn, Fe-Cu, Mn-Ni, Mn-Co, Zn-Cr y Zn-Co, que manifiestan la asociación geoquímica general entre los elementos

* NOMBRES *	FE2X *	MN *	BA *	P *	V *	AS *	PB *	ZN *	CU *	NI *	CR *	CC *	BE *	Y *	NB *
* FE2X *	1.00	0.62	-0.13	0.32	0.70	0.10	-0.25	0.61	0.44	0.79	0.65	0.75	-0.44	0.01	0.11
* MN *	<u>0.62</u>	1.00	-0.09	0.32	0.20	0.09	-0.19	0.47	0.11	0.54	0.32	0.60	-0.37	-0.05	0.08
* BA *	-0.13	-0.09	1.00	-0.01	-0.09	-0.06	0.21	-0.05	-0.12	-0.17	-0.04	-0.13	0.19	-0.01	0.13
* P *	0.32	0.32	-0.01	1.00	0.24	0.10	-0.06	0.32	0.08	-0.28	-0.31	0.22	-0.18	-0.26	0.19
* V *	<u>0.70</u>	0.20	-0.09	0.24	1.00	0.05	-0.19	0.35	0.71	0.53	0.60	0.48	-0.44	-0.02	0.00
* AS *	0.10	0.09	-0.06	0.10	0.05	1.00	0.05	0.03	0.11	0.01	-0.01	0.10	-0.03	0.03	-0.01
* PB *	-0.25	-0.19	0.21	-0.06	-0.19	0.05	1.00	0.11	-0.01	-0.28	-0.24	-0.12	0.45	0.27	0.01
* ZN *	<u>0.61</u>	0.47	-0.05	0.32	0.35	0.03	0.11	1.00	0.27	0.55	0.35	0.45	-0.25	0.02	0.16
* CU *	0.44	0.11	-0.12	0.08	<u>0.71</u>	0.11	-0.01	0.27	1.00	0.25	0.25	0.28	-0.25	0.11	-0.05
* NI *	<u>0.79</u>	<u>0.54</u>	-0.17	0.28	<u>0.53</u>	0.01	-0.28	<u>0.55</u>	0.25	1.00	0.79	0.72	-0.43	-0.08	-0.04
* CR *	<u>0.65</u>	0.32	-0.04	0.31	<u>0.60</u>	-0.01	-0.24	0.35	0.25	<u>0.79</u>	1.00	0.49	-0.43	-0.16	-0.01
* CC *	<u>0.75</u>	<u>0.60</u>	-0.13	0.22	0.48	0.10	-0.12	0.45	0.28	<u>0.72</u>	0.49	1.00	-0.27	0.01	0.06
* BE *	-0.44	-0.37	0.19	-0.18	-0.44	-0.03	0.45	-0.25	-0.25	-0.43	-0.43	-0.27	1.00	0.58	0.01
* Y *	0.01	-0.05	-0.01	-0.26	-0.02	0.03	0.27	0.02	0.11	-0.08	-0.16	0.01	<u>0.58</u>	1.00	0.09
* NB *	0.11	0.08	0.13	0.19	0.00	-0.01	0.01	0.16	-0.05	-0.04	-0.01	0.06	0.01	0.09	1.00

Tabla 16: Matriz de correlación de los tenores brutos (n=301).

NOMBRES	FE2X*	MN	* BA	* P	* V	* AS	* PB	* ZN	* CU	* NI	* CR	* CO	* BE	* Y	* NB
* FE2X	* 1.00	0.63	-0.12	0.31	0.76	0.11	-0.31	0.72	0.57	0.84	0.76	0.71	-0.46	0.08	0.12
* MN	* 0.63	1.00	-0.09	0.31	0.33	0.11	-0.27	0.64	0.36	0.57	0.44	0.56	-0.47	0.00	0.11
* BA	* -0.12	-0.09	1.00	-0.07	-0.08	-0.05	0.25	-0.08	-0.08	-0.15	-0.05	-0.13	0.33	0.04	0.15
* P	* 0.31	0.31	-0.07	1.00	0.26	0.11	-0.08	0.41	0.13	0.31	0.30	0.20	-0.22	-0.30	0.17
* V	* 0.76	0.33	-0.08	0.26	1.00	0.07	-0.27	0.48	0.72	0.66	0.77	0.48	-0.48	-0.02	0.04
* AS	* 0.11	0.11	-0.05	0.11	0.07	1.00	0.08	0.06	0.12	0.04	0.03	0.09	-0.01	0.06	0.01
* PB	* -0.31	-0.27	0.25	-0.08	-0.27	0.08	1.00	-0.05	-0.11	-0.35	-0.34	-0.16	0.51	0.26	0.04
* ZN	* 0.72	0.64	-0.08	0.41	0.48	0.06	-0.05	1.00	0.46	0.67	0.52	0.52	-0.31	0.11	0.19
* CU	* 0.57	0.36	-0.08	0.13	0.72	0.12	-0.11	0.46	1.00	0.49	0.54	0.33	-0.32	0.12	-0.04
* NI	* 0.84	0.57	-0.15	0.31	0.66	0.04	-0.35	0.67	0.49	1.00	0.83	0.69	-0.50	0.01	-0.01
* CR	* 0.76	0.44	-0.05	0.30	0.77	0.03	-0.34	0.52	0.54	0.83	1.00	0.49	-0.54	-0.13	0.01
* CO	* 0.71	0.56	-0.13	0.20	0.48	0.09	-0.16	0.52	0.33	0.69	0.49	1.00	-0.32	0.06	0.08
* BE	* -0.46	-0.47	0.33	-0.22	-0.48	-0.01	0.51	-0.31	-0.32	-0.50	-0.54	-0.32	1.00	0.48	0.03
* Y	* 0.08	0.00	0.04	-0.30	-0.02	0.06	0.26	0.11	0.12	0.01	-0.13	0.06	0.48	1.00	0.09
* NB	* 0.12	0.11	0.15	0.17	0.04	0.01	0.04	0.19	-0.04	-0.01	0.01	0.08	0.03	0.09	1.00

Tabla 17: Matriz de correlación de los tenores log-transformados (n=301).

del grupo del hierro, y Be-Y y Be-Pb. El Be muestra un comportamiento geoquímico inverso al de los elementos de la primera fila de transición, particularmente V, Cr, Mn, Fe, Co y Ni. Observamos entonces como mínimo dos grandes agrupaciones geoquímicas; una relaciona al Fe, Mn, Zn, Cr, Ni, Co, V y quizás también al Cu y la otra, opuesta a la mencionada, asocia al Be, Pb e Y.

Al transformar logarítmicamente los datos, la mayoría de los coeficientes aumentan sensiblemente, destacando las relaciones interelementos a nivel del fondo geoquímico normal, ver p. ej.: Fe-Cr, Fe-Ni, Cr-Ni. No obstante, algunas correlaciones, Fe-Co, Mn-Co y Be-Y, disminuyen en magnitud cuando los tenores son transformados. Recordamos que las distribuciones del Co y el Be son sumamente complejas, con varias modas, y fuertemente truncadas por los respectivos límites de dosificación.

- Diagramas binarios

En las figuras 37 a 40 enseñamos los diagramas de repartición binarios para las cuplas de elementos Cr-Ni, Cu-V, Co-Ni y Zn-Ni, con escalas logarítmicas. En los planos determinados por estas parejas de elementos fue proyectada la totalidad de la nube de puntos-muestras.

El diagrama Cr-Ni patentiza una estrecha relación entre los dos elementos a lo largo de todo el intervalo de variación de sus tenores. Esto confirma la correlación bien conocida del cromo y el níquel en la corteza terrestre, donde se asocian en los minerales máficos.

En el plano Cu-V los puntos se reparten en forma heterogénea, y a bajos tenores en cobre (menores que 65ppm) la intercorrelación entre ambos elementos no es tan neta ($r=0.56$, $r_L=0.66$, $n=289$) como la observada ($r=0.91$, $r_L=0.86$, $n=20$) para las concentraciones anómalas (mayores que 65ppm). Estos resultados muestran que la correlación Cu-V es típica de las localidades anómalas en

* CORRELACION: CR - NI *

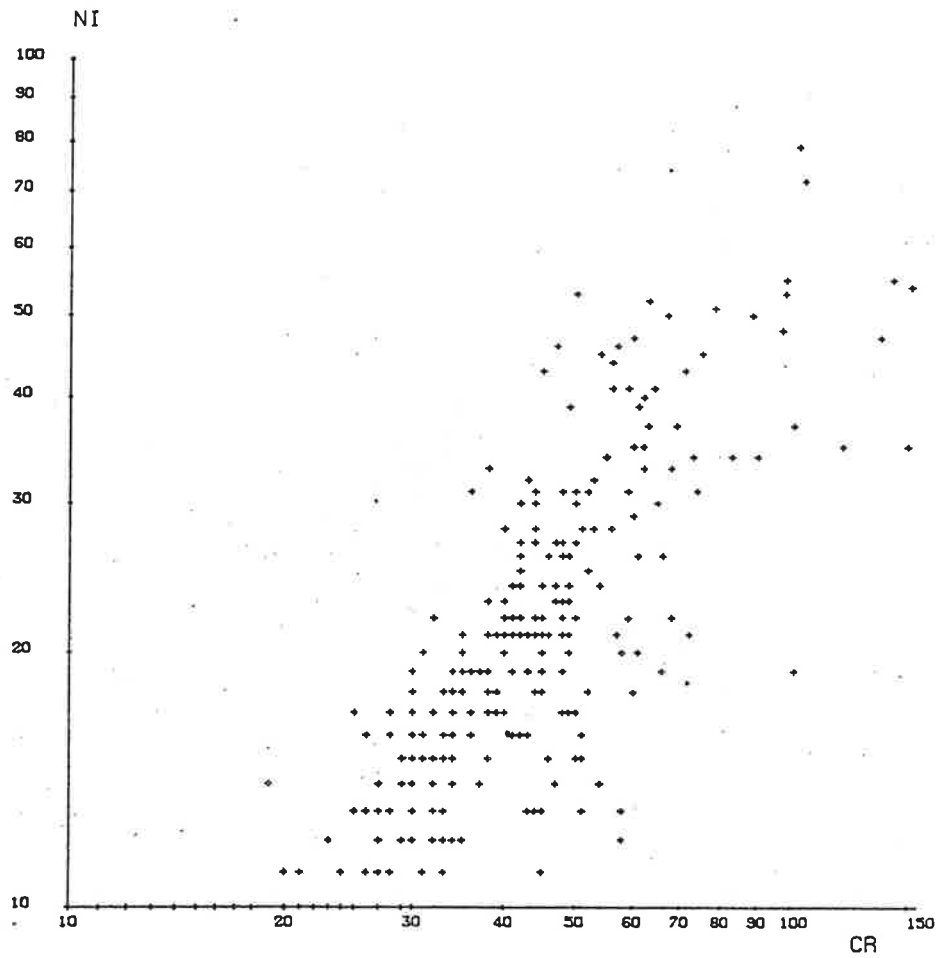


Figura 37

$$r_L(\text{Cr-Ni}) = 0.83$$

* CORRELACION: CU - V *

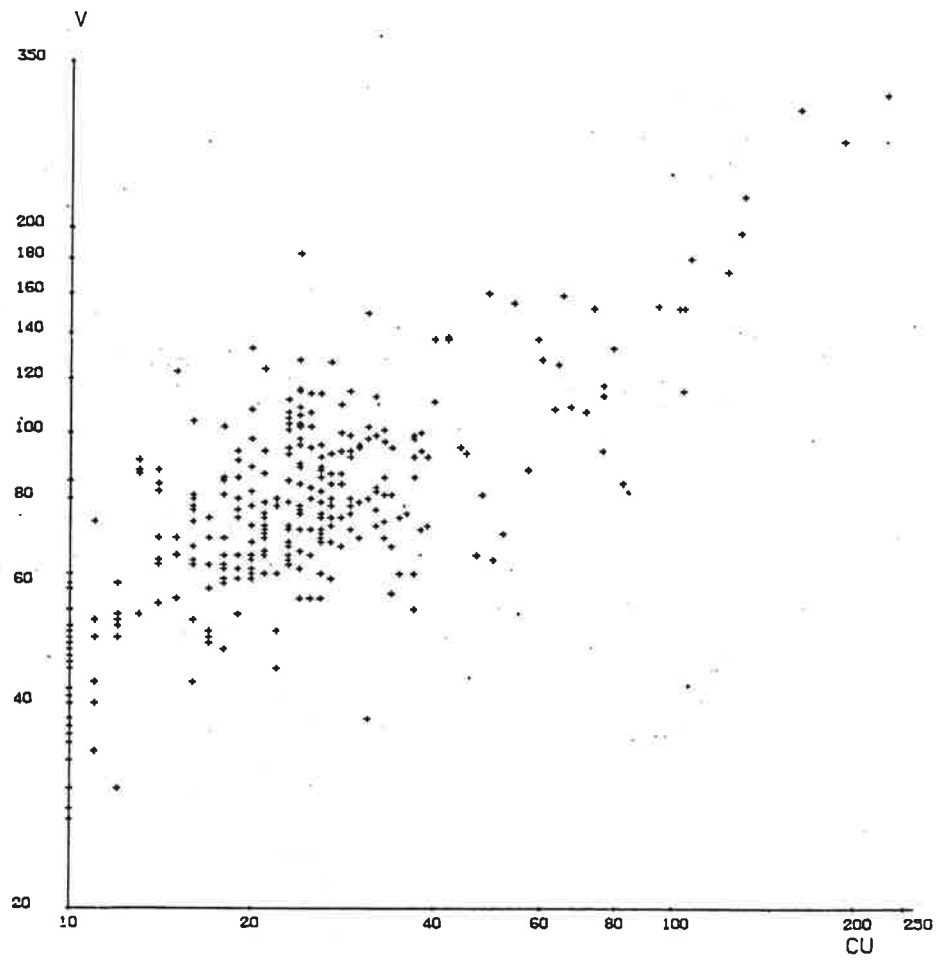


Figura 38

$$r_L(\text{Cu-V}) = 0.72$$

* CORRELACION: CO - NI *

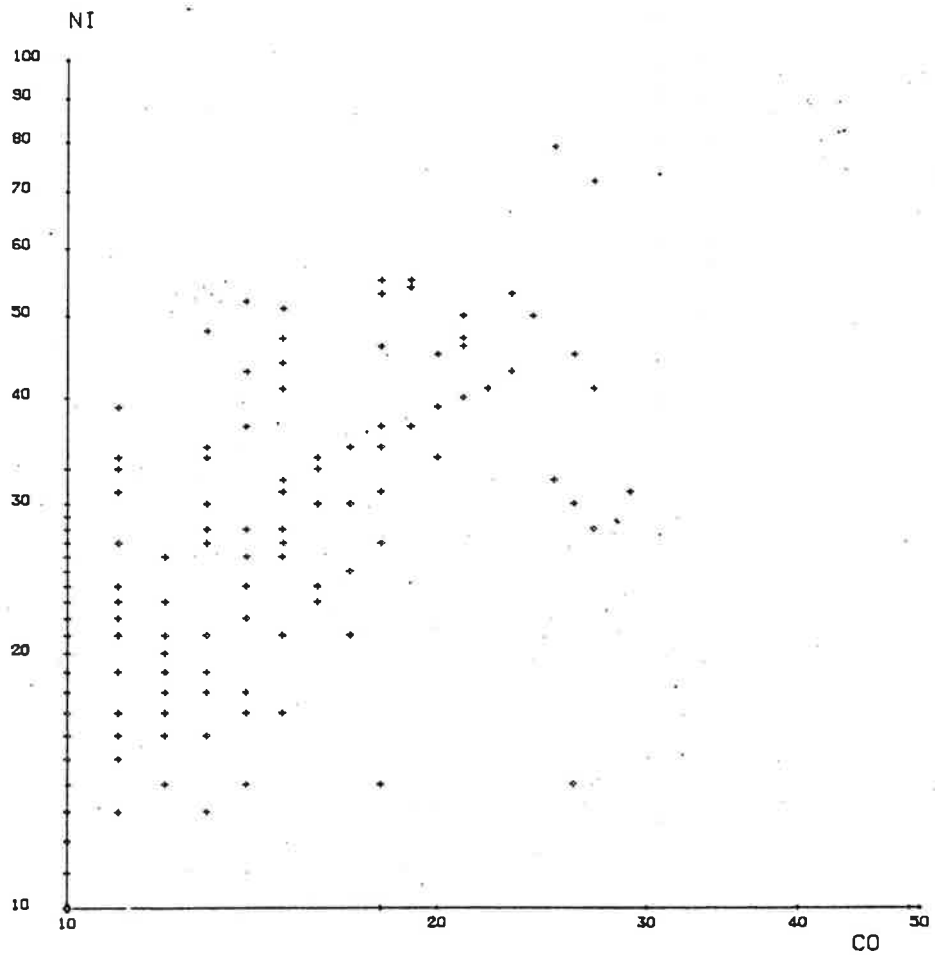


Figura 39

$$r_L(\text{Co-Ni}) = 0.69$$

* CORRELACION: ZN - NI *

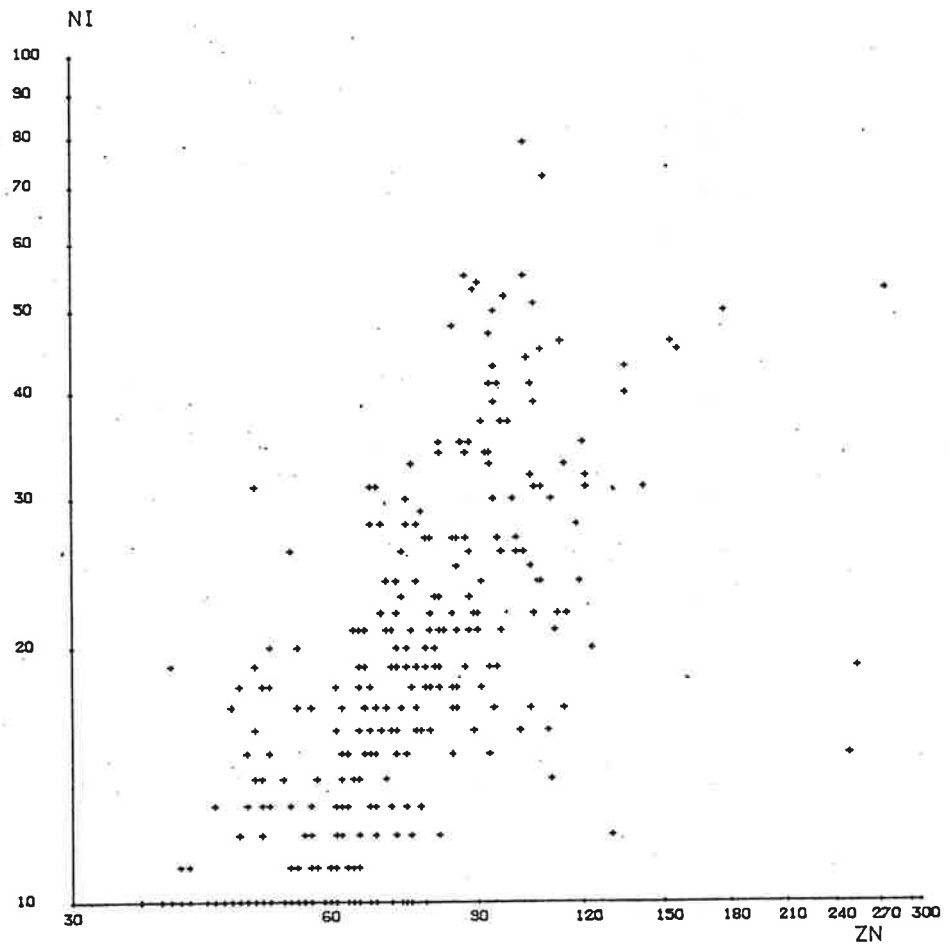


Figura 40

$$r_L(\text{Zn-Ni}) = 0.67$$

cobre (límite crítico regional, $L_{Cu}=65\text{ppm}$) del sector estudiado, hecho ya presumido en la interpretación de los resultados del reconocimiento geoquímico regional (Zeegers H. et al, 1982).

Los diagramas trazados para Co-Ni y Zn-Ni están de acuerdo con los coeficientes calculados. Algunas muestras anómalas en zinc (tenores superiores a 200ppm) y pobres en Ni (tenores menores que 20ppm) pueden distorsionar la determinación del correspondiente momento de Pearson, similar a lo que ocurre con la cupla Co-Ni.

- Planos de coeficientes de correlación

Una manera de aprehender más fácilmente la información contenida en la matriz de intercorrelaciones consiste en proyectar los puntos-variables en el plano definido por dos variables determinadas. Las coordenadas de los puntos son en este caso los coeficientes de correlación con las variables de los ejes. Como las variables privilegiadas que definen los ejes están, a su vez, generalmente correlacionadas, parecería más coherente representar los correspondientes coeficientes de correlación parcial. Estos dan lugar a un sistema de coordenadas ortogonales; y la repartición de los puntos en el diagrama pasa a ser independiente de la relación entre las dos variables de los ejes.

En las figuras 41 a 44 se exhiben algunos ejemplos de este tipo de representaciones, determinadas sobre las correlaciones de las series de tenores brutos. Hemos excluido al As y el Nb, puesto que no presentan ninguna correlación significativa con los demás elementos, a un nivel de confianza del 95%.

Los planos de correlación para el Cu-V son seguramente los más interesantes. Se distinguen asociaciones bien definidas:

- Be-Pb-Y: Con correlaciones parciales negativas con el V y ligeramente positivas con el Cu. Es una agrupación típica

* CORRELACIONES CU-V *

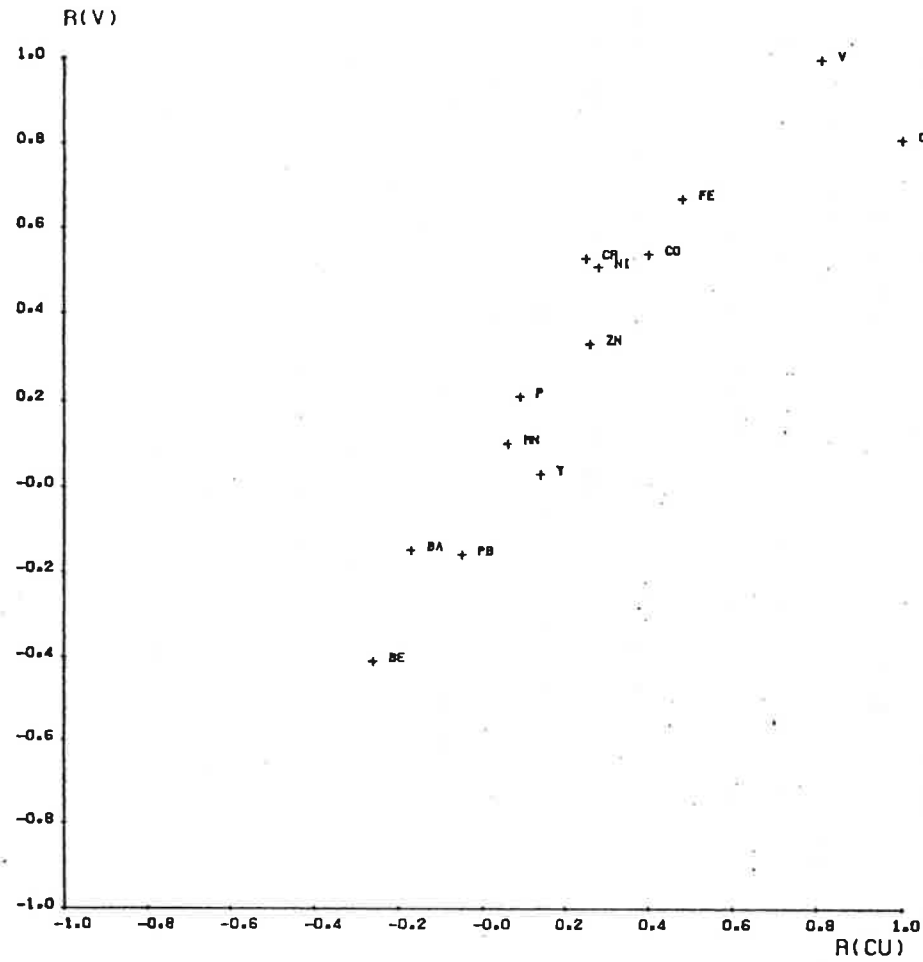


Figura 41a

$$r(\text{Cu-V}) = 0.71$$

* CORRELACIONES CU-V *

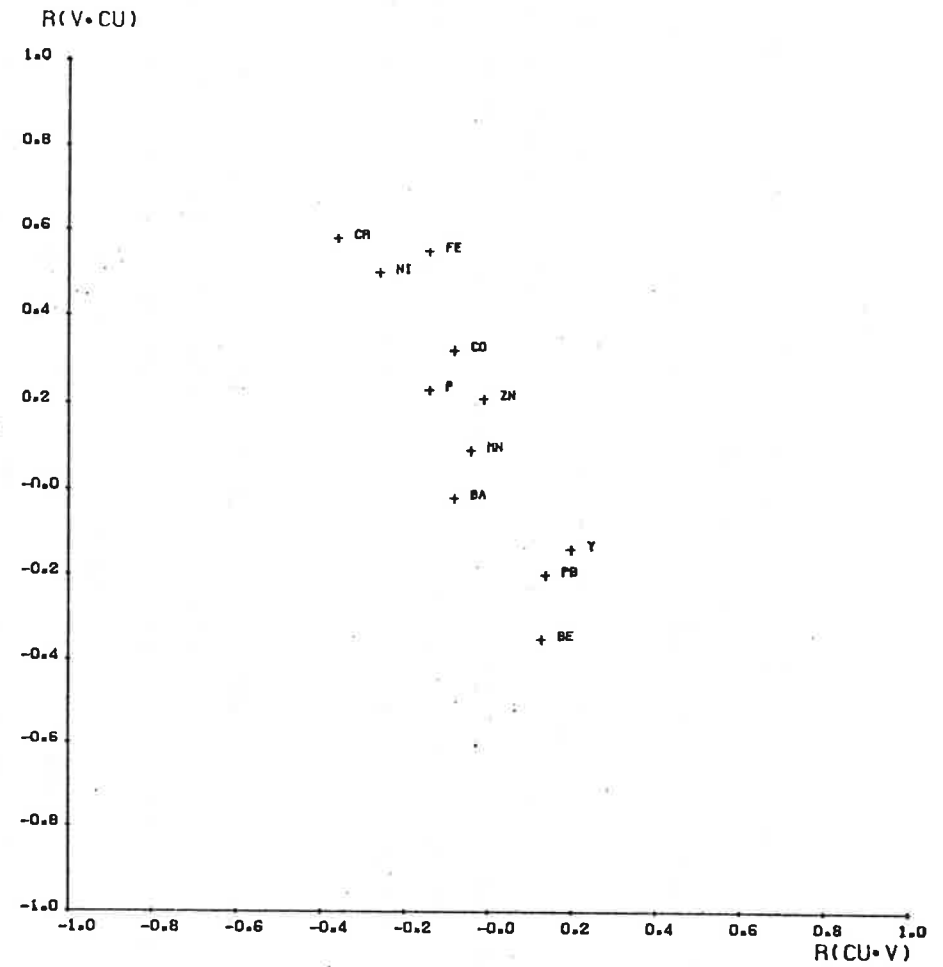


Figura 41b

PLANO DE COEFICIENTES DE CORRELACION (a) Y DE CORRELACION PARCIAL (b)

* CORRELACIONES NI-CO *

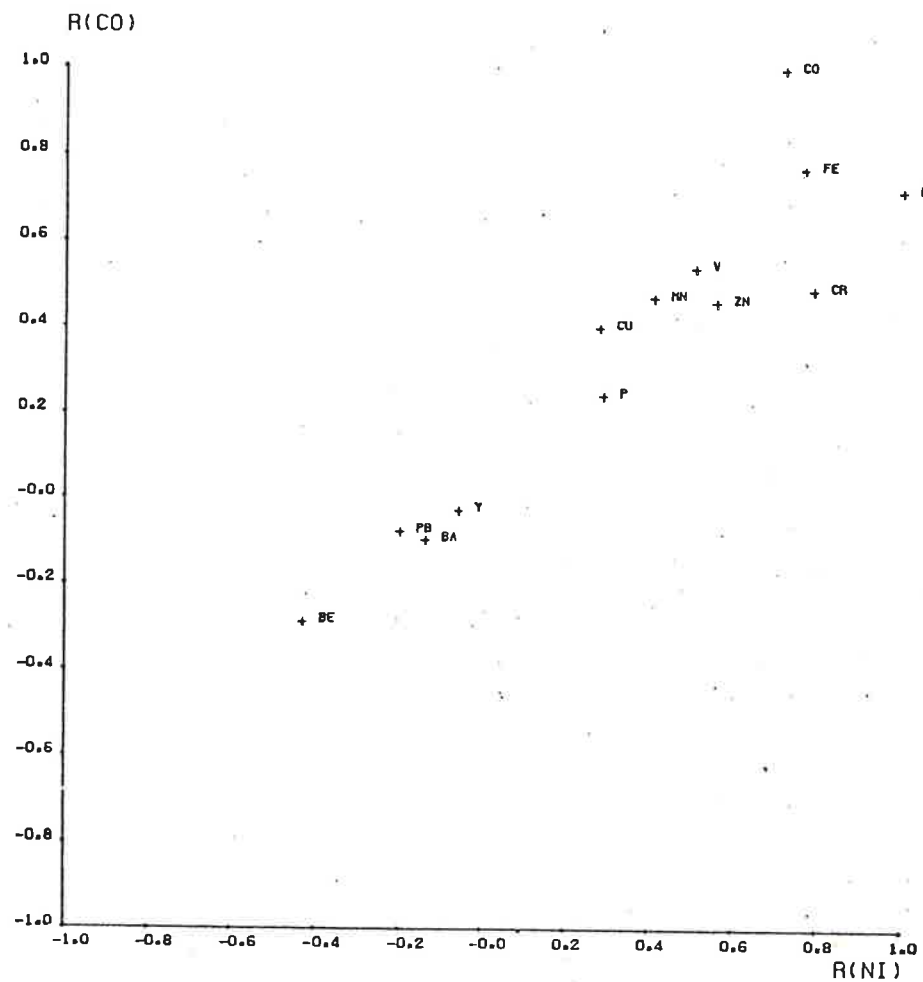


Figura 42a

$r(\text{Ni-Co}) = 0.72$

* CORRELACIONES NI-CO *

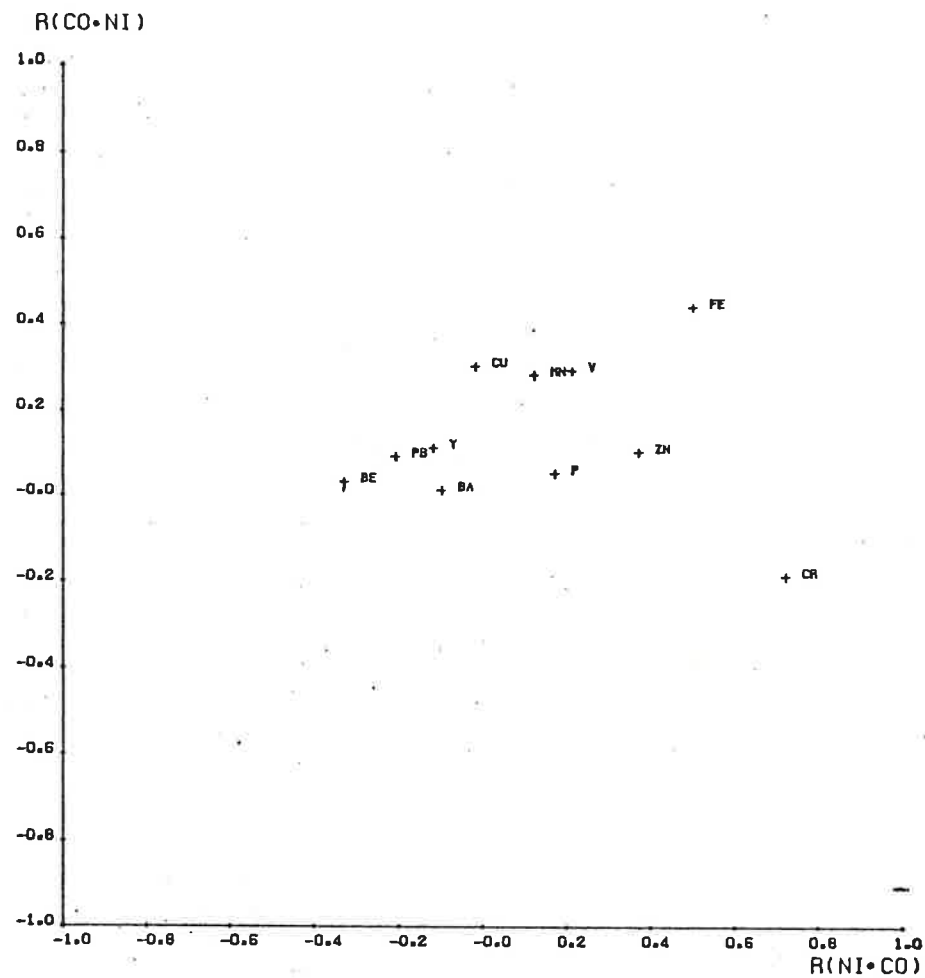


Figura 42b

PLANO DE COEFICIENTES DE CORRELACION (a) Y DE CORRELACION PARCIAL (b)

* CORRELACIONES FE-MN *

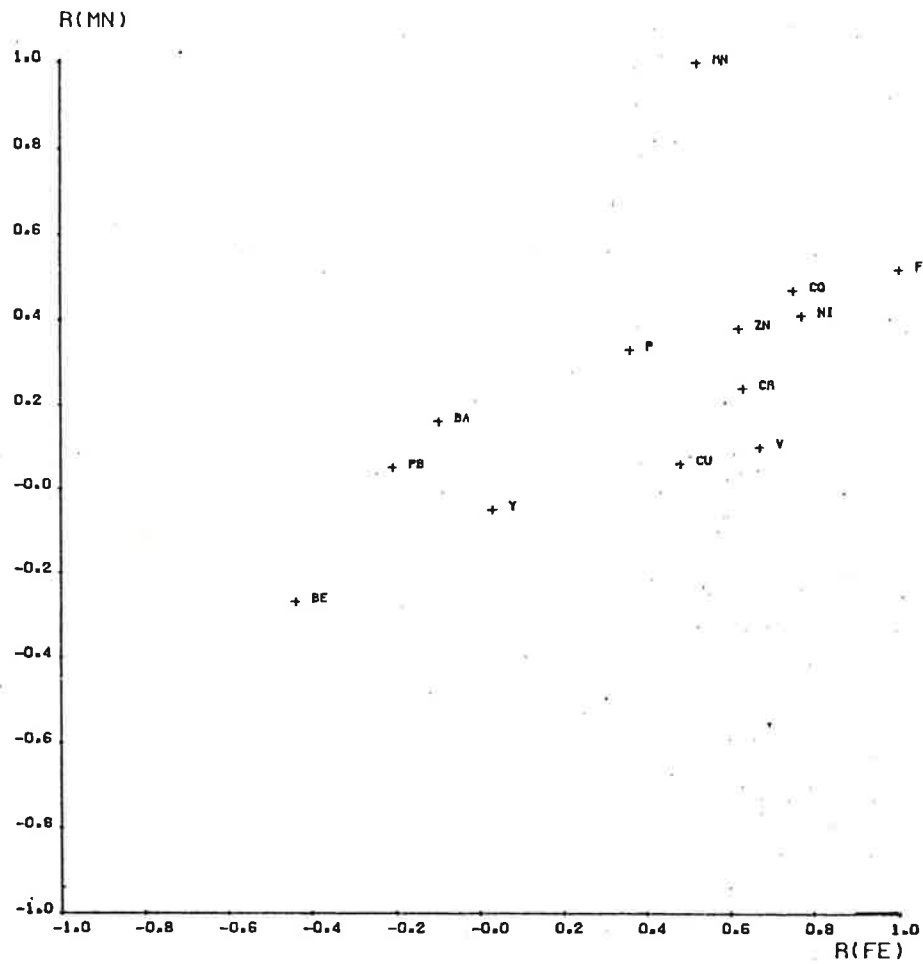


Figura 43a

$$r(\text{Fe-Mn}) = 0.62$$

* CORRELACIONES FE-MN *

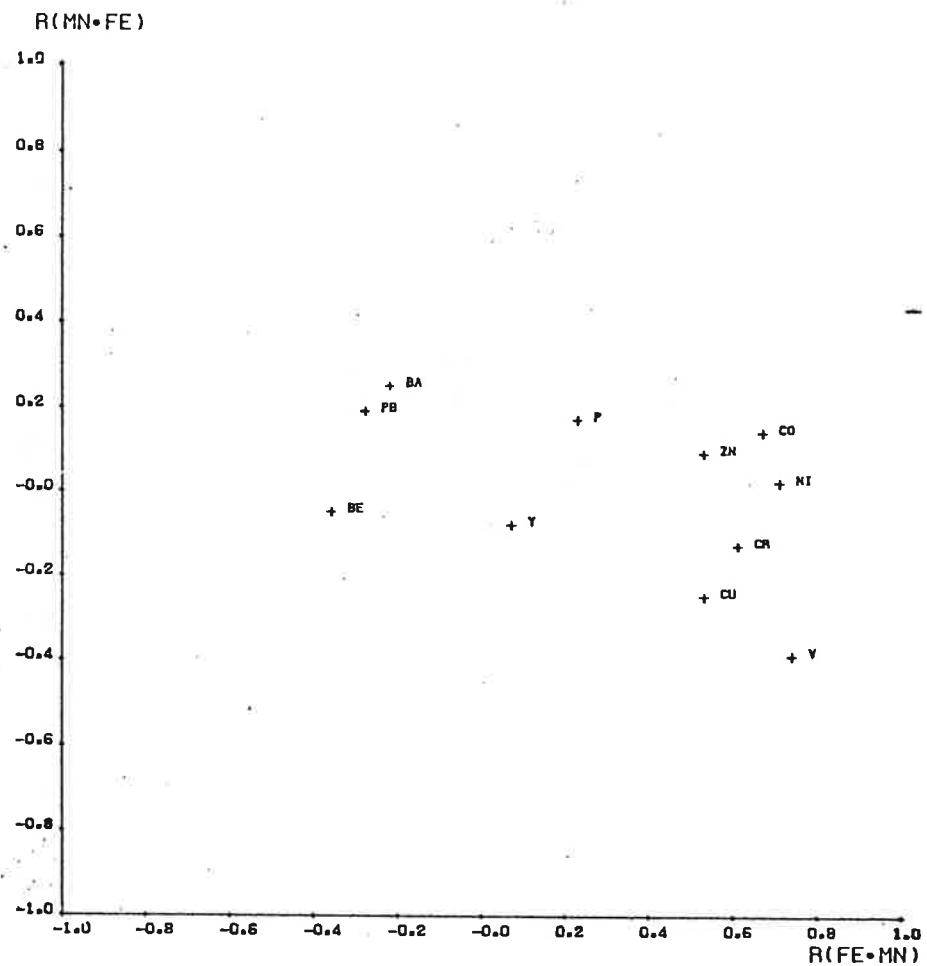


Figura 43b

PLANO DE COEFICIENTES DE CORRELACION (a) Y DE CORRELACION PARCIAL (b)

* CORRELACIONES CU-BE *

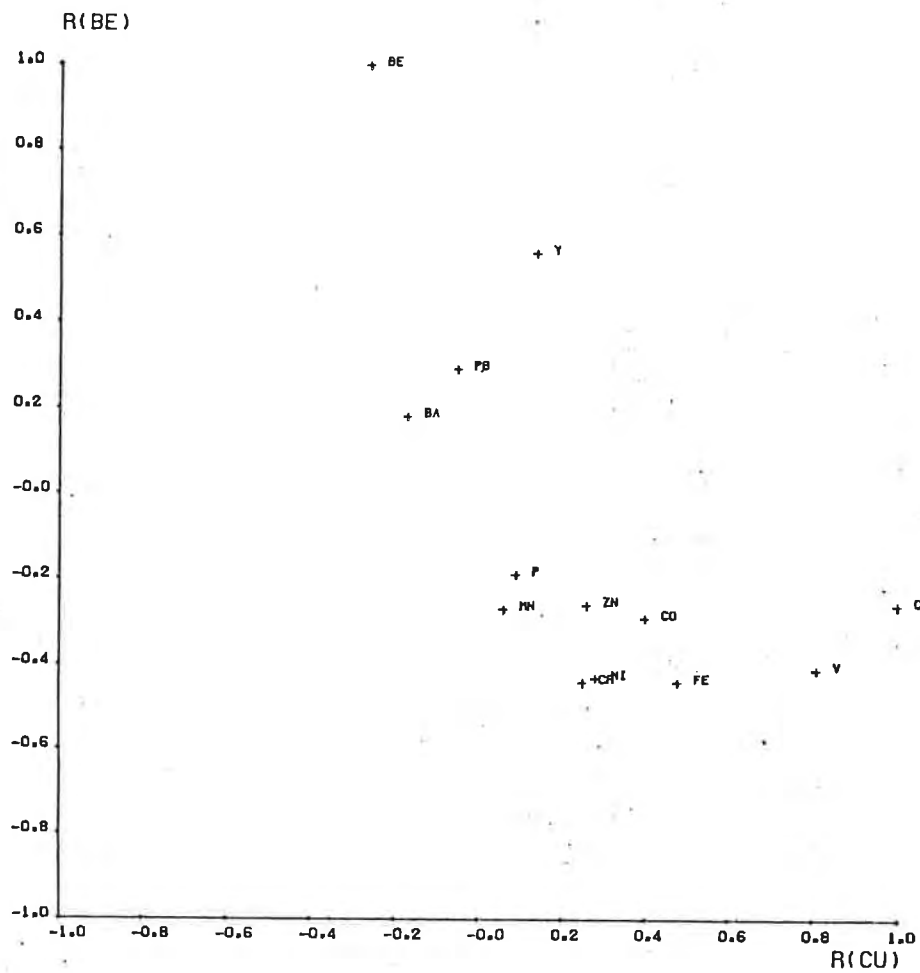


Figura 44a

$r(\text{Cu-Be}) = -0.25$

* CORRELACIONES CU-BE *

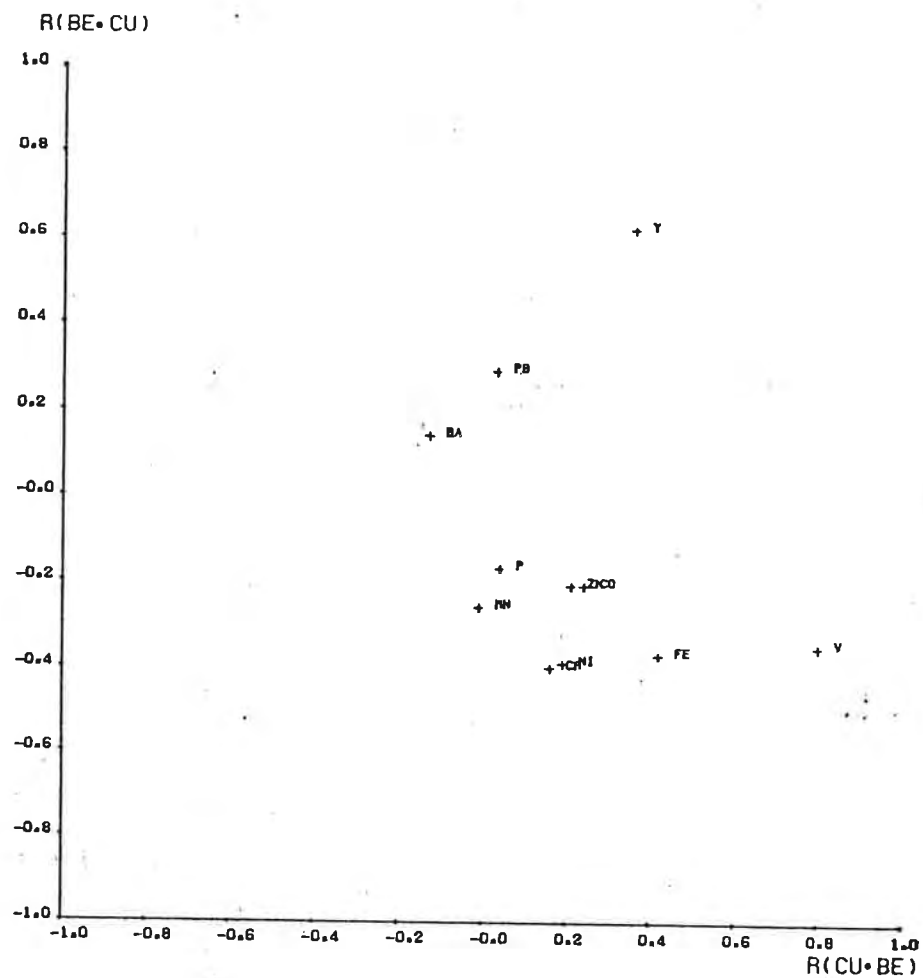


Figura 44b

PLANO DE COEFICIENTES DE CORRELACION (a) Y DE CORRELACION PARCIAL (b)

de rocas de quimismo alcalino (granitos).

- Cr-Ni-Fe: Correlacionados parcialmente al V y con relación indirecta con el Cu. La correlación del Cu con estos elementos (tabla 16 y 17) sería, entonces, un ejemplo de covariación por dependencia común. Este grupo de elementos caracterizan los minerales ferromagnesianos y constituyen un indicador de la basicidad del medio.

- Co-P-Zn-Mn-Ba: Correlaciona elementos como el Co y Zn, afines al Cr-Ni-Fe, y al Ba, más próximo al polo ácido Be-Pb-Y. La interpretamos como una asociación de elementos ligada principalmente a procesos pedogenéticos, de precipitación de fosfatos, coprecipitación de bario con óxidos de manganeso (psilomelano), y adsorción de Zn y Co sobre óxidos e hidróxidos de Mn, ...

3.2.2.2. Correlaciones de los elementos trazas con hierro y manganeso

Vimos en las matrices de correlación de las tablas 16, 17 y en los planos de las correlaciones, que la mayoría de los elementos trazas (Zn, Cu, Ni, Co, ...) están relacionados positivamente al Fe y Mn. Estas correlaciones han sido objeto de varios estudios, y generalmente son explicadas por el efecto adsorbente y absorbente ("scavenging effect") de los óxidos e hidróxidos hidratados de Fe y Mn sobre los metales trazas en los sedimentos de los drenajes (Rose A.W. et al, 1970; Chatupa J. y Fletcher K., 1972; Austria V. y Chork C.Y., 1976).

Es así que decidimos examinar con mayor detalle las correlaciones encontradas para los elementos trazas con el Fe y Mn en el ambiente secundario del área en estudio. En la tabla 18a listamos los coeficientes de correlación lineal determinados para la totalidad de las muestras, incluyendo aquellas con tenores anómalos (>5000ppm) en Mn, en valores aritméticos y logarítmicos. A excepción del Co, todos los coeficientes son mayores para los datos transformados. El diagrama de la figura 45 expone gráfica-

Elemento	Correlación con Fe ₂ O ₃		Correlación con Mn	
	r	r _L	r	r _L
Ba	-0.10	-0.11	0.16	-0.02
P	0.36	0.33	0.33	0.34
V	0.67	0.75	0.10	0.31
Pb	-0.21	-0.30	0.05	-0.20
Zn	0.62	0.73	0.38	0.64
Cu	0.48	0.58	0.06	0.34
Ni	0.77	0.84	0.41	0.57
Cr	0.63	0.75	0.24	0.44
Co	0.75	0.71	0.47	0.55
Be	-0.44	-0.47	-0.27	-0.45
Y	0.03	0.10	-0.05	0.01

Tabla 18a: Coeficientes de correlación lineal con Mn y Fe₂O₃ calculados para los valores aritméticos, r, y logarítmicos, r_L, sobre la totalidad de las muestras (n=309); r(Fe,Mn)=0.52; r_L(Fe,Mn)=0.64.

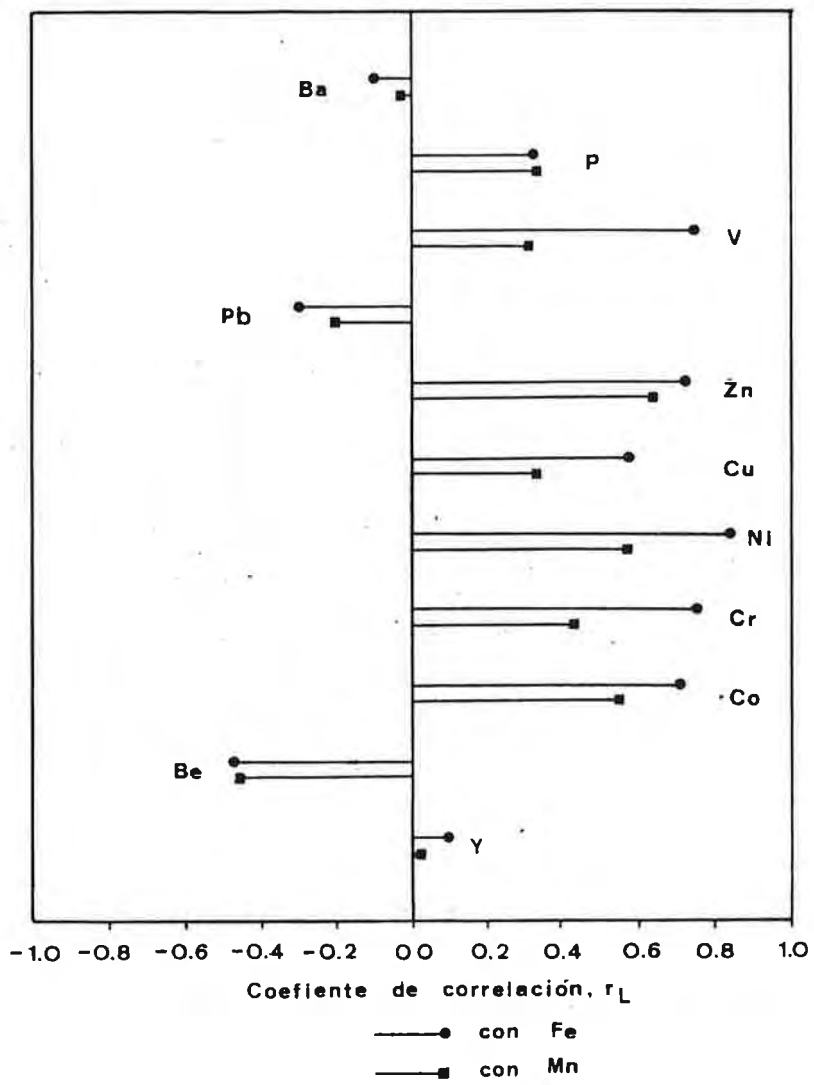


Figura 45

$$r_{307, 0.001} = 0.188$$

mente a las correlaciones de la tabla 18a.

El Ba y el Y no presentan correlaciones significativas con el Fe ni con el Mn ($\alpha=0.01$); y el V, Pb y Cu parecen no depender del Mn. El Be y Pb muestran una relación negativa con los dos elementos mayoritarios considerados, manifestando una pedo-geoquímica opuesta a ellos.

Las correlaciones del P con el Fe y el Mn son relativamente bajas y del mismo orden. Esto podría ser explicable por la formación de fosfato férrico en el medio superficial; y su dependencia con el Mn probablemente sólo se deba a la estrecha covariación de éste con el Fe. Algunas de las correlaciones observadas parecen, entonces, estar controladas, aunque sea parcialmente, por la dependencia común entre el Fe y el Mn ($r=0.52$ y $r_L=0.64$). El diagrama de repartición de la figura 46 enseña una relación bastante bien definida entre el Mn y el Fe.

Las correlaciones altamente significativas de la figura 45 ($r_L > r_{307,0.001} = 0.188$) se evidencian mejor en los diagramas de dispersión de los metales trazas con el Fe y con el Mn, representados en escalas logarítmicas (figuras 47 a 53). De acuerdo con las magnitudes de los momentos de Pearson, los diagramas patentizan en todos los casos una correlación de los elementos trazas mejor definida con el Fe que con el Mn. La dispersión de los puntos es siempre importante, enseñando la heterogeneidad de los datos en los diferentes planos sobre los que se proyecta la nube de puntos. Las dependencias más fuertes con el Fe la exhiben el V, Zn, Cr, Ni y Co, y con el Mn únicamente el Zn. Los diagramas del Pb señalan una sola muestra anómala en Pb y en Mn, pero el máximo tenor observado para Pb (150ppm) no está asociado a una concentración elevada en ninguno de los dos componentes mayores. Una mejor evaluación de la correlación entre estos elementos requeriría información sobre un intervalo de variación de tenores más amplio que el aquí considerado, de manera tal de poder es-

* CORRELACION: FE - MN *

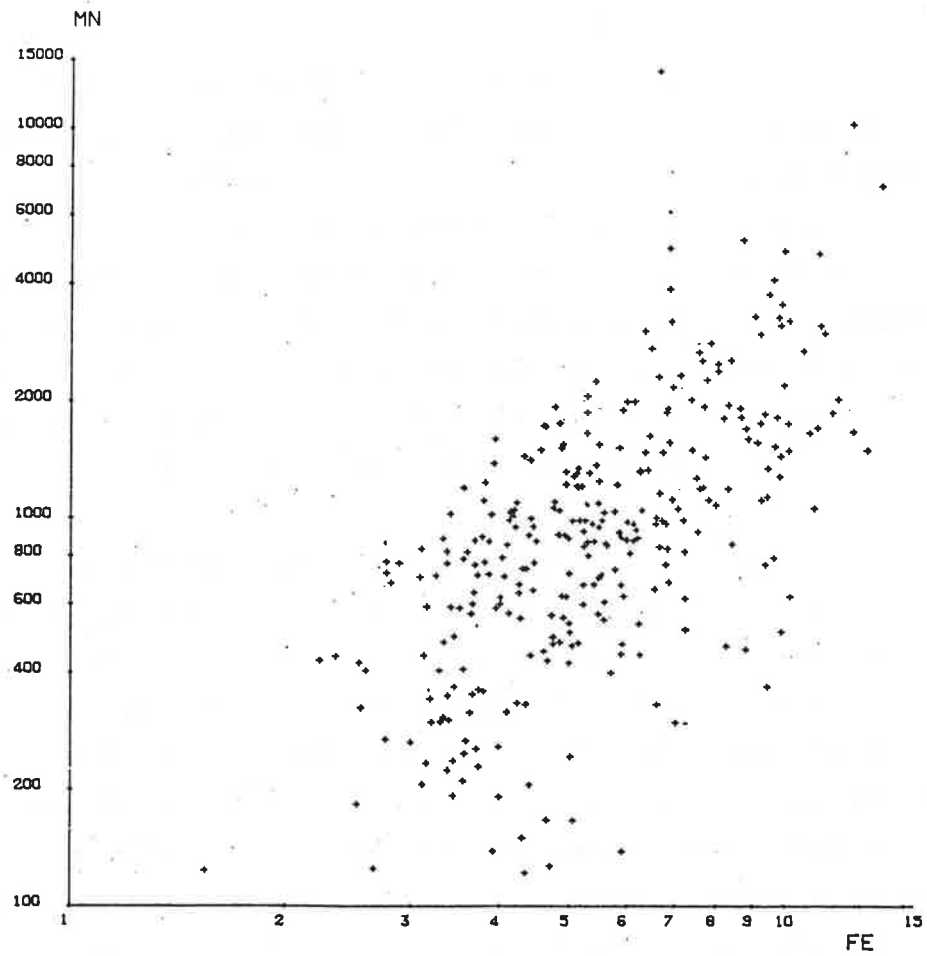


Figura 46 $r_L(\text{Fe-Mn}) = 0.64$
 $n = 309$

* CORRELACION: FE - V *

* CORRELACION: MN - V *

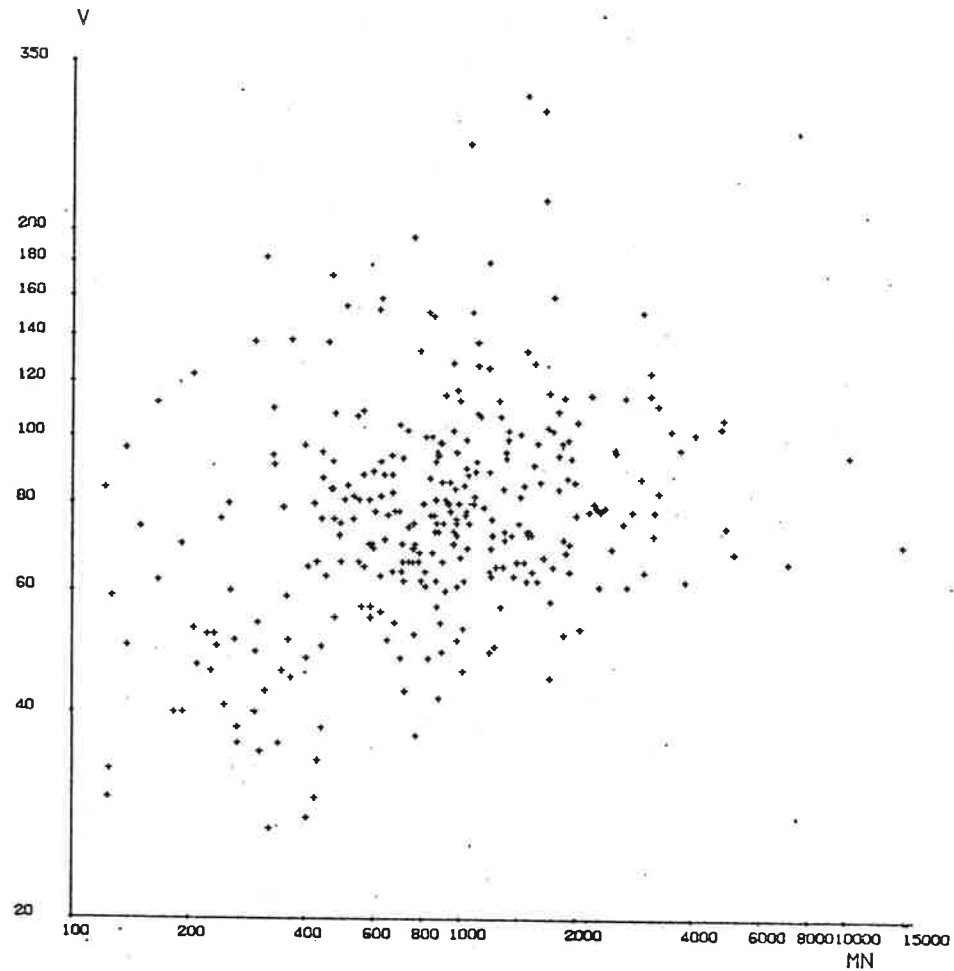
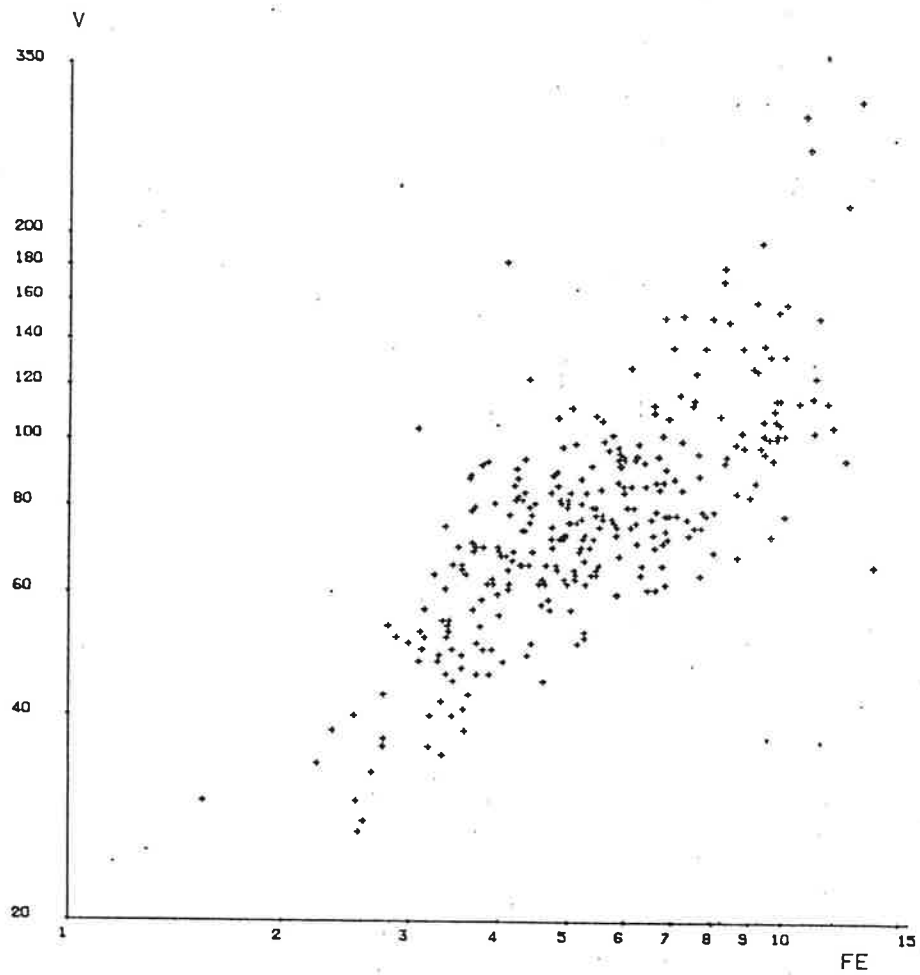


Figura 47a $r_L(\text{Fe-V}) = 0.75$

Figura 47b $r_L(\text{Mn-V}) = 0.31$

n = 309

* CORRELACION: FE - PB *

* CORRELACION: MN - PB *

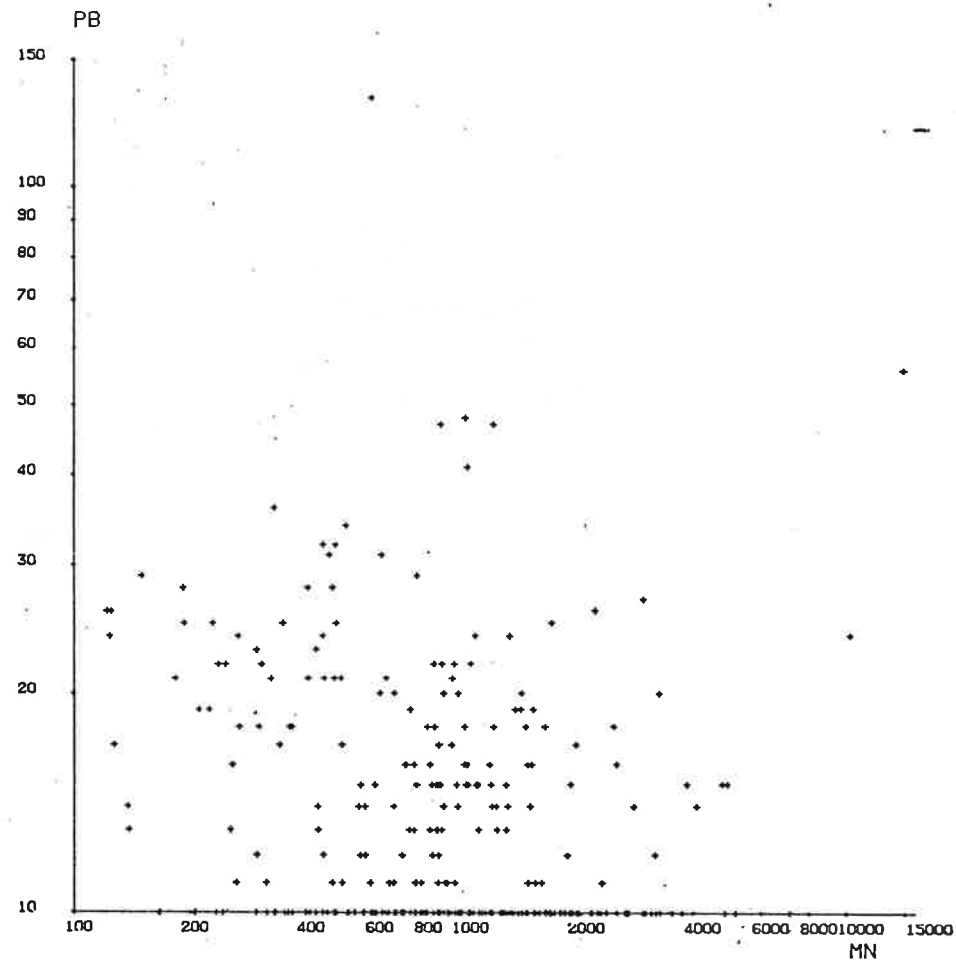
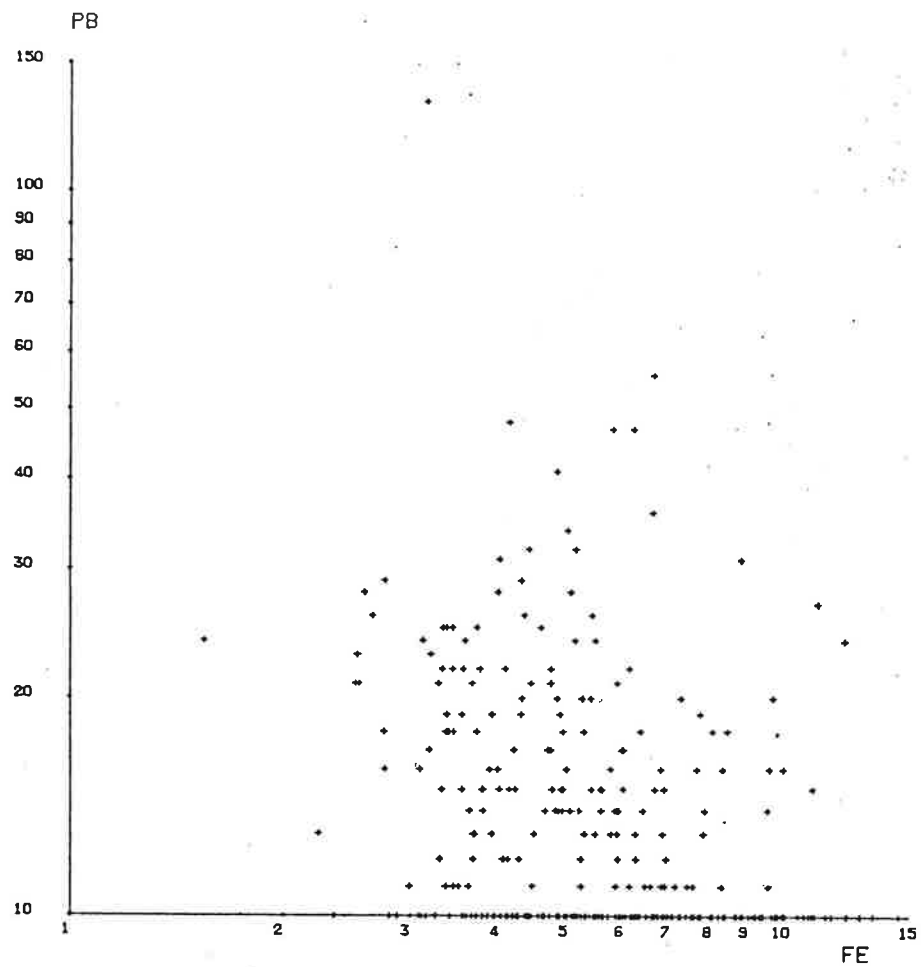


Figura 48a $r_L(\text{Fe-Pb}) = -0.30$

Figura 48b $r_L(\text{Mn-Pb}) = -0.20$

n = 309

* CORRELACION: FE - ZN *

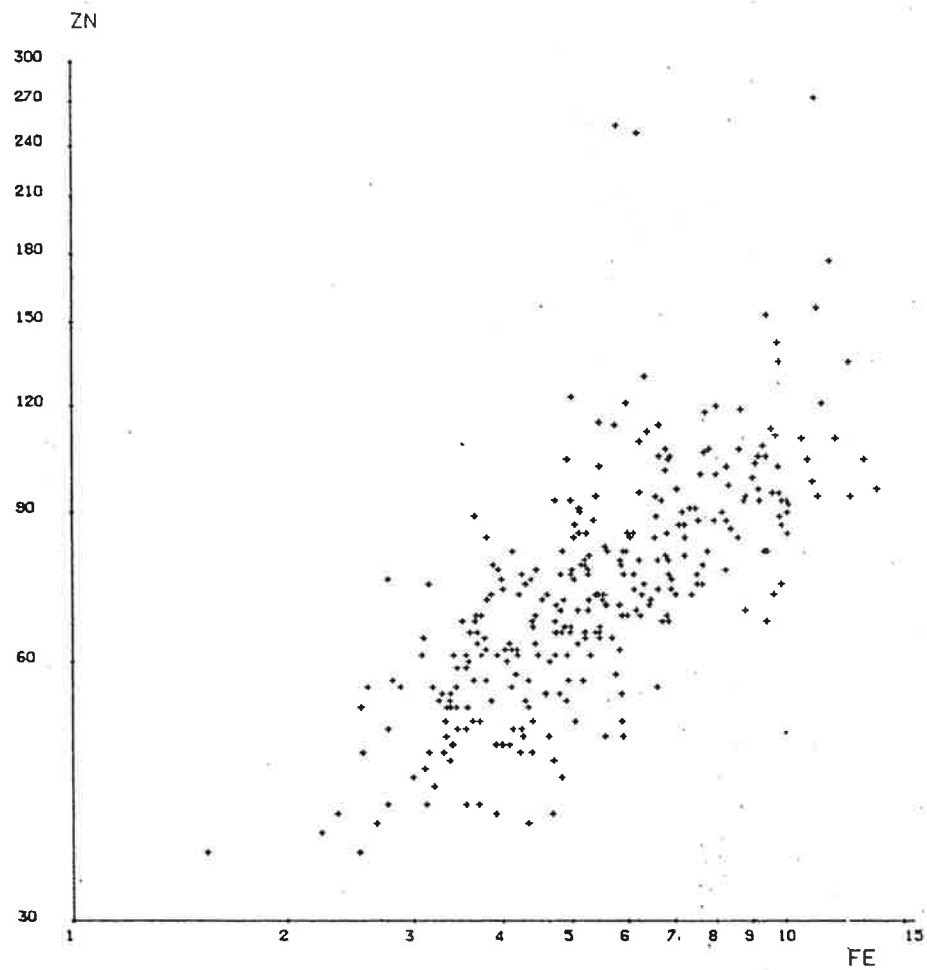


Figura 49a $r_L(\text{Fe-Zn}) = 0.73$

* CORRELACION: MN - ZN *

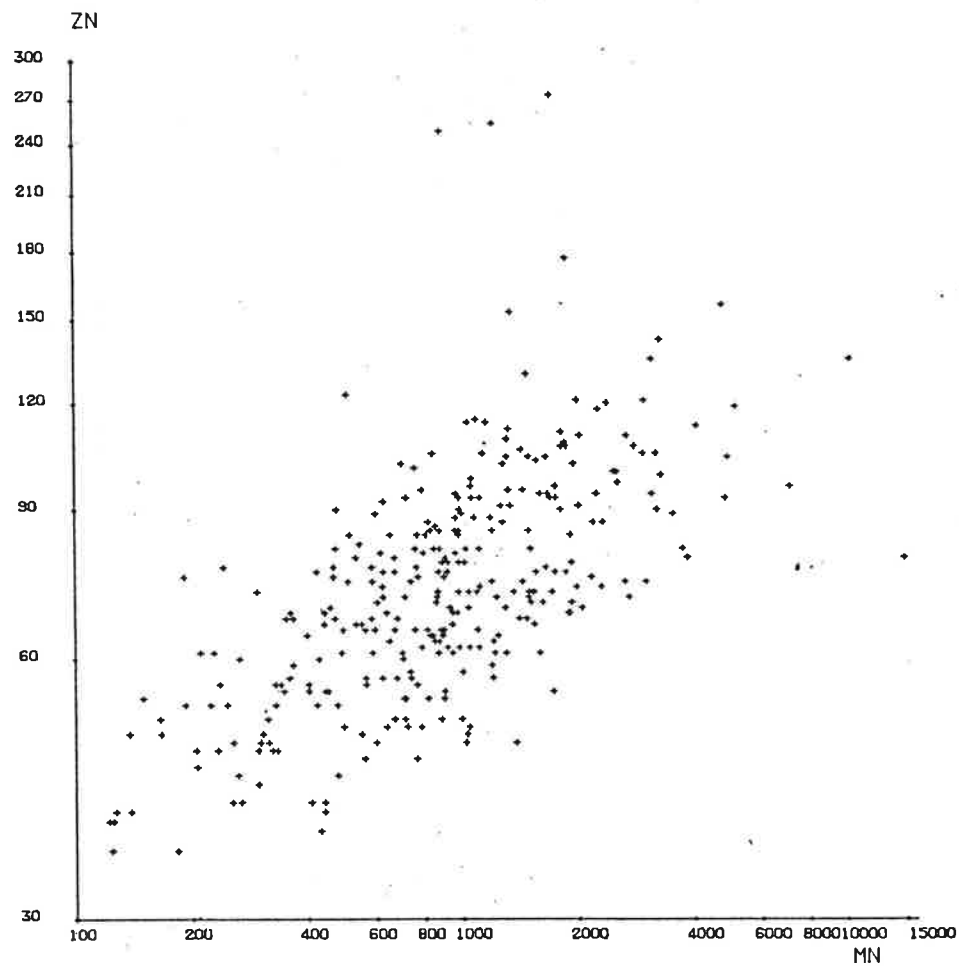


Figura 49b $r_L(\text{Mn-Zn}) = 0.64$

n = 309

* CORRELACION: FE - CU *

* CORRELACION: MN - CU *

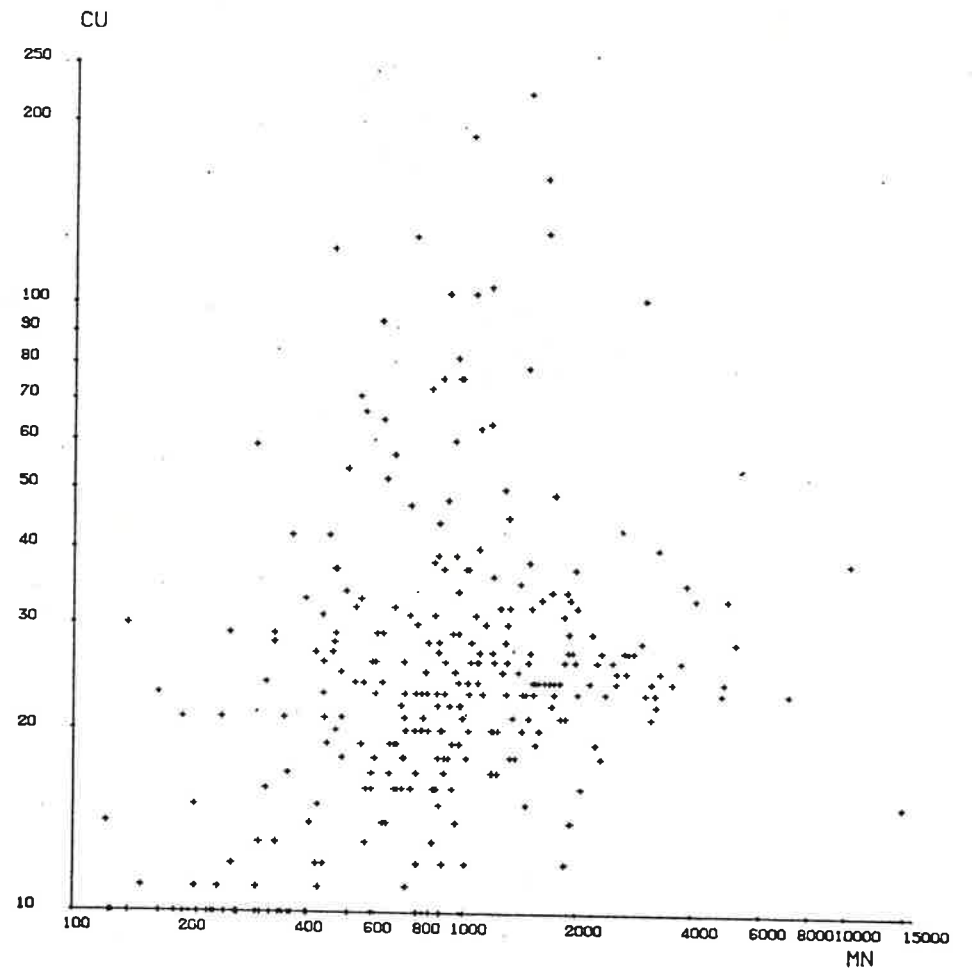
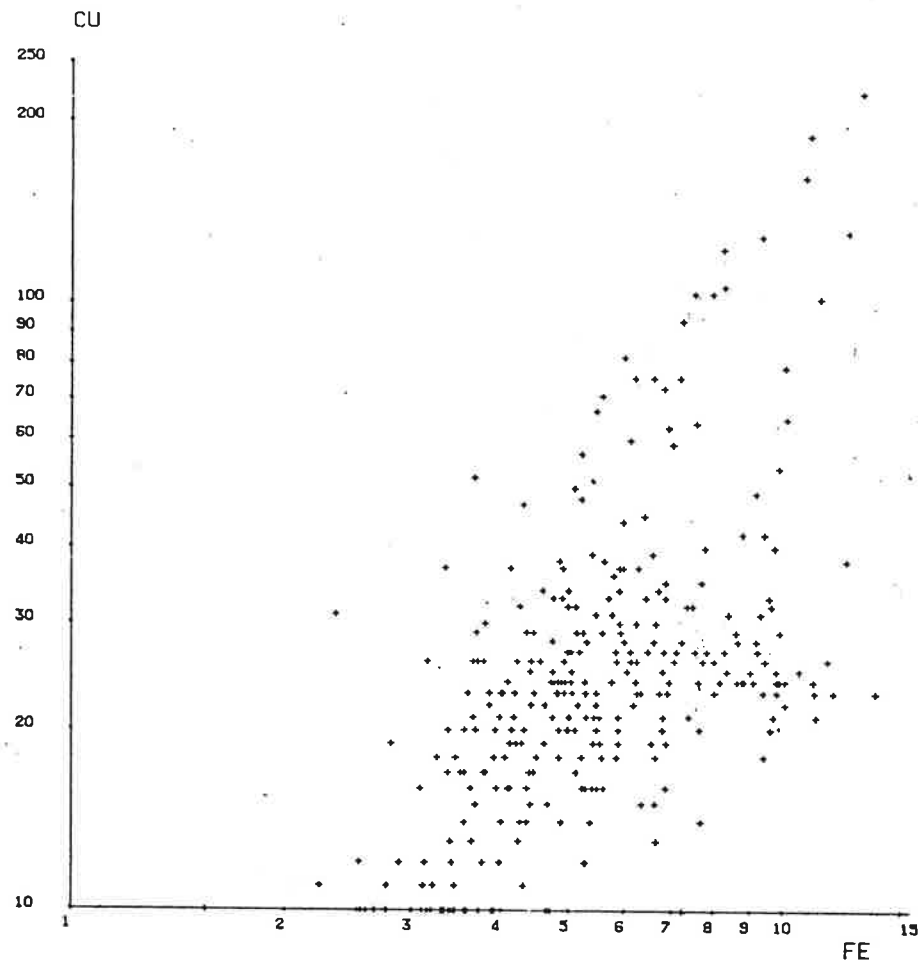


Figura 50a $r_L(\text{Fe-Cu}) = 0.58$

Figura 50b $r_L(\text{Mn-Cu}) = 0.34$

n = 309

* CORRELACION: FE - NI *

* CORRELACION: MN - NI *

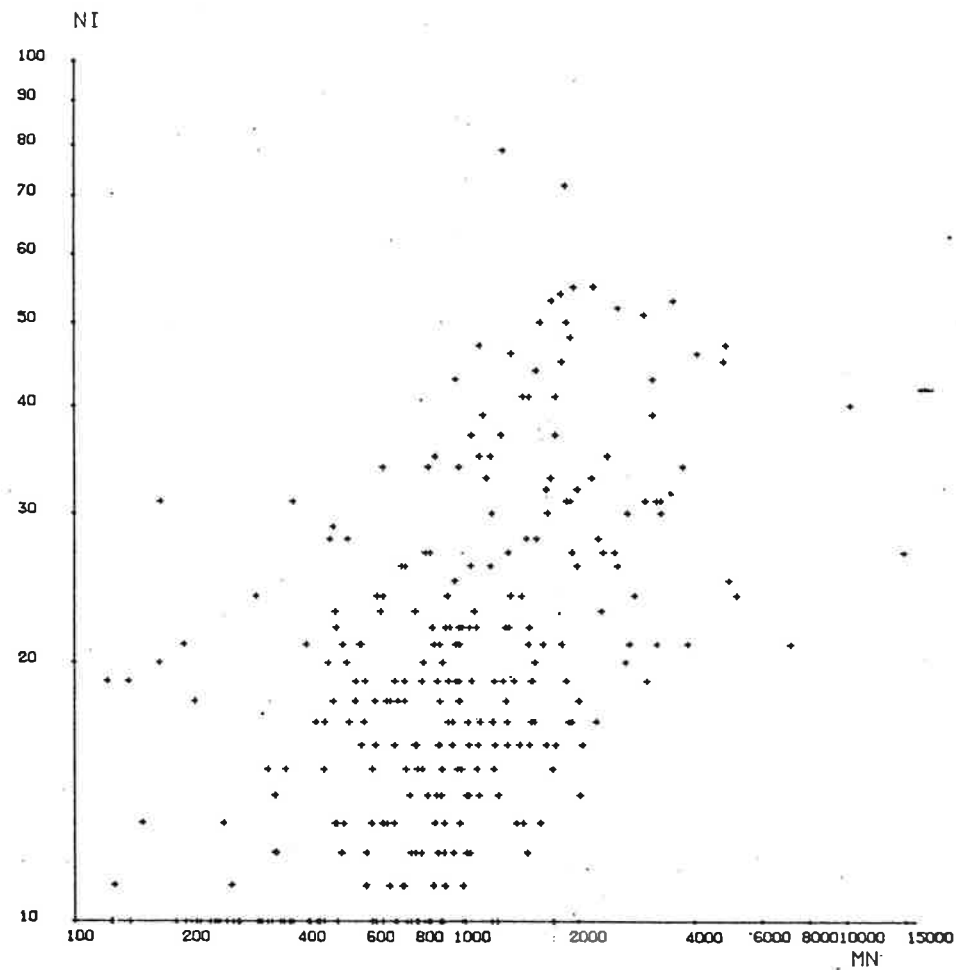
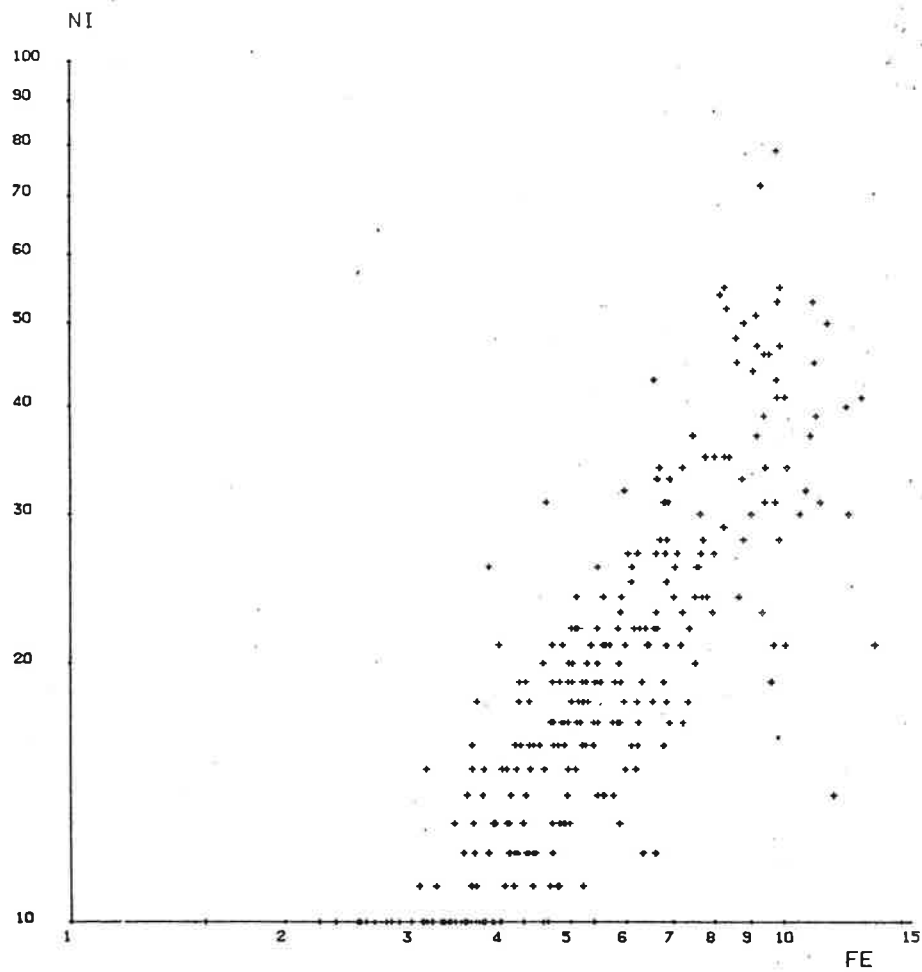


Figura 51a $r_L(\text{Fe-Ni}) = 0.84$

Figura 51b $r_L(\text{Mn-Ni}) = 0.57$

n = 309

* CORRELACION: FE - CR *

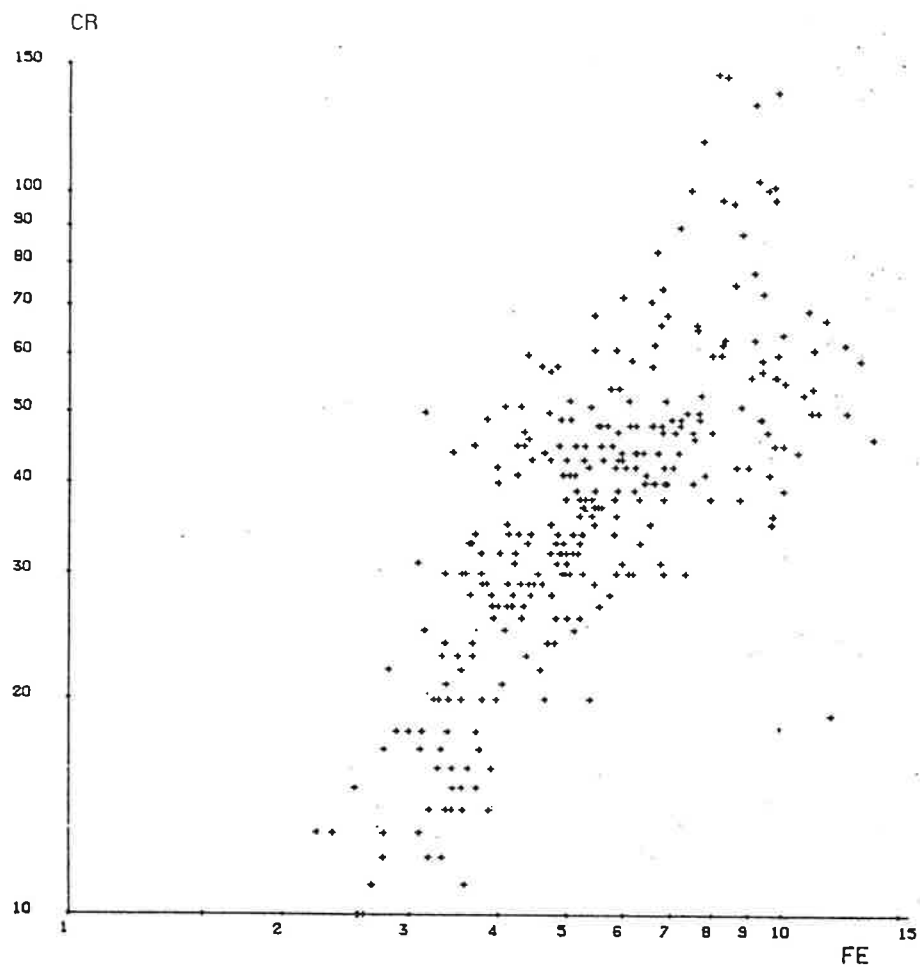


Figura 52a $r_L(\text{Fe-Cr}) = 0.75$

* CORRELACION: MN - CR *

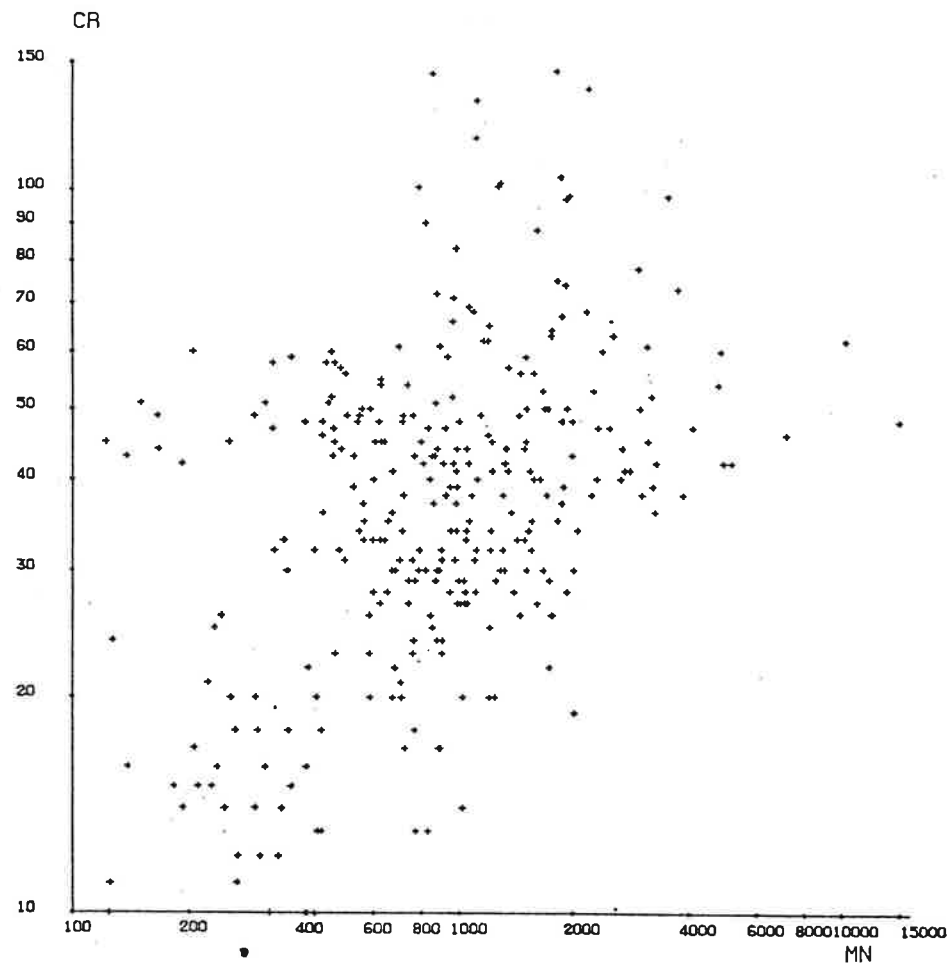


Figura 52b $r_L(\text{Mn-Cr}) = 0.44$

n = 309

* CORRELACION: FE - CO *

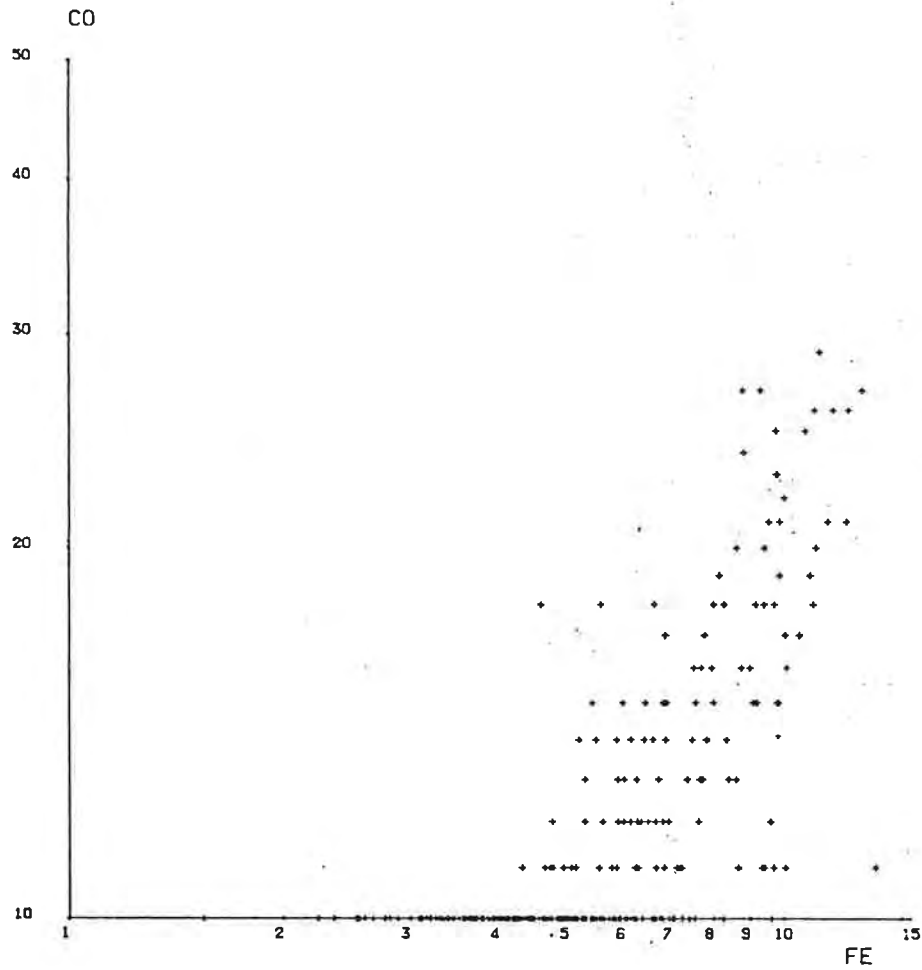


Figura 53a $r_L(\text{Fe-Co}) = 0.71$

* CORRELACION: MN - CO *

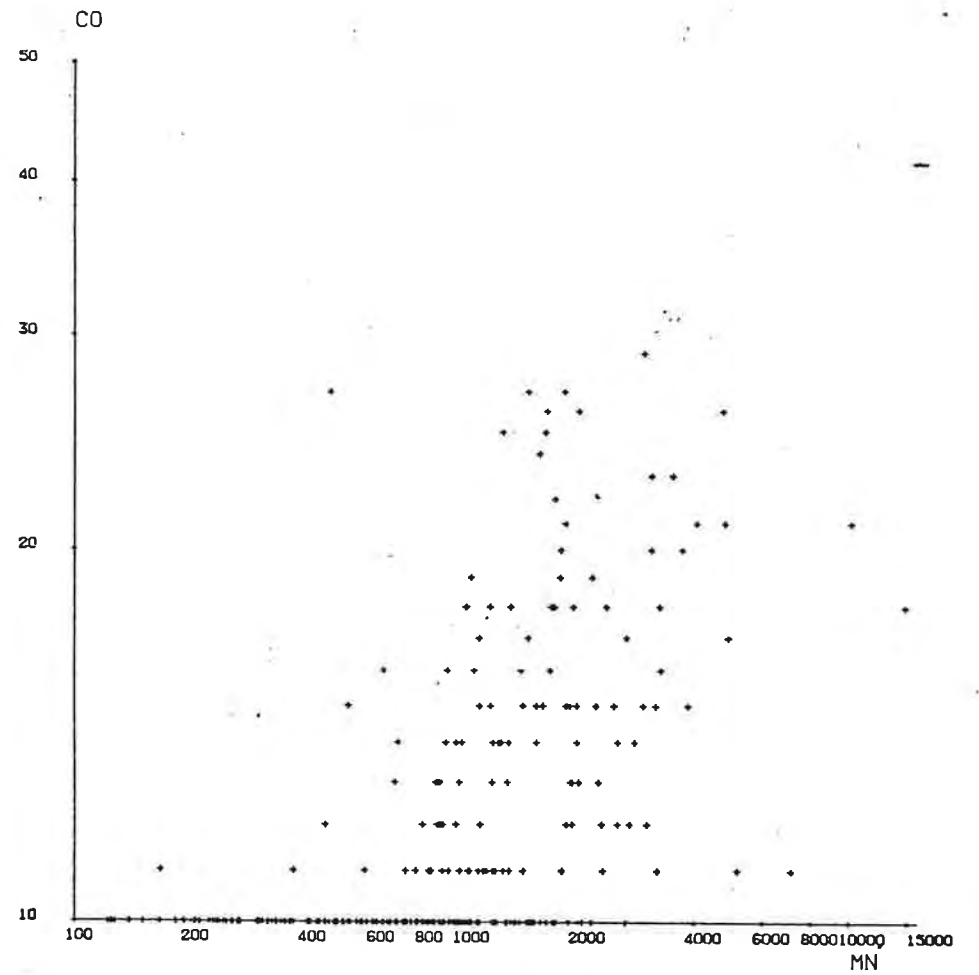


Figura 53b $r_L(\text{Mn-Co}) = 0.55$

n = 309

tablecer con mayor precisión el sentido y la importancia de su dependencia con el Fe y Mn en las muestras pedológicas.

Mediante un análisis de regresión múltiple paso a paso procedimos a calcular las ecuaciones de la forma:

$$\log Y^* = b_0 + b_{Fe} \log(Fe) + b_{Mn} \log(Mn) ,$$

donde Y^* es la estimación de la variable dependiente (un metal al estado de trazas) en función de las concentraciones de hierro (Fe) y manganeso (Mn) en el material superficial muestreado. Los elementos regresados respecto a Mn y Fe fueron V, Zn, Cu, Ni, Cr y Co. Las ecuaciones de regresión finales (b_{Fe} , b_{Mn} , b_0), los coeficientes de correlación parcial ($r_L(Fe.Mn)$ y $r_L(Mn.Fe)$), la varianza residual, el F' calculado como el cociente de la varianza de regresión y la varianza residual, y las proporciones de varianza explicadas por el Fe, el Mn y la ecuación total se dan en la tabla 18b.

Las ecuaciones de regresión son altamente significativas ($\alpha=0.001$), y explican un porcentaje elevado de la variabilidad de los tenores de los metales considerados. El hierro es responsable de casi la totalidad de la varianza explicada por las ecuaciones de regresión finales, y sus coeficientes de correlación parcial son altamente significativos a un nivel de confianza del 99.9%. En oposición, únicamente el Zn, V y Co se relacionan con el Mn, para una significación del 99%, y la relación Mn-V es inversa. Para estos tres elementos el Mn explica un 5.7, 3.6 y 1.7% de su variabilidad respectivamente, mientras que no alcanza a un 0.5% para los demás metales. Esto pone en evidencia, que las correlaciones de los metales trazas con los dos constituyentes mayoritarios analizados se ven fuertemente influenciadas por la dependencia común entre ambos, y que el manganeso no juega un papel de importancia en el control de los tenores de fondo geológico del sector en estudio.

Por el contrario, el hierro se muestra capaz de regular

Variable dependiente	$r_L(\text{Fe}\cdot\text{Mn})$	$r_L(\text{Mn}\cdot\text{Fe})$	b_{Fe}	b_{Mn}	b_0	s_E^2	F'	Varianza explicada (%)		
								Fe	Mn	Total
V	0.76	-0.30	0.909	-0.122	3.646	0.052	249.8	58.7	3.6	62.3
Zn	0.54	0.34	0.442	0.128	2.672	0.042	206.1	52.0	5.7	57.7
Cu	0.47	0.01	0.798	0.010	1.746	0.191	70.7	32.2	0.1	32.3
Ni	0.76	0.10	1.010	0.045	0.902	0.066	372.7	70.9	0.3	71.2
Cr	0.69	-0.07	1.070	-0.040	2.063	0.109	206.2	57.5	0.2	57.7
Co	0.61	0.17	0.413	0.057	1.377	0.030	173.2	51.7	1.7	53.4

Tabla 18b: Resultados de la regresión de V, Zn, Cu, Ni, Cr y Co en función de Fe y Mn. $r_L(\text{Fe}\cdot\text{Mn})$ y $r_L(\text{Mn}\cdot\text{Fe})$ son los coeficientes de correlación parcial; b_{Fe} , b_{Mn} y b_0 son los coeficientes de regresión y constante de regresión respectivamente; F' es el cociente de la varianza explicada por la regresión y la varianza residual, s_E^2 . Los valores críticos de r y F son:

$$\alpha=5\% : \quad r_{302}=0.148$$

$$F_{2,302}=4.68$$

$$\alpha=1\% : \quad r_{302}=0.188$$

$$F_{2,302}=7.07$$

la variabilidad de los tenores normales de Ni, Cr, Zn, Co y también Cu y V. En consecuencia, el análisis de regresión respecto a este macrocomponente parece ser un buen procedimiento para corregir, por lo menos parcialmente, las fluctuaciones en la superficie geoquímica debidas a variaciones en la composición de las muestras recolectadas sobre diferentes rocas madres. En efecto, se ha podido establecer mediante estudios químicos y mineralógicos de muestras de sedimentos de lechos vivos, que los metales trazas se encuentran principalmente en los óxidos de hierro hidratados, en la fracción arcillosa, en minerales máficos heredados de las rocas madres y complejados por la materia orgánica. En consecuencia, los altos tenores residuales del análisis de regresión van a depender (para un buen ajuste del modelo), de las fuentes de variación ajenas al Fe y el Mn en el ambiente supergénico: minerales heredados no máficos (p. ej.: Pb y Ba en feldespatos potásicos), contenido de materia orgánica activa y de arcillas, y dispersión geoquímica de un cuerpo mineralizado.

Rose A.W. et al (1974) encuentran que la fracción arcillosa tiene un rol importante como fase portadora de Zn, Cu, Ni y Co, que sustituyen al Fe y el Mg en la vermiculita. Para estos investigadores, la materia orgánica no es un factor significativo. Siendo así, el Fe daría cuenta del contenido de las tres fases esenciales portadoras de metales trazas: óxidos de hierro hidratados, arcillas (vermiculita) y minerales máficos. El alto porcentaje de varianza composicional considerada (para algunos elementos mayor que el 70%) por esta variable directriz corresponde, entonces, a una realidad geoquímica, y el análisis de regresión realizado es significativo tanto desde un punto de vista estadístico como geoquímico.

Como el hierro explica esencialmente las variaciones del fondo geoquímico, los tenores residuales pueden interpretarse en término de posibles mineralizaciones o fuentes menores de variación de los tenores normales, independientes de las concen-

traciones de hierro y manganeso.

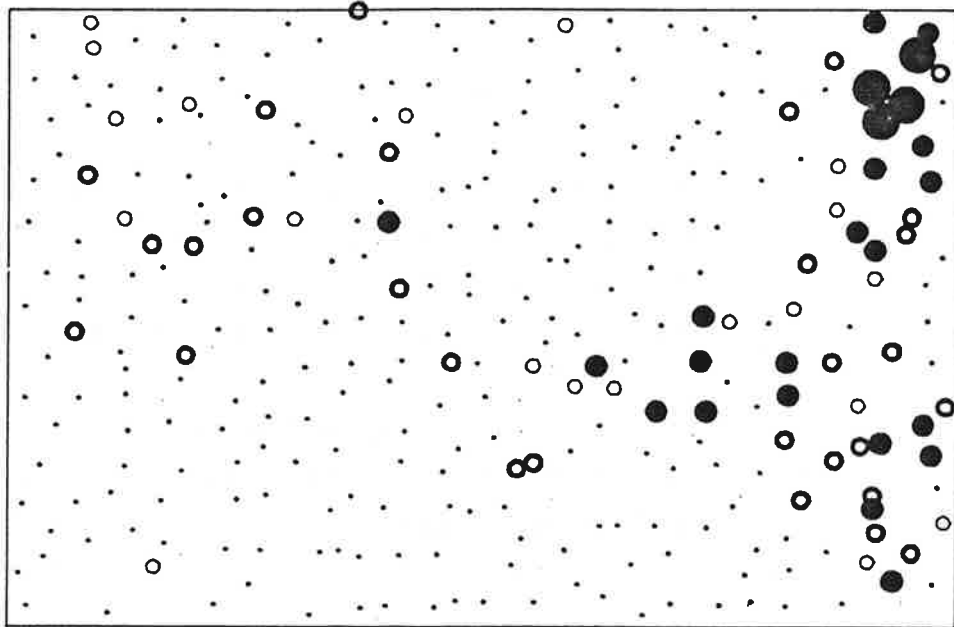
En las figuras 54 y 55 representamos los tenores de Ni y Cu en valores logarítmicos y los correspondientes valores residuales. Los límites fueron elegidos a 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 veces las respectivas desviaciones estándares ($\log \epsilon$ y s_E).

La comparación del mapa de los tenores observados y el de los residuales para el Ni muestra que este elemento está asociado al Fe (70%) en el medio muestreado, y que los residuales altos aún parecen estar controlados por la litología.

El cobre es el metal menos dependiente del hierro (32%) y del manganeso (0.1%) en el sector estudiado, y su varianza residual es elevada. La cartografía de los logaritmos de sus tenores y de las concentraciones residuales pone de manifiesto, que la anomalía en este metal de base se ve sólo ligeramente modificada al corregir por las variaciones del tenor de fondo. Los residuales positivos muestran una excelente autocorrelación y pueden sugerir que esta anomalía se relaciona con una mineralización, a pesar de estar ligeramente asociada al Fe.

El modelo de regresión ensayado parece ser adecuado para la corrección de los tenores en función de diferentes factores de dispersión geoquímica activos a nivel del fondo normal. El examen de la señal residual posibilita una mejor apreciación de las anomalías geoquímicas significativas.

No obstante, algunas relaciones de metales trazas con Fe y Mn pueden ser de interés prospectivo. Tal es el caso de mineralizaciones primarias con asociación de Fe (y Mn) con metales de base (v. gr.: mineralización de sulfuros de hierro y accesoriamente sulfuros de cobre u otro metal), o cuando la roca caja del cuerpo mineralizado es rica en Fe y Mn (v. gr.: sulfuros de Cu y Ni en un contexto ultrabásico). También es frecuente, que



NI

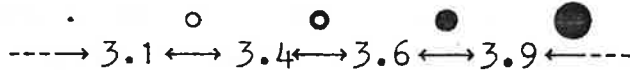
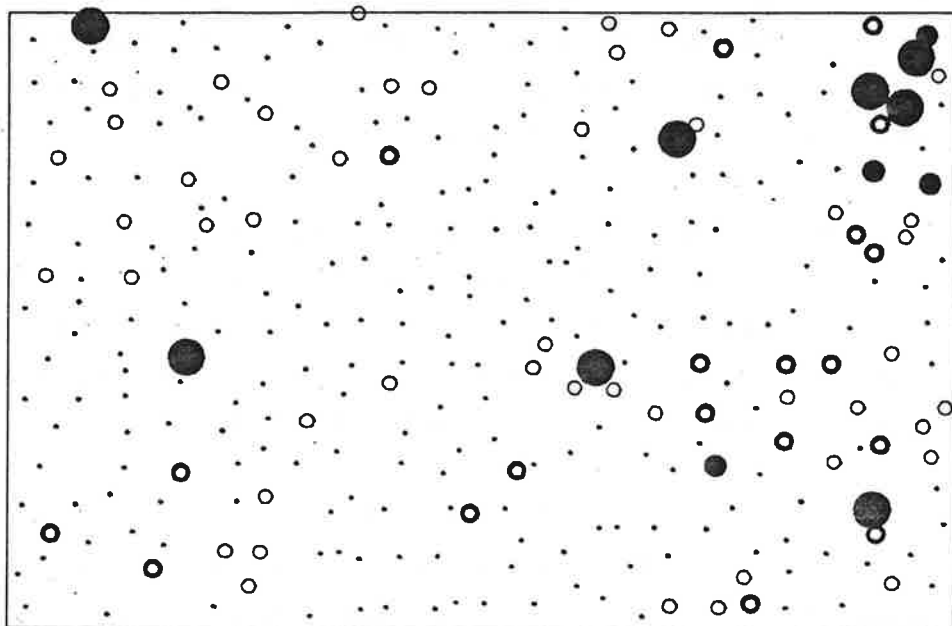


Figura 54a: Cartografía de los tenores log-transformados.



RES.

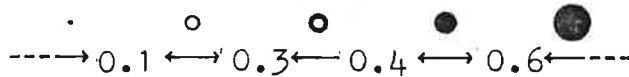
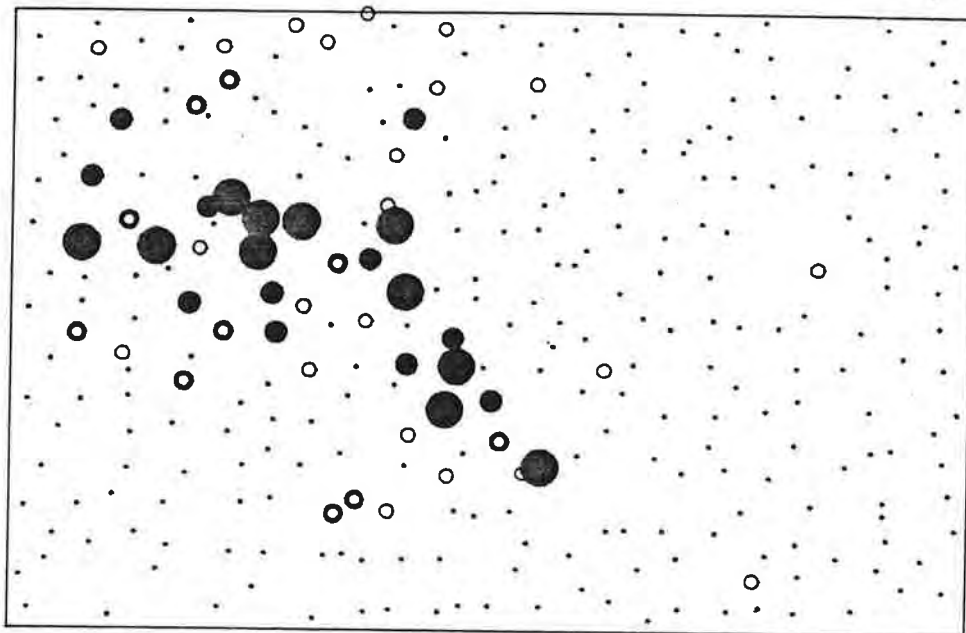


Figura 54b: Residuales de la regresión:

$$\log Ni_{est} = 0.902 + 1.010 \log Fe + 0.045 \log Mn$$

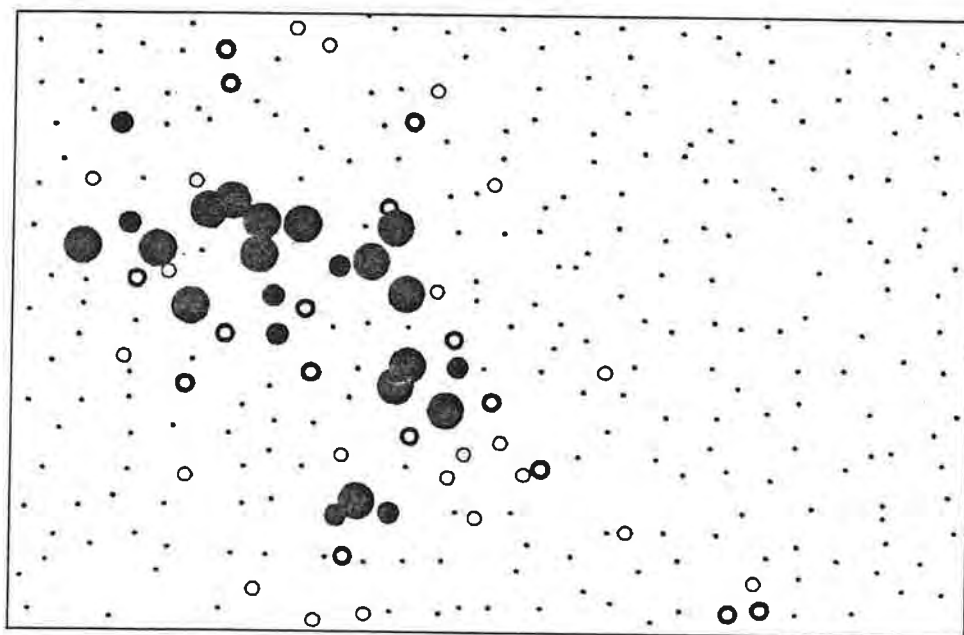
Escala: 1/50000



CU



Figura 55a: Cartografía de los tenores log-transformados.



RES

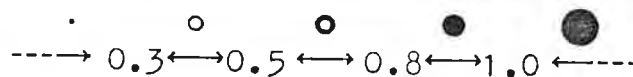


Figura 55b: Residuales de la regresión:

$$\log Cu_{est} = 1.746 + 0.798 \log Fe + 0.010 \log Mn$$

Escala: 1/50000

gracias a la adsorción y coprecipitación de elementos trazas en los óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, una anomalía interesante pero sutil, vea aumentado su contraste; facilitándose, por consiguiente, su detección. En consecuencia, el análisis de regresión visto puede conducir a correcciones no deseables, y la interpretación de los resultados debe ser siempre muy cuidadosa.

Finalmente, diremos que posiblemente aquellos elementos poco relacionados al Fe y Mn, sí lo estén al presentarse en concentraciones anómalas. Lamentablemente, carecemos de información en este sentido para Mo, Ag, Cd, ... y asimismo Pb.

3.2.2.3. Asociaciones geoquímicas multielementos

Los planos de coeficientes de correlación mostraron que las similitudes interelementos reveladas por la matriz de correlación y los diagramas binarios son interpretables no sólo como dependencias entre cuplas de elementos, sino que como asociaciones mayores de diversas variables geoquímicas. Emprendimos entonces, una interpretación de este tipo, empleando las técnicas de clasificación automática y análisis factorial.

- Clasificación ascendente jerárquica

El método utilizado es una clasificación ascendente jerárquica (CAJ), que emplea la distancia euclidiana para medir la similitud entre los OTU'S (elementos), y agrega los taxones según el criterio de maximización de la varianza entre los grupos formados. Para describir las correlaciones contenidas en las matrices de las tablas 16 y 17, llevamos a cabo un análisis CAJ en modo R sobre Fe, Mn, Ba, P, V, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr, Co, Be e Y. Las figuras 56 y 57 muestran los dendrogramas obtenidos para los datos brutos y los log-transformados.

Se distinguen dos asociaciones principales de elementos de comportamiento pedogeoquímico similar: Cu-V-P-Zn-Co-Fe-Mn-

-Cr-Ni y Ba-Pb-Y-Be, opuestos entre sí. Dentro de la primera asociación, la cupla Cu-V se manifiesta con una cierta independencia del resto de los elementos que la conforman; y a una correlación cofenética inmediatamente menor se agrega a ellos el fósforo. Los demás elementos de este grupo se relacionan con coeficientes cofenéticos relativamente altos y corresponden a la asociación máfica de los metales de transición ligados al hierro. En el segundo grupo, el Be se asocia al Y, luego al Pb y finalmente con el Ba. El Cr y Ni son los elementos que se agregan con la correlación cofenética mayor.

Al emplear la transformación logarítmica, el escalograma (figura 57) conserva las dos grandes asociaciones, si bien se modifica el orden de agregación de los elementos dentro de las mismas. Los dos elementos más correlacionados pasan a ser el Fe y Ni e inmediatamente después el Cr, de acuerdo con los coeficientes de la matriz de intercorrelaciones (tabla 17). A este taxón se suma el Co, y el conjunto se asocia luego al Zn-Mn. A una correlación cofenética menor se une a este grupo el taxón formado por Cu-V y, por último, el fósforo. Aquí el Be se agrupa primero con el Pb y luego con Y, en oposición al dendrograma obtenido para los datos brutos.

En las figuras 58 y 59 indicamos las agrupaciones que se obtienen al cortar los dendrogramas de las figuras 56 y 57 respectivamente, de manera tal de obtener seis grupos terminales de elementos. Así resultan para los datos brutos: Cu-V, Fe-Mn-Zn-Ni-Cr-Co, Ba, Pb y Be-Y. Para los tenores transformados, las terminales Pb y Be-Y se sustituyen por Y y Pb-Be. Las intercorrelaciones entre las diferentes asociaciones de elementos son mayores para el escalograma del análisis en logaritmos.

Las dos grandes asociaciones encontradas representan en esencia a un medio de quimismo alcalino, Be-Y-Pb-Ba, típico de rocas graníticas y, opuesto a él, un polo básico, Fe-Mn-Ni-Cr-Co-

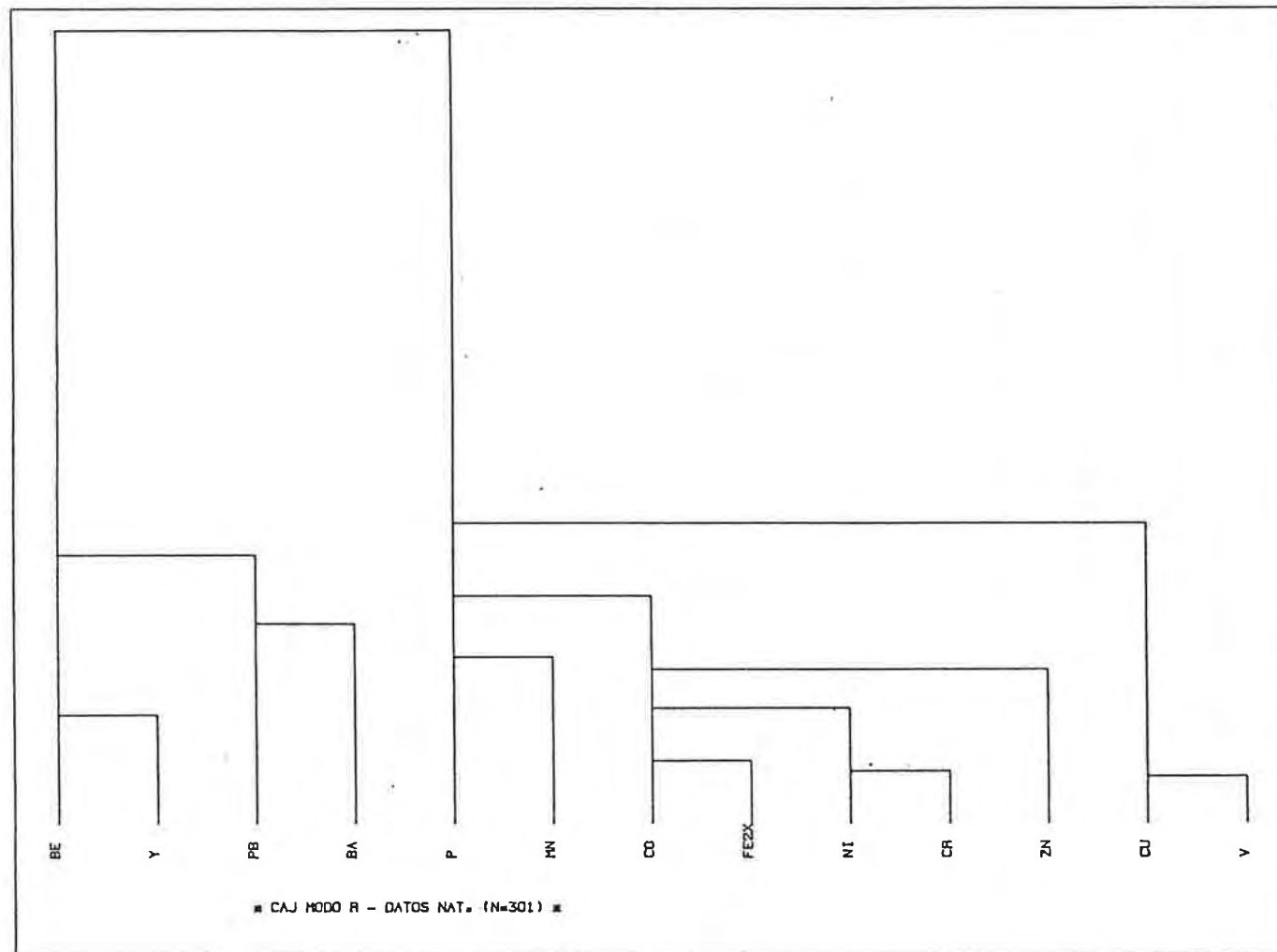


Figura 56

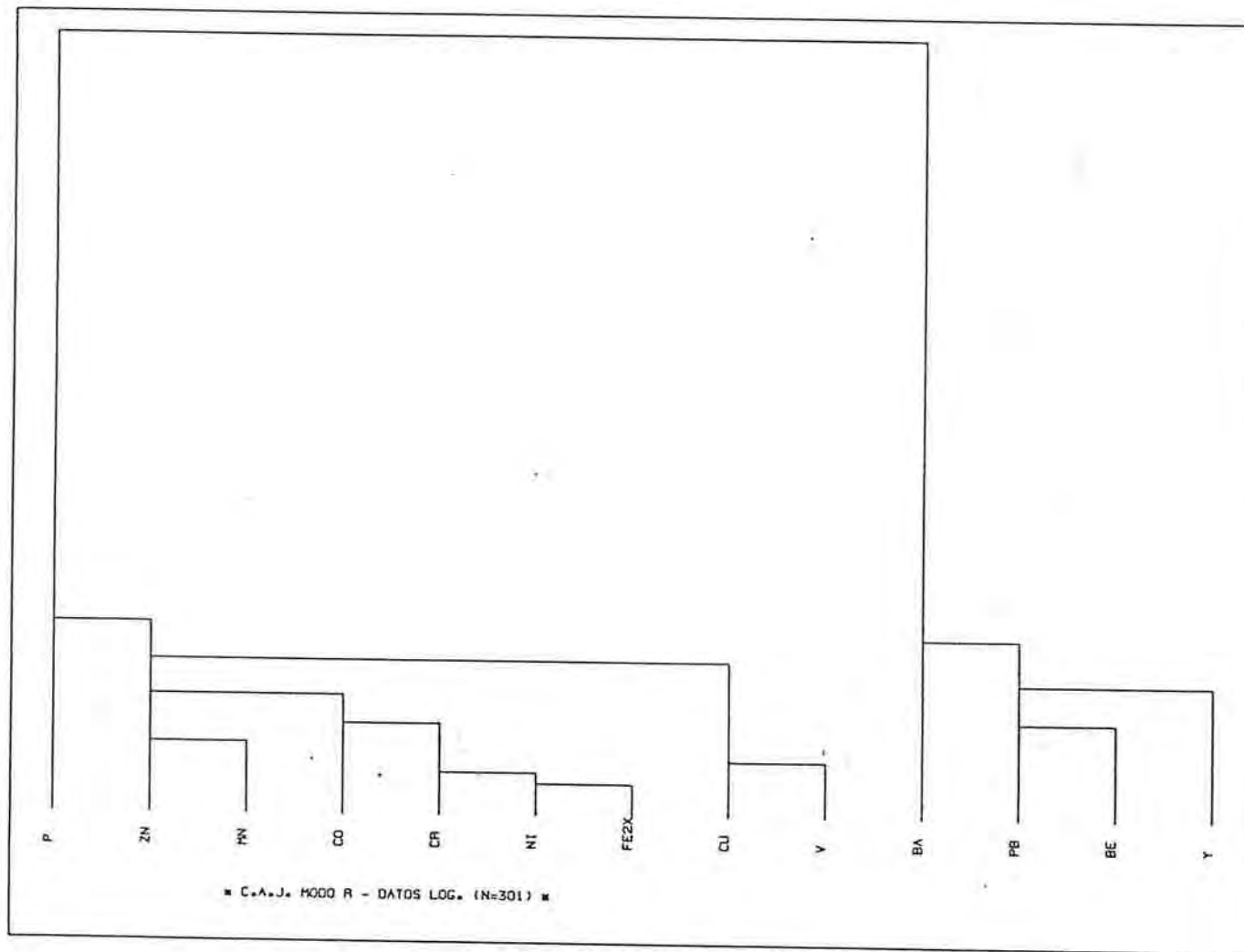


Figura 57

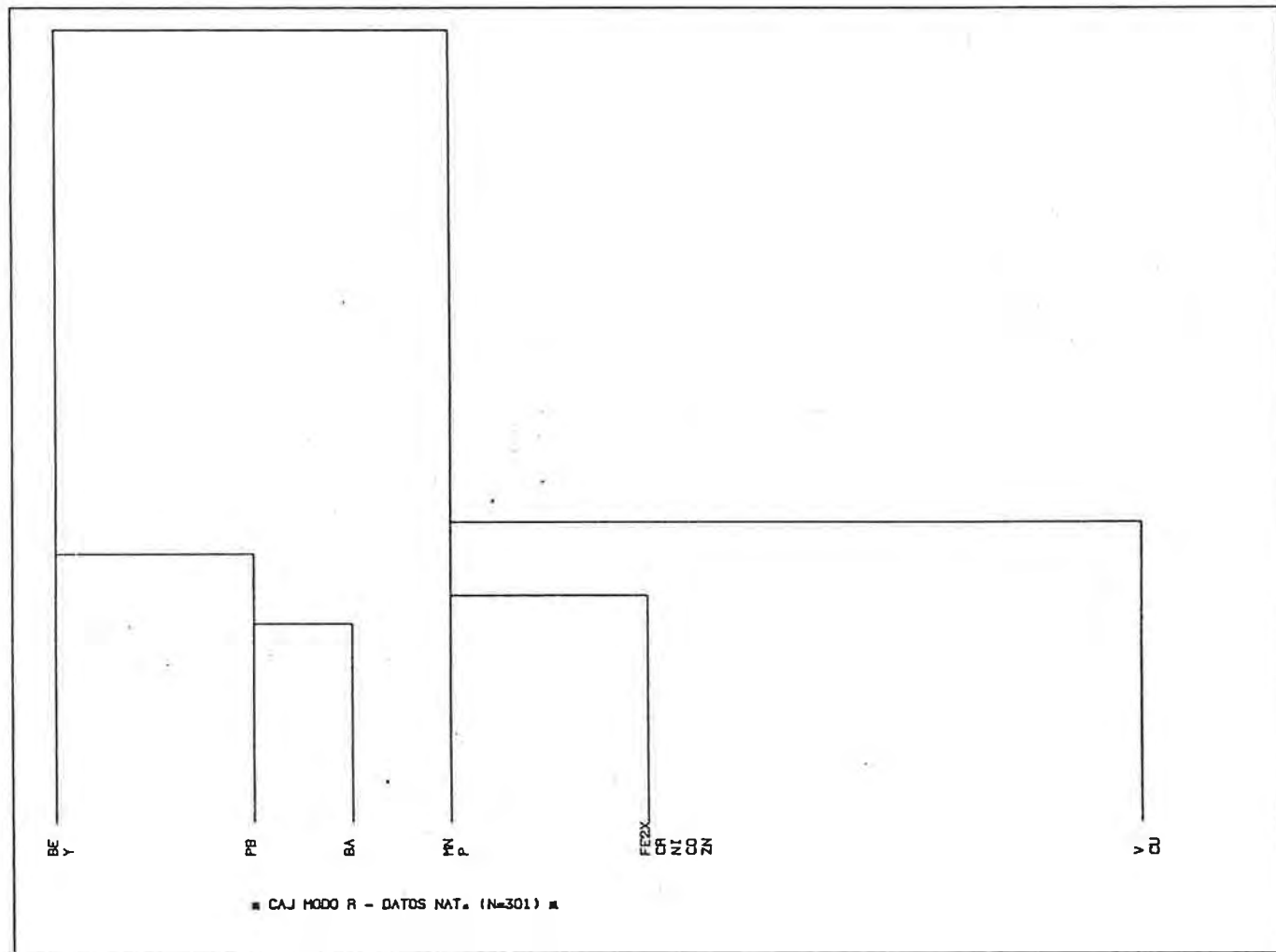


Figura 58

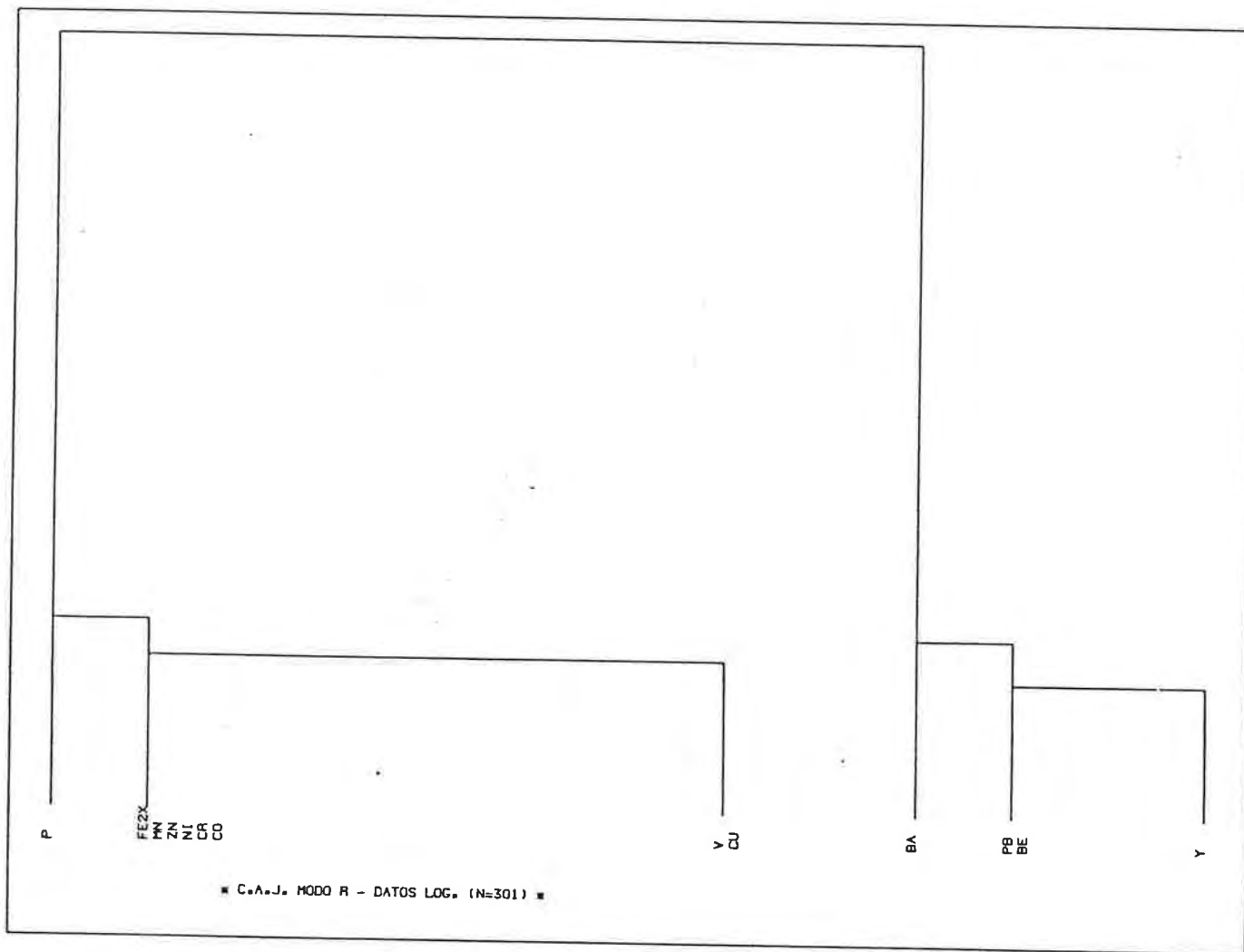


Figura 59

Zn-Cu-V-(P) relacionado tanto a la presencia de minerales ferromagnesianos, como a fenómenos superficiales de coprecipitación y adsorción en óxidos de Fe y Mn hidratados, y posiblemente fijación en la fracción arcillosa del material muestreado.

Las correlaciones del P con el Zn ($r_L=0.41$), Fe, Mn y Ni ($r_L=0.31$), Cr ($r_L=0.30$) y V ($r_L=0.26$) son significativas a un nivel de confianza del 99.9%, aunque relativamente bajas. La forma más frecuente del fósforo es el apatito, en el cual los tetraedros de PO_4 pueden ser sustituidos por tetraedros de VO_4 , y el Ca por diferentes metales bivalentes (Zn, Cu, Ni, ...). A esto se suma que en el ambiente secundario el P forma fosfatos férricos y de zinc, y los iones PO_4^{3-} pueden ser adsorbidos sobre el hidróxido férrico, sol de carga positiva. La asociación del fósforo con el grupo máfico es entonces comprensible desde un punto de vista geoquímico.

- Análisis en componentes principales

Elección del modelo factorial

Aplicamos el método de análisis factorial en la modalidad de componentes principales (ACP) sobre el conjunto de datos truncados superiormente para el Mn, Cu y Pb, con y sin log-transformación. Las variables involucradas en el análisis son las mismas tratadas en la CAJ. Los vectores propios extraídos fueron rotados por el procedimiento ortogonal varimax, con el propósito de facilitar la interpretación de los factores.

En la figura 60 graficamos los valores propios (y la varianza explicada) de los factores extraídos en forma sucesiva. Este diagrama revela, que el primer eje explica un 39.5% de la varianza total de los datos brutos y un 44.8% de los transformados. El segundo factor comprende un 13.4% de la varianza composicional independientemente de la transformación de los datos y la inercia tomada en cuenta por los próximos componentes disminuye lentamente hasta el factor 6, que explica prácticamente la misma propor-

ción de la inercia total de la nube de puntos que el séptimo eje. Luego decrece nuevamente la pendiente de la curva.

La elección del número óptimo de factores a extraer a partir del examen de este diagrama, conocido como "scree test" (Harman H.H., 1976, p.162), estaría indicando que el modelo con 6 factores es adecuado. En el caso de los datos brutos el sexto componente explica un 5.6% de la varianza composicional global comparado con un 6.9% del quinto eje, y para los datos logarítmicos 4.6 y 6.9%, respectivamente. El modelo con 6 ejes da lugar a un cambio de pendiente en la curva de los valores propios de la figura 60, y sería el más adecuado según el "scree test", estando también de acuerdo con el criterio de que la última raíz extraída no debe corresponder a menos de un 5% (o 6%) de la varianza total de los datos descritos.

Evaluamos los modelos con 3 a 8 direcciones factoriales en función de su aptitud para describir las interdependencias entre los elementos analizados. El examen de las comunalidades de las trece variables en los diferentes análisis realizados es muy instructivo (tabla 19). El porcentaje de inercia total explicado por los distintos modelos ensayados es mayor para los determinados sobre los datos transformados logarítmicamente que para aquellos correspondientes a los tenores brutos. Esta diferencia disminuye al aumentar el número de direcciones factoriales extraídas, siendo de un 3.9% para el modelo de 3 componentes y de 0.6% para el de 8. En la tabla 20 damos esquemáticamente las asociaciones geoquímicas manifestadas por los diferentes modelos factoriales luego de la rotación varimax. Sólo consideramos los elementos con saturaciones superiores a 0.35, y aquellos con coeficientes comprendidos entre 0.35 y 0.5 aparecen entre paréntesis. Sin embargo, las desviaciones estándares sobre los coeficientes (Harman H.H., 1976, p.443) son de:

$s_a = 0.09$ -para los datos brutos, y

$s_a = 0.06$ -para los datos log-transformados.

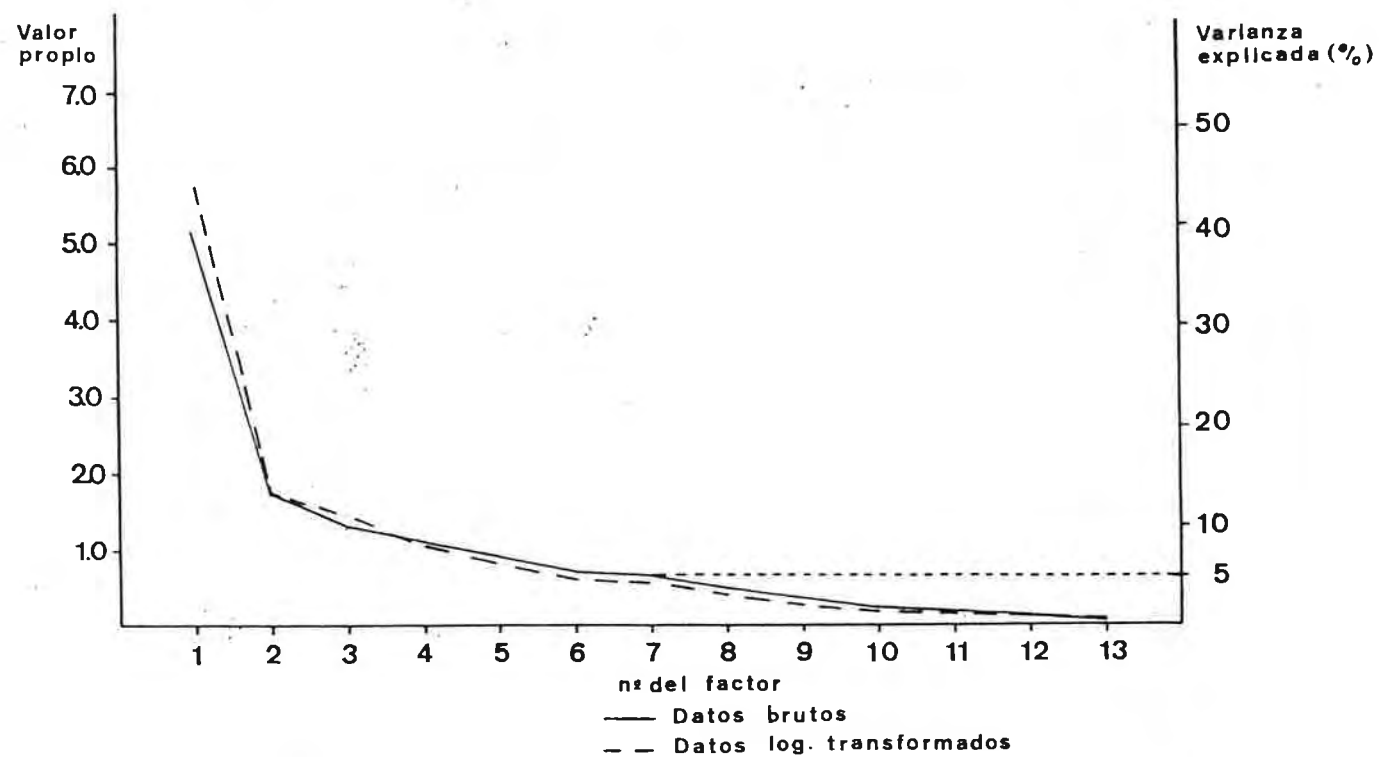


Figura 60: Diagrama para el "scree test".

Elemento	3 Componentes			4 Componentes			5 Componentes			6 Componentes			7 Componentes			8 Componentes		
	Naturales	Logaritmos	Diferencia	Naturales	Logaritmos	Diferencia	Naturales	Logaritmos	Diferencia	Naturales	Logaritmos	Diferencia	Naturales	Logaritmos	Diferencia	Naturales	Logaritmos	Diferencia
Fe	0.875	0.881	-0.006	0.879	0.882	-0.003	0.884	0.886	-0.002	0.886	0.896	-0.010	0.891	0.896	-0.005	0.893	0.896	-0.003
Mn	0.632	0.538	0.094	0.705	0.677	0.028	0.709	0.739	-0.030	0.794	0.915	-0.121	0.880	0.922	-0.042	0.889	0.928	-0.039
Ba	0.147	0.355	-0.208	0.570	0.688	-0.118	0.898	0.973	-0.075	0.946	0.982	-0.036	0.993	0.987	0.006	0.997	0.989	0.008
P	0.358	0.701	-0.343	0.500	0.705	-0.205	0.677	0.840	-0.163	0.892	0.877	0.015	0.990	0.954	0.036	0.991	0.981	0.010
V	0.820	0.689	0.131	0.896	0.855	0.041	0.896	0.892	0.004	0.901	0.897	0.004	0.904	0.897	0.007	0.905	0.906	-0.001
Pb	0.541	0.616	-0.075	0.654	0.617	0.037	0.723	0.726	-0.003	0.736	0.735	0.000	0.891	0.960	-0.069	0.904	0.977	0.019
Zn	0.597	0.722	-0.125	0.604	0.772	-0.168	0.680	0.779	-0.099	0.724	0.802	-0.078	0.765	0.806	-0.041	0.959	0.880	0.079
Cu	0.731	0.551	0.180	0.797	0.665	0.132	0.850	0.772	0.078	0.880	0.894	-0.014	0.914	0.897	0.017	0.917	0.949	-0.032
Cr	0.592	0.726	-0.134	0.613	0.820	-0.207	0.709	0.821	-0.112	0.833	0.858	-0.025	0.912	0.858	0.054	0.913	0.910	0.003
Ni	0.780	0.821	-0.041	0.800	0.822	-0.022	0.847	0.836	0.011	0.870	0.886	-0.016	0.914	0.887	0.027	0.915	0.913	0.003
Co	0.669	0.550	0.119	0.715	0.630	0.085	0.731	0.681	0.050	0.737	0.730	0.007	0.737	0.862	-0.125	0.893	0.982	-0.089
Be	0.756	0.782	-0.026	0.763	0.782	-0.019	0.769	0.783	-0.014	0.875	0.848	0.027	0.885	0.877	0.008	0.888	0.891	-0.003
Y	0.698	0.781	-0.083	0.810	0.839	-0.029	0.826	0.840	-0.014	0.850	0.844	0.006	0.890	0.931	-0.041	0.928	0.932	-0.004
Varianza explicada (%)	63.1	67.0	-3.9	71.6	75.0	-3.4	78.4	81.3	-2.9	84.0	85.9	-1.9	89.0	90.3	-1.3	92.7	93.3	-0.6

Tabla 19: Comparación de las comunalidades de los diferentes modelos factoriales.

Modelo factorial	Datos brutos		Datos log-transformados	
	Asociación de elementos	Varianza explicada (%)	Asociación de elementos	Varianza explicada (%)
3 factores		63.1		67.0
1	Fe-Ni-Mn-Co-Zn-Cr-P-(V)	30.4	Fe-Ni-Zn-V-Cr-Co-Cu-Mn*(Be)	40.7
2	Y-Be-Pb	15.6	Pb-Be-Ba-(Y)	14.7
3	Cu-V-(Fe-Cr)	17.1	Y-(Be)*(P)	11.6
4 factores		71.6		75.0
1	Mn-Ni-Fe-Co-Zn-Cr-(P)	29.8	V-Cr-Cu-Fe-Ni*(Be)	26.3
2	Y-Be-Pb*(P)	15.5	Y-(Be)*(P)	12.2
3	Cu-V-(Fe-Cr)	16.8	Ba-Pb-Be	12.4
4	Ba-Pb-(P)	9.5	Zn-Mn-Co-Fe-Ni-P-(Cr)	24.1
5 factores		78.4		81.3
1	Ni-Co-Fe-Mn-Cr-Zn-V	29.5	V-Cu-Cr-Fe-Ni	22.5
2	Y-Be-Pb*(Cr)	15.6	Pb-Be-Y	14.9
3	Cu-V-Fe-(Cr)	15.6	Ba	8.1
4	Ba	8.1	Mn-Co-Zn-Fe-Ni-(Cr)	25.9
5	P-Zn-(Pb)*(Y)	9.6	P*Y	9.8
6 factores		84.0		85.9
1	Mn-Zn-Co-Fe-Ni	23.3	Cu-V-Cr-(Fe)	17.0
2	Y-Be-Pb	13.6	Y-Be-Pb	14.7
3	Cu-V-(Fe)	15.4	Ba	8.2
4	Ba	8.4	Mn-Zn-(Co)	12.2
5	P	8.6	P*Y	9.5
6	Cr-Ni-(Fe-V-Co)*(Pb)	14.7	Ni-Co-Fe-Cr-V-(Zn-Mn)*(Pb)	24.2
7 factores		90.0		90.3
1	Mn-Co-Fe-Zn-Ni	19.7	Cu-V-Cr-(Fe-Ni)	18.8
2	Y-Be	12.4	Y-Be	11.1
3	Cu-V-(Fe)	14.7	Ba	8.3
4	Ba	8.0	Mn-Zn	11.8
5	P	8.0	P-(Zn)	8.9
6	Cr-Ni-Fe-(V-Co)	17.7	Co-Ni-Fe-Cr-(V-Zn-Mn)	21.9
7	Pb-(Zn)	8.5	Pb	9.5
8 factores		92.7		93.3
1	Mn-Co-Fe-(Ni)	15.7	Cr-Ni-Fe-V-Zn-(Co)*(Ba)	24.3
2	Y-Be	11.9	Y-Be	11.0
3	Cu-V-(Fe)	14.6	Ba	8.4
4	Ba	7.9	Mn-Zn-(Fe)	13.2
5	P	8.0	P	8.2
6	Cr-Ni-Fe-(V-Co)	17.8	Cu-V	11.7
7	Pb	8.5	Pb	8.7
8	Zn	8.3	Co	8.0

Tabla 20: Configuración esquemática de los diferentes subespacios factoriales determinados sobre los datos brutos y log-transformados.

Se podría establecer un límite para la distinción de los coeficientes significativos a dos veces s_a , es decir, 0.18 para los modelos determinados sobre los tenores brutos y 0.12 para los que emplean la transformación logarítmica. Ambos valores son demasiado bajos, y dada la alta heterogeneidad de los datos creemos conveniente considerar únicamente las saturaciones mayores que 0.35.

En el modelo con tres componentes, el primer factor extraído manifiesta el comportamiento geoquímico similar de los elementos de la primera fila de transición, junto con el P y V, y representa un 30.4% de la varianza composicional total de las muestras. El segundo factor (15.6%) representa la covariación de Y-Be-Pb en rocas ígneas alcalinas, y la tercera asociación (17.1%) revela la estrecha interdependencia entre el Cu-V, accesoriamente Fe y Cr, en el área en estudio. Son esencialmente las mismas asociaciones que ha puesto en evidencia el análisis de la matriz de intercorrelaciones mediante el trazado de los planos de coeficientes de correlación, y el método más sofisticado de clasificación ascendente jerárquica.

Cuando empleamos la log-transformación, el Ba entra en la agrupación Be-Y-Pb y disminuye el peso del Y en dicho eje principal. Ahora el primer factor explica un 41% de la inercia total y agrega a todos los elementos máficos, inclusive Cu y V, en oposición al Be. La tercer asociación es esencialmente Y-Be en relación inversa con P; indicando, como ya mencionamos que el P no parece ligado a los minerales monacíticos en las rocas graníticas del sector prospectado. Este modelo con log-transformación de los tenores describe mejor las asociaciones geoquímicas de fondo normal, suprimiendo aquellas sólo vigentes a concentraciones anómalas. En efecto, el componente Cu-V desaparece en este modelo, y estos elementos conforman en el primer eje junto con los demás elementos del grupo del Fe a la asociación principal, característica de minerales ferromagnesianos, indicadora en el ambiente primario de litologías básicas.

Al aumentar el número de componentes factoriales, el modelo se torna más flexible; y se escinden las agrupaciones mencionadas, de acuerdo con las correlaciones entre los elementos que las conforman, apareciendo nuevas asociaciones. Por ejemplo, en el ACP con cuatro ejes se origina un factor a Ba-Pb \leftrightarrow (P), a pesar de que en el modelo con tres factores de los datos no transformados, el Ba no intervenía significativamente (tablas 19 y 20). El Ba luego va a determinar por sí solo una dirección factorial, mostrando un comportamiento pedogeoquímico relativamente independiente del resto de los elementos analizados (ver matrices de correlación en las tablas 16 y 17). Las asociaciones son más claras para los modelos con 5 ó 6 ejes. En la proyección a un espacio factorial de seis dimensiones, el primer eje (23.3%) asocia al Fe-Mn-Zn-Co-Ni, agrupación relacionada a los fenómenos supergénicos de fijación de elementos trazas en óxidos e hidróxidos de Fe y Mn y arcillas. En segundo lugar, observamos la asociación ya conocida de Cu-V-(Fe) (15.4%). El tercer factor corresponde a Cr-Ni-(Fe-V-Co), denotando como dijimos anteriormente, la covariación, bien conocida en geoquímica, del Cr y el Ni en los minerales máficos. La interpretación de estos factores parece más simple que la de los modelos más restringidos. El cobre y vanadio representarían la zona anómala de posible interés prospectivo, mientras que los demás metales forman asociaciones relacionadas a la litología o al ambiente secundario. El factor cuatro, en orden decreciente de inercia explicada, Y-Be-Pb (13.6%), caracteriza seguramente a las rocas graníticas del área estudiada. El P (8.6%) y el Ba (8.4%) determinan las otras dos direcciones factoriales, sustancialmente monoelementales.

El ACP con seis ejes principales obtenido a partir de los datos logarítmicos describe mejor a los fenómenos geoquímicos no relacionados a la mineralización. La asociación Mn-Zn-(Co) concuerda con lo descrito en la sección 3.2.2.2 (tabla 18b) respecto a la coprecipitación y adsorción de Zn y Co con los óxidos e hidróxidos hidratados de Mn. El factor Ni-Co-Fe-Cr-V-(Zn-Mn) \leftrightarrow (Pb)

es la asociación máfica clásica y los otros factores, Cu-V-Cr-(Fe), Y-Be-Pb, Ba y P ↔ Y son esencialmente los mismos establecidos para los datos brutos, si bien parecen describir mejor las asociaciones geoquímicas a nivel de los tenores normales.

Al seguir aumentando el número de factores, las agrupaciones de elementos se modifican poco. Algunos elementos pasan a definir por sí sólo los nuevos ejes. Por ejemplo, el Pb se separa del grupo del hierro en el modelo con 7 componentes y algo similar ocurre con el Zn en el análisis con 8 factores.

La comparación de las comunalidades de los elementos en los diferentes análisis factoriales muestra para el Fe, V y Ni una constancia a lo largo de los diferentes modelos ensayados. Un importante aumento en las comunalidades de los demás elementos se observa al pasar de cuatro a cinco ejes (ver Ba, P, Pb, Cu, ...), y los factores se estabilizan para seis componentes. Las comunalidades de Ba, Y, Zn, Cu y Cr difieren mucho entre los modelos evaluados sobre los datos log-transformados y aquellos resultantes de los datos brutos, siendo casi siempre mayores para los primeros. Por el contrario, para el Cu y en ciertos casos el V, la situación es a la inversa, patentizando que los elementos asociados a la mineralización presentan una comunalidad mayor en el análisis de los datos no transformados. En el ACP de 6 componentes, las comunalidades son prácticamente independientes de la transformación de los datos y las asociaciones son interpretables desde un punto de vista geoquímico.

Entonces, a partir del "scree test" y de la consideración de los valores propios (o varianzas explicadas) de los factores y su interpretabilidad, parecería que el modelo óptimo es el de seis direcciones principales. Analizaremos, por consiguiente, este modelo en mayor detalle.

Interpretación del modelo factorial

En las tablas 21 y 22 presentamos las tablas de saturación para el ACP con seis direcciones factoriales efectuado sobre los tenores brutos y los log-transformados. Luego de la rotación varimax todos los valores propios son superiores a uno, y ningún componente explica menos del 8% de la inercia total. La proyección de los puntos-variables sobre los diferentes planos factoriales facilita la aprehensión de las asociaciones de elementos, que caracterizan a los factores de los dos análisis examinados (figuras 61 a 66). El trazado de los histogramas de las coordenadas factoriales con intervalos de clase de igual amplitud permite comparar la dispersión de las muestras sobre las distintas direcciones principales. Las figuras 67 y 68 exponen los histogramas de frecuencias simples para las coordenadas de los factores del ACP con y sin log-transformación, con una amplitud de las clases igual a 0.5. Los histogramas muestran distribuciones irregulares, plurimodales y con fuertes asimetrías para los componentes 1, 2, 3 y 5. Las distribuciones son sensiblemente más regulares para el modelo evaluado sobre los datos transformados logarítmicamente. Cartografiamos las coordenadas factoriales mediante el método ya utilizado para los tenores brutos de cálculo de medias móviles y su representación gráfica por una técnica de sombreado variable. Las imágenes resultantes se presentan a escala 1/100000 en las figuras 69 y 70, y fueron comparadas con la reducción del mapa de Midot D. (1983) expuesto en la figura 35 para su interpretación en función de la geología.

En el análisis en seis componentes principales sobre los tenores brutos distinguimos las siguientes asociaciones geoquímicas:

Factor 1 (23.3%): Mn-Zn-Co-Fe-Ni. Describe la mayor proporción de varianza composicional de las muestras y es el único eje al que se correlacionan significativamente el Mn y el Zn. Para estos elementos el componente da cuenta de un 74 y 56% de la variabilidad total de sus tenores, correspondiente a un 93 y 77%

M	1	2	3	4	5	6
VALOR PROPIO	3.027	1.767	2.001	1.089	1.121	1.917
PORCENTAJE	23.287	13.591	15.395	8.375	8.025	14.748

* TABLA DE SATURACION *

FIFE2X) *	0.705	-0.059	-0.408	-0.045	-0.093	0.456
FIMN) *	0.300	-0.178	0.085	-0.080	-0.044	0.091
FIBA) *	-0.072	0.024	0.081	0.965	0.013	-0.016
FIP) *	0.192	-0.151	-0.024	-0.034	-0.932	0.132
FIV) *	0.212	-0.098	-0.810	-0.002	-0.110	0.422
FIPB) *	0.031	0.495	-0.093	0.322	-0.230	-0.565
FIZN) *	0.746	0.017	-0.270	0.043	-0.293	-0.083
FICU) *	0.125	-0.000	-0.925	-0.083	0.027	-0.000
FICR) *	0.298	-0.117	-0.270	0.098	-0.257	0.763
FINI) *	0.632	-0.066	-0.183	-0.056	-0.127	0.642
FICD) *	0.745	0.043	-0.186	-0.049	-0.000	0.378
FIRE) *	-0.288	0.815	0.277	0.112	-0.025	-0.193
F(Y) *	0.064	0.877	-0.093	-0.083	0.249	-0.005

Tabla 21: Saturaciones del ACP sobre los tenores brutos después de rotación varimax.

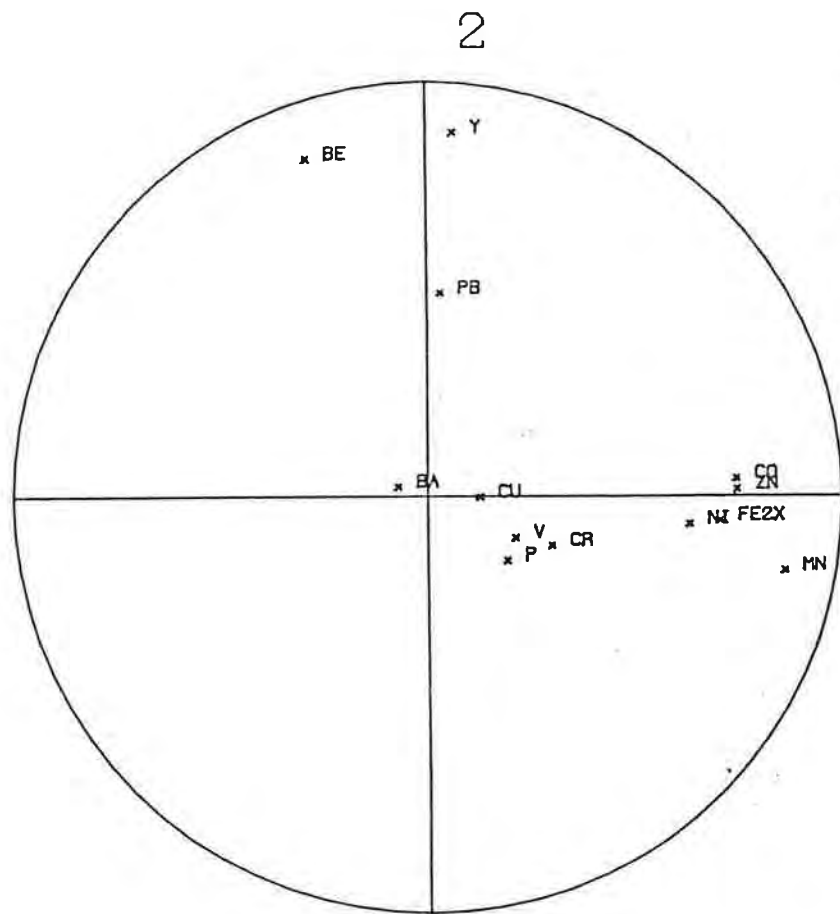
M	1	2	3	4	5	6
VALOR PROPIO	2.208	1.914	1.072	1.580	1.237	3.152
PORCENTAJE	16.986	14.720	8.248	12.156	9.513	24.250

* TABLA DE SATURACION *

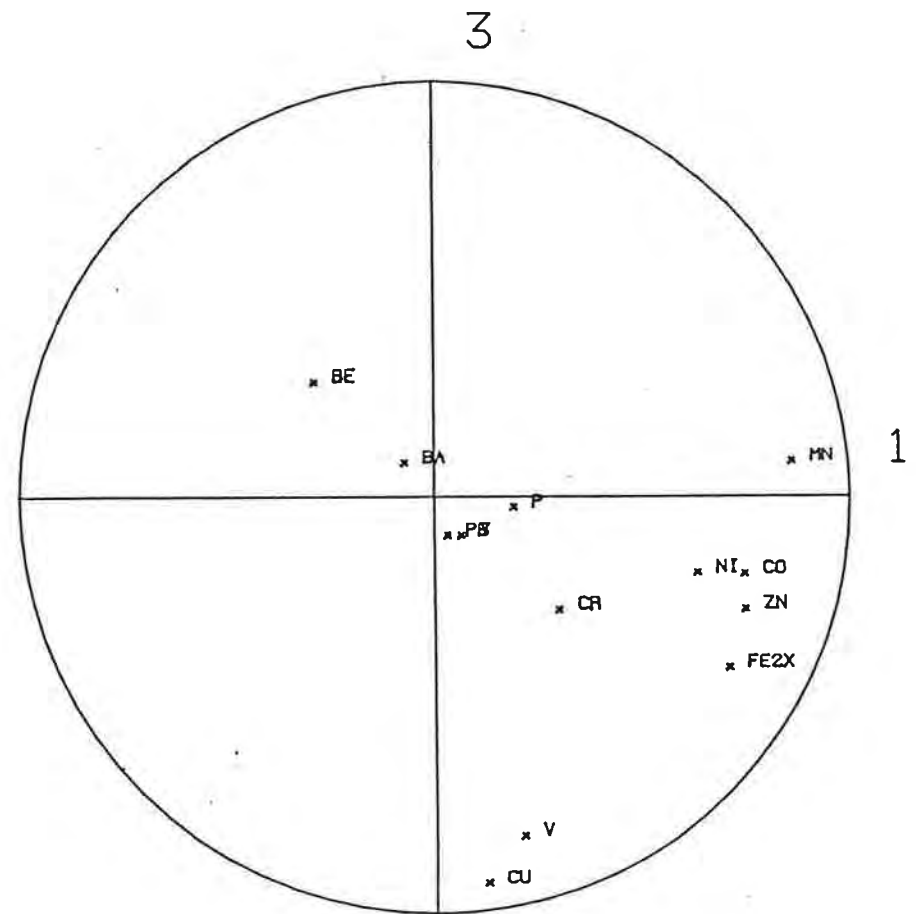
F(Fe2x)	0.435	-0.091	-0.046	-0.338	0.093	0.757
F(MN)	0.118	-0.186	-0.008	-0.857	0.063	0.357
F(BA)	-0.031	0.141	0.978	0.024	-0.032	-0.047
F(P)	0.051	-0.074	-0.045	-0.145	0.898	0.197
F(V)	0.767	-0.170	-0.005	0.006	0.116	0.515
F(PB)	0.012	0.735	0.181	0.001	0.204	-0.346
F(ZN)	0.317	0.128	-0.047	-0.609	0.305	0.468
F(CU)	0.897	0.023	-0.055	-0.235	-0.041	0.164
E(CR)	0.534	-0.307	0.077	-0.040	0.168	0.665
F(NI)	0.336	-0.180	-0.061	-0.244	0.119	0.814
F(CU)	0.059	-0.007	-0.077	-0.349	0.040	0.773
F(BE)	-0.321	0.752	0.211	0.307	-0.098	-0.179
F(Y)	0.053	0.753	-0.113	-0.070	-0.462	0.208

Tabla 22: Saturaciones del ACP sobre los tenores log-transformados después de rotación varimax.

* ACP CON 6 FACTORES (SIN TRANSF.) *



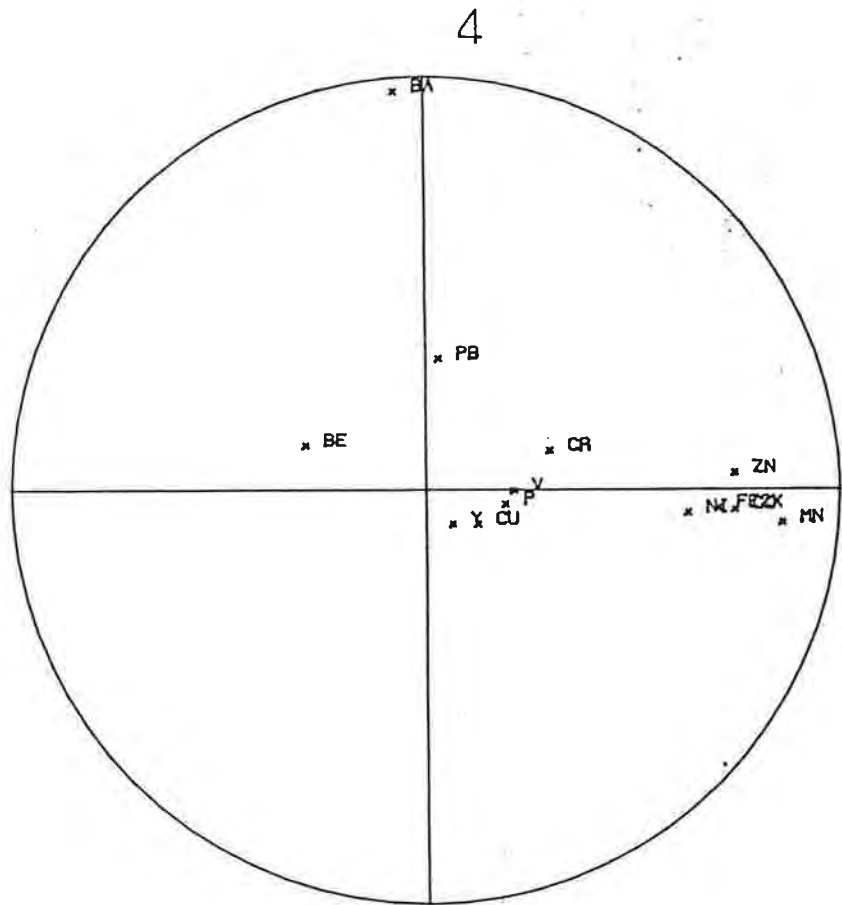
VAL. PROPIOS= 3.03 1.77
 INERCIAS = 23.29 13.59



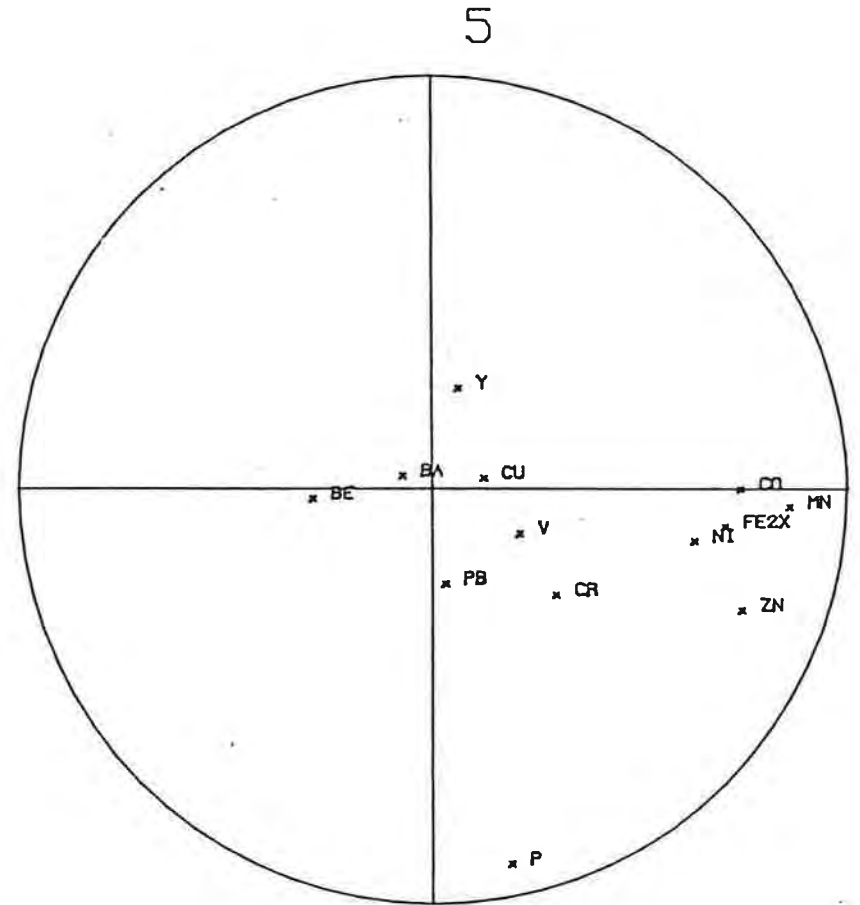
VAL. PROPIOS= 3.03 2.00
 INERCIAS = 23.29 15.40

Figura 61

* ACP CON 6 FACTORES (SIN TRANSF.) *



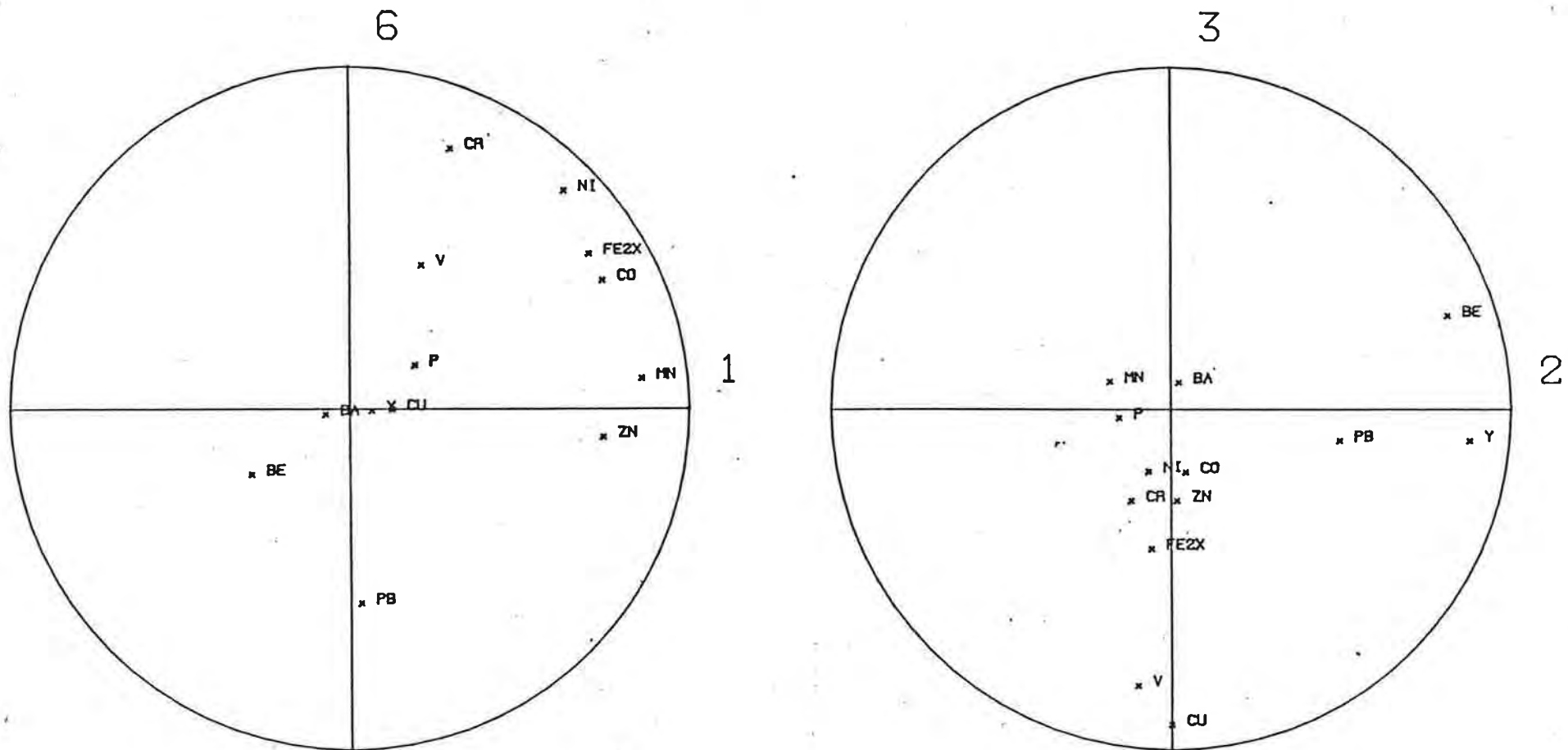
VAL. PROPIOS= 3.03 1.09
 INERCIAS = 23.29 8.38



VAL. PROPIOS= 3.03 1.12
 INERCIAS = 23.29 8.63

Figura 62

* ACP CON 6 FACTORES (SIN TRANSF.) *



VAL. PROPIOS= 3.03 1.92
 INERCIAS = 23.29 14.75

VAL. PROPIOS= 1.77 2.00
 INERCIAS = 13.59 15.40

Figura 63

* ACP CON 6 FACTORES (TRANSF. LOG.) *

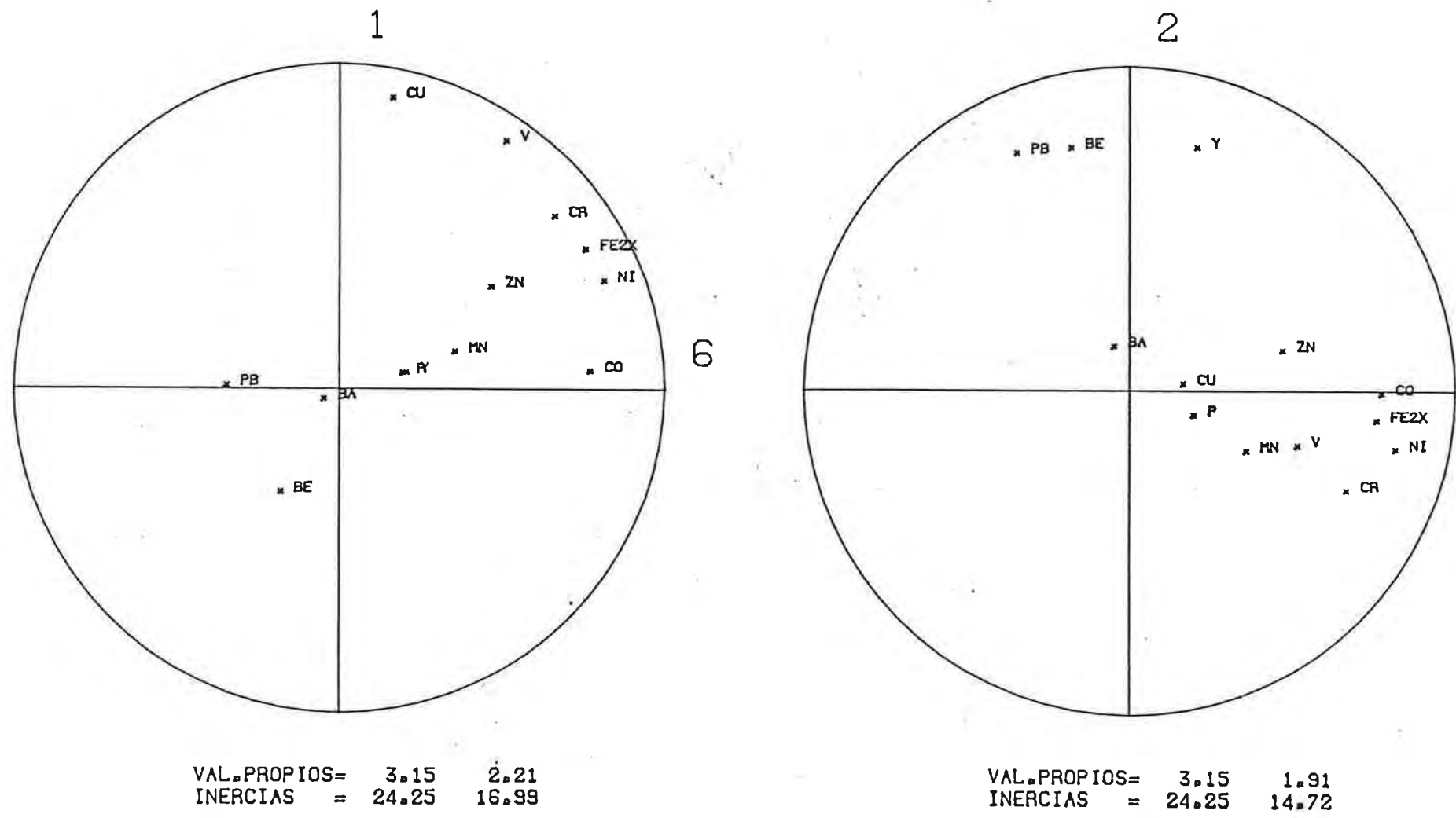
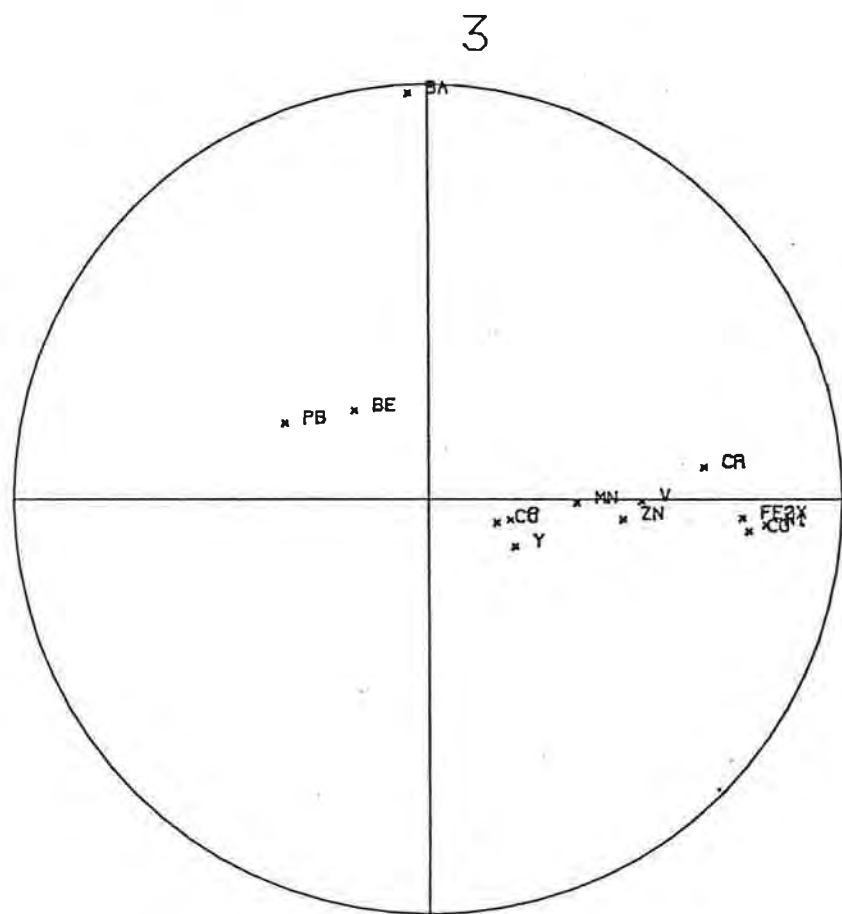
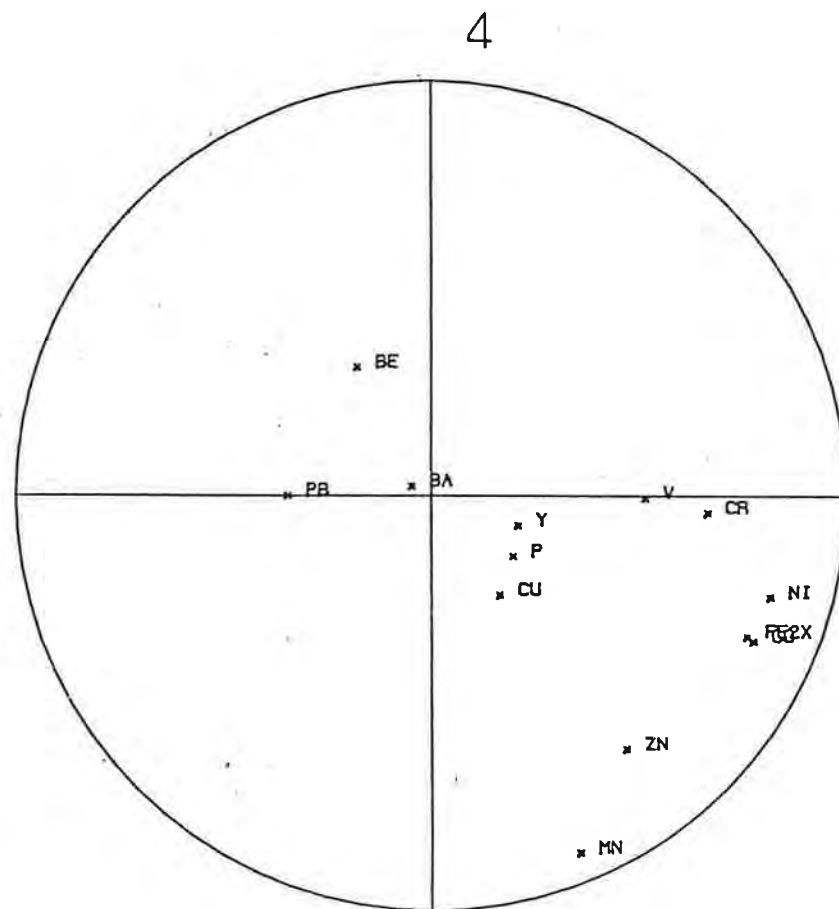


Figura 64

* ACP CON 6 FACTORES (TRANSF. LOG.) *



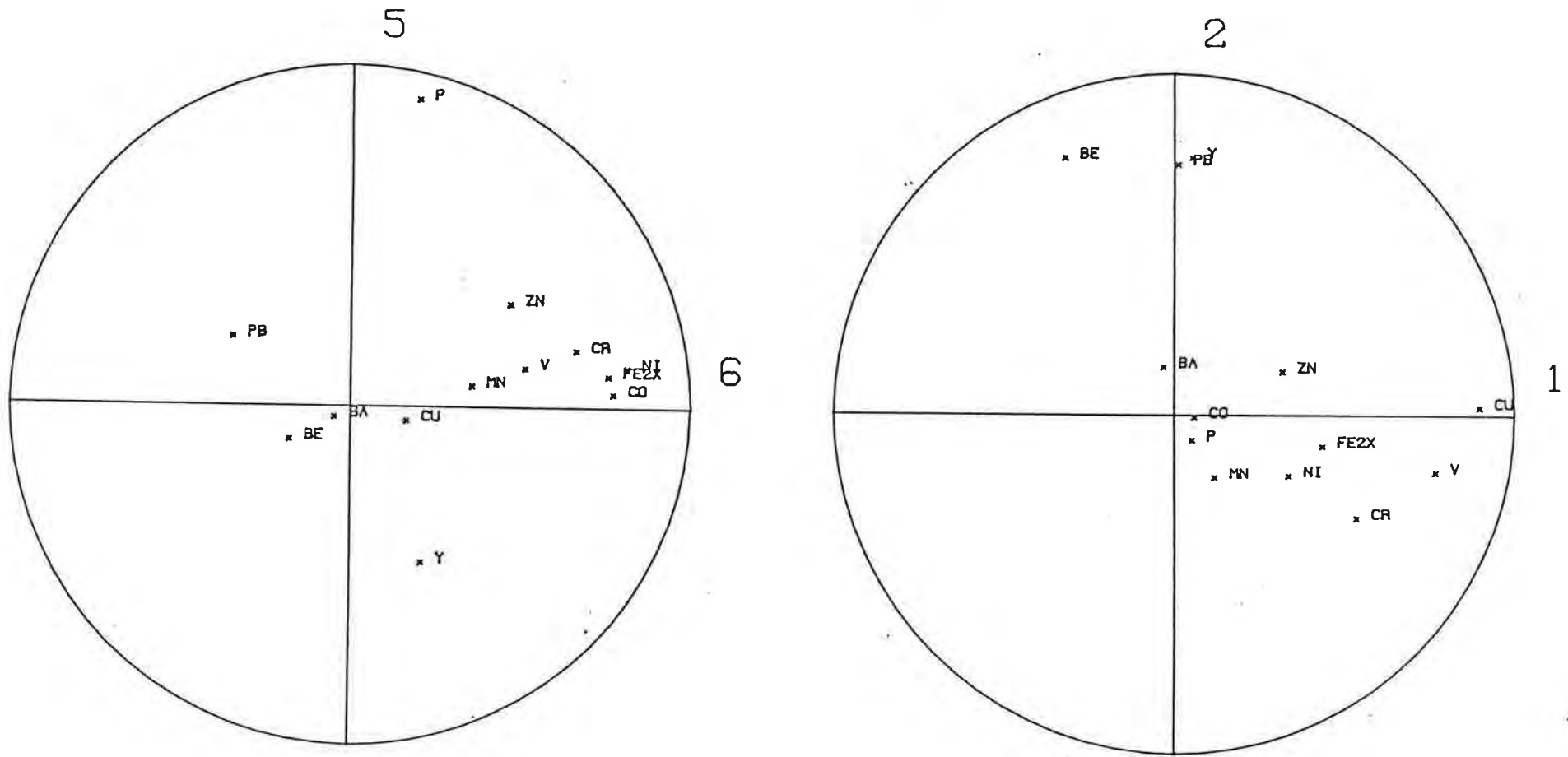
VAL. PROPIOS= 3.15 1.07
 INERCIAS = 24.25 8.25



VAL. PROPIOS= 3.15 1.58
 INERCIAS = 24.25 12.16

Figura 65

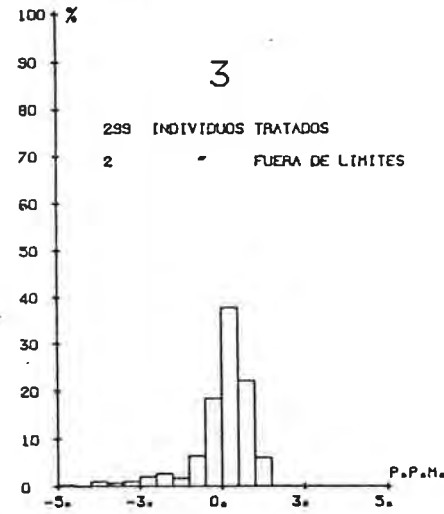
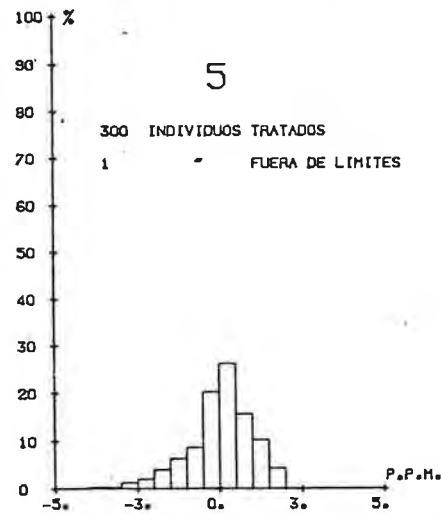
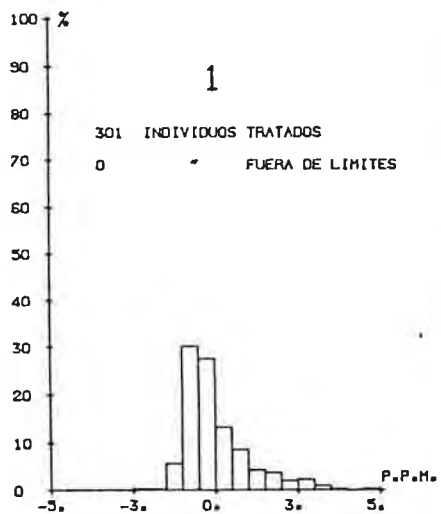
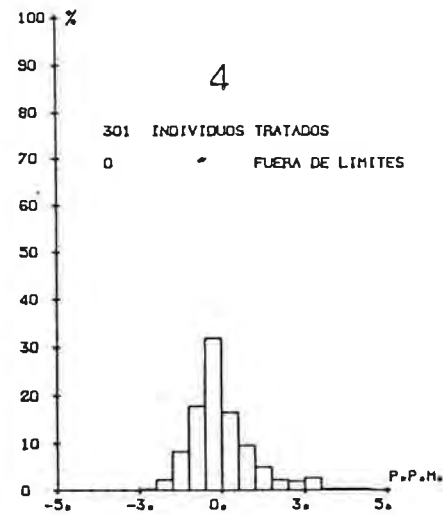
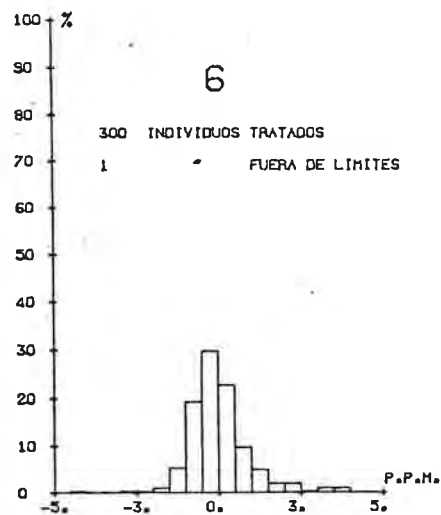
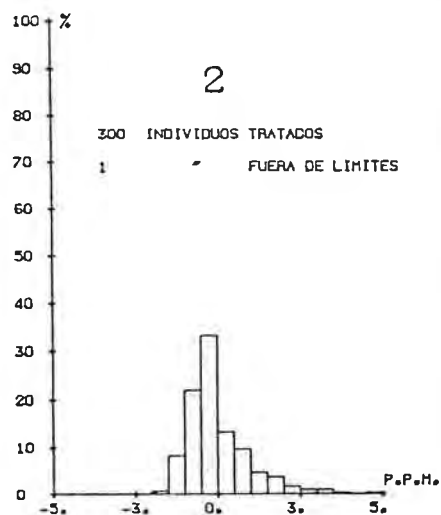
* ACP CON 6 FACTORES (TRANSF. LOG.) *



VAL. PROPIOS = 3.15 1.24
 INERCIAS = 24.25 9.51

VAL. PROPIOS = 2.21 1.91
 INERCIAS = 16.99 14.72

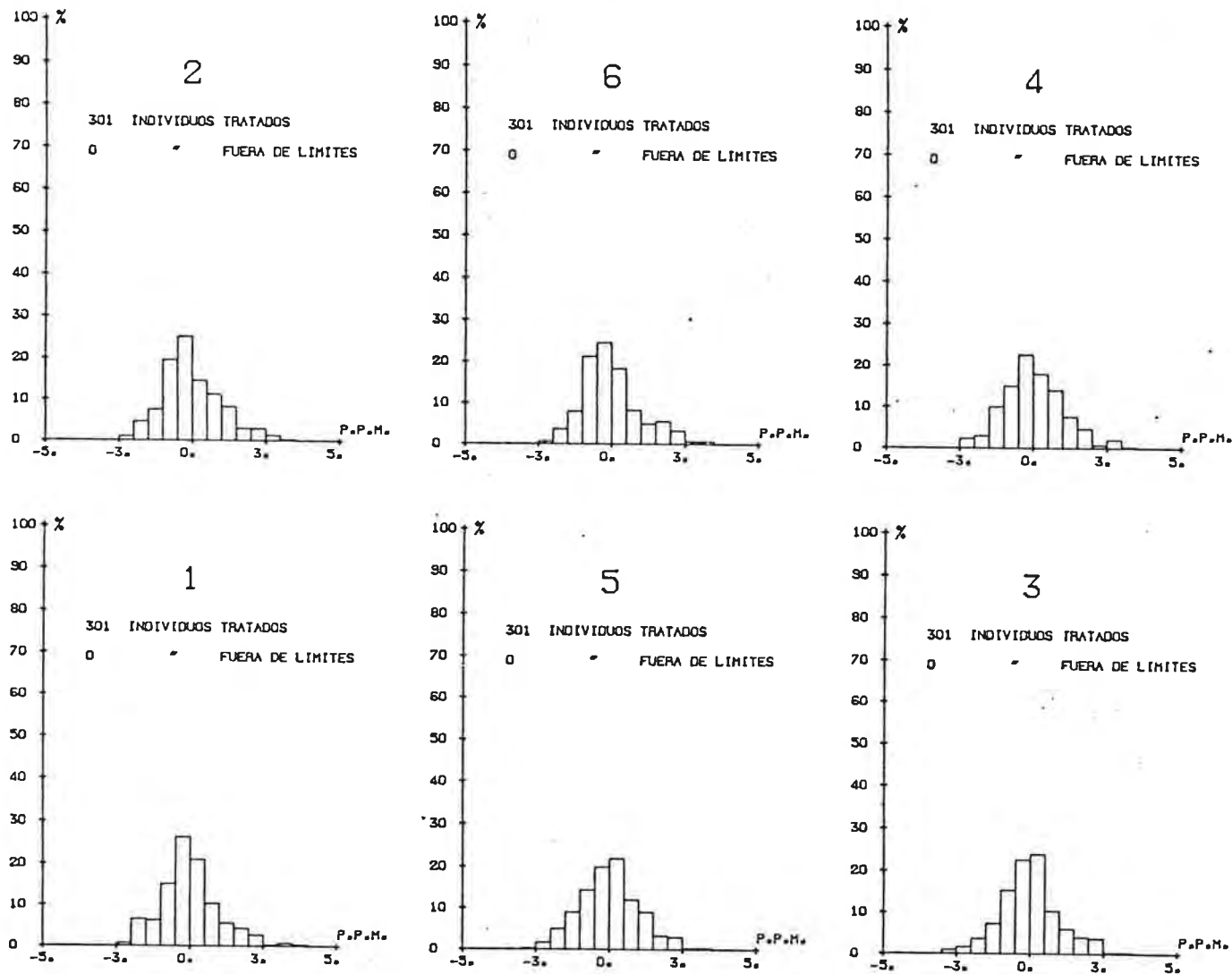
Figura 66



HISTOGRAMAS DE FRECUENCIAS

* ACP EN NATURALES *

COORDENADAS FACTORIALES



HISTOGRAMAS DE FRECUENCIAS

* ACP EN LOGARITMOS *

COORDENADAS FACTORIALES

Figura 68

de las respectivas comunalidades. Es una asociación opuesta al Be, independiente del Y y Pb, y ligeramente correlacionada al Cr, V, P y Cu. La imagen de la repartición areal de este factor no señala una dependencia clara con la litología. Las zonas a coordenadas elevadas se hallan tanto sobre las metalavas básicas (E del sector), como sobre las calizas dolomíticas y sedimentos indiferenciados, donde las localidades se encuentran enriquecidas en manganeso, con algunos tenores mayores que 5000ppm (figura 22b). Interpretamos esta asociación como indicadora de la tendencia de algunos metales de transición a formar compuestos de adsorción con los oxidados de manganeso. El hidróxido y óxido mangánicos adsorben fuertes cantidades de Zn, Co y Ni entre otros cationes. La separación de estos compuestos en el medio supergénico se ve favorecida a pH básicos, como el determinado por rocas carbonatadas. El hierro se comporta en forma similar al manganeso en los sedimentos, y con el hidróxido férrico coprecipitan y se adsorben la mayoría de los elementos trazas analizados. Esto ya fue examinado mediante el análisis de correlación descrito en la sección 3.2.2.2., que puso en evidencia el rol sustancial del Mn en la fijación del Zn y el Co. Las fluctuaciones de las coordenadas de las muestras sobre esta dirección factorial son, entonces, esencialmente función de las condiciones pedomorfológicas del área en estudio; y las zonas a valores altos señalan la mayor disponibilidad de Mn, Zn, Co, Ni, Fe, ... en el ambiente secundario, de ahí su correspondencia con litofacies ricos en minerales ferromagnesianos.

Factor 2 (13.6%): Y-Be-Pb. Es una asociación geoquímica clásica de rocas ígneas silíceas, y reagrupa a elementos abundantes en los granitos. El Be y el Pb se concentran principalmente en los feldespatos alcalinos y las micas. El Be^{2+} suele sustituir al silicio en la estructura de los silicatos y en los suelos se concentra en las arcillas, con un comportamiento similar al Al. El Pb sustituye diadóticamente al K en los feldespatos potásicos y también al Ca en el apatito. Por su lado, el ytrio tiende a presentarse en los granitos formando minerales independientes con el

fósforo (monacita, xenotima) o como componente accesorio en el apatito, fluorita, zircón y biotita. No obstante, parecería que aquí el Y sustituye al Ca en el esfeno y al K en los feldespatos potásicos (Rankama K. y Sahama Th.G., 1962). En consecuencia, se trata de una asociación característica de rocas graníticas y, a nivel pedológico, delinea claramente la intrusión norte del granito a biotita, que en adelante denominaremos granito de Minas Norte en oposición al de Minas Sur, de quimismo notoriamente más básico. Los microgranitos y microgranodioritas también dan lugar a coordenadas factoriales relativamente elevadas. La dispersión de las coordenadas de este eje principal hacia los valores positivos origina una sensible asimetría en el histograma de la figura 67, correspondiente en el muestreo a las localidades sobre el granito de Minas Norte.

Factor 3 (15.4%): Cu-V-(Fe). Reagrupa los metales que describen la anomalía geoquímica revelada durante la campaña de prospección regional. No muestra ninguna dependencia directa con una litología particular y atraviesa el área examinada en dirección SE-NW, prácticamente a $N130^{\circ}$, entre las intrusiones graníticas. El conjunto geoquímico anómalo, con coordenadas factoriales altas, crea en la distribución empírica de este componente una asimetría acentuada y una moda secundaria.

Factor 4 (8.4%): Ba. Este componente principal está únicamente saturado por Ba, del cual explica un 93% de su varianza. Esto queda patentizado gráficamente en la proyección de las variables en el plano determinado por los factores 1 y 4 (figura 62). Además del Ba, sólo el Pb presenta un coeficiente no trivial, si bien menor que 0.35. A excepción de una moda secundaria a coordenadas superiores a 3.0 este factor exhibe una distribución bastante regular, de acuerdo con la observada para el Ba. A nivel del muestreo este eje principal describe las granodioritas a grano fino del NW y el granito de Minas Sur, en los cuales el Ba sustituye al K en los feldespatos alcalinos y, particularmente, se con-

centra en las micas (biotitas) de las rocas dioríticas. Algunos valores altos localizados en el SW del sector podrían correlacionarse con la presencia de rocas alcalinas (sienitas, riolitas) en la Sierra de Animas, donde el desplazamiento de la imagen sería perfectamente explicable por la topografía local. No obstante, el Ba no describe a nivel regional a la formación mencionada (Zee-gers H. et al, 1982); y es más plausible que esta zona enriquecida en dicho elemento se encuentre relacionada con la circulación de soluciones hidrotermales capaces de extraer al Ba de las rocas alcalinas circundantes, y de concentrarlo en un medio carbonatado como $BaCO_3$, frecuente en la dolomita. Esta hipótesis quizás pueda apoyarse en la cartografía de Midot D., que señala en el extremo SW del sector la presencia de bancos de jaspe en medio de calizas dolomíticas. Este enriquecimiento local en Ba también puede deberse a la fijación del elemento en los minerales arcillosos, que abundan a veces en algunos jasperoides.

Factor 5 (8.6%): P. Es otro componente principal esencialmente monoelemental, que da cuenta del 81.4% de la varianza del fósforo. El Zn, Cr y Pb se correlacionan ligeramente a este eje. La imagen de las coordenadas factoriales es similar a la expuesta para el P en la figura 36, mostrándose ligeramente enriquecido en los suelos sobre los microgranitos y microgranodioritas del sector y los metavolcanitos básicos. El fósforo forma minerales independientes, especialmente apatito, en las rocas ígneas; en oposición a lo dicho para los demás elementos. Las coordenadas factoriales serían en este caso una medida del contenido en apatito de las rocas graníticas mencionadas. No obstante, la imagen del fósforo no parece muy bien definida por la litología, y la relación inversa con Y y levemente positiva con algunos metales trazas de la primera serie de transición nos inducen a presumir un carácter supergénico para este factor. A partir de las soluciones resultantes de la meteorización portadoras de fosfatos reprecipita el fosfato cálcico, proceso quizás favorecido por la presencia de calizas rodeando a las intrusiones graníticas, v.gr.: micro-

granito en el centro-NW del sector. También se forman fosfatos secundarios con Fe, Mn, Zn, Cu, entre otros. Retendremos, entonces, a este eje principal como descriptor de un fenómeno de dispersión geoquímica secundaria; y algunas zonas a coordenadas elevadas concordantes con algún litofacies determinado son interpretables por la mayor disponibilidad del P en dichas rocas.

Factor 6 (14.7%): Cr-Ni-(Fe-V-Co) ↔ Pb. Es otra asociación clásica en geoquímica, que caracteriza la covariación en las rocas ígneas de los metales de transición del grupo del hierro, particularmente Cr y Ni, y es representativa de los minerales máficos. De acuerdo con esto, las fluctuaciones de las coordenadas de las muestras sobre este eje principal reflejan la diferente basicidad del substrato lítico. El máximo relieve corresponde a las metalavas básicas y granitos (granodioritas) a grano fino.

En la tabla 23 comparamos los tenores medios correspondientes a diferentes intervalos de las coordenadas de las direcciones factoriales 1, 3 y 6. En estos tres factores intervienen, con diferentes saturaciones, los metales de la primera serie de transición, v.gr.: Ni, Co, Cr, Fe, V y Cu y Zn sólo en los factores 1 y 3. Únicamente se observan diferencias importantes para scores elevados. En efecto, para los valores superiores a 1.5 el factor 1 (Mn-Zn-Co-Fe-Ni) se diferencia por fuertes concentraciones de Mn y Zn explicables por su interdependencia en el ambiente supergénico. El factor 3 (Cu-V) alcanza a describir tenores de 102ppm de Cu y 156ppm de V respecto a un máximo de 40ppm de Cu (eje 1) y 120ppm de V (eje 6) para las otras dos direcciones principales consideradas. Respecto a los demás factores este eje delinea a localidades relativamente pobres en Mn, Ba, Cr, Ni y Co. El componente de mineralización está entonces directamente saturado por cobre y vanadio, y las localidades anómalas (coordenadas factoriales superiores a 2.5) muestran tenores medios en Ni y Co próximos a los niveles de fondo regionales ($G_{Ni}=18ppm$, $G_{Co}=12ppm$), y parecen ligeramente enriquecidas respecto a éstos en Cr ($G_{Cr}=36ppm$)

f	Intervalo coord.	Tenores medios (medias aritméticas)													
		N	Fe	Mn	Ba	P	V	Pb	Zn	Cu	Cr	Ni	Co	Be	Y
1	<-1.5	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-3		0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6		6	4.2	828	464	439	62	38	110	25	27	14	10	3.7	22
1	-1.5--1.0	19	4.0	341	412	505	87	12	49	23	35	14	10	3.0	17
-3		18	3.3	793	396	438	41	18	56	12	16	11	10	5.4	27
6		16	5.3	1665	442	550	71	23	79	33	30	16	13	2.7	18
1	-1.0--0.5	19	5.1	661	452	445	89	12	68	32	47	19	10	2.4	18
-3		29	3.9	776	464	396	54	15	54	15	24	13	10	3.9	22
6		22	4.7	922	436	400	74	16	71	30	31	15	10	2.0	16
1	-0.5- 0.0	21	6.3	925	458	515	102	14	78	45	52	22	13	2.3	19
-3		29	4.9	940	437	448	75	13	69	21	39	17	11	2.1	18
6		25	5.2	965	427	461	82	12	72	34	34	16	11	2.3	19
1	0.0- 0.5	21	6.0	1330	463	404	81	14	77	27	42	22	11	2.1	23
-3		27	5.5	699	500	504	87	15	72	29	48	18	11	2.6	17
6		26	5.4	640	440	417	89	13	69	33	42	19	11	2.5	21
1	0.5- 1.0	20	7.0	1732	412	448	84	16	86	29	48	25	13	2.0	22
-3		19	6.1	900	432	448	98	18	88	36	56	24	12	2.2	21
6		21	5.8	631	456	456	97	14	64	30	52	21	11	2.8	25
1	1.0- 1.5	13	8.0	1947	409	526	99	13	98	35	51	31	16	2.0	23
-3		5	5.3	608	418	463	108	28	112	36	44	16	10	3.2	32
6		15	7.9	1339	383	469	119	10	82	30	58	33	14	2.2	21
1	1.5- 2.5	15	9.4	2425	369	577	95	11	103	24	57	37	18	1.4	18
-3		14	7.6	810	354	390	127	13	79	62	49	25	14	2.2	25
6		12	8.2	1492	377	5518	101	10	89	29	86	40	16	1.9	20
1	> 2.5	12	9.4	3101	411	585	105	20	159	39	52	38	20	2.0	23
-3		11	8.7	1172	329	477	156	17	102	102	48	26	16	1.9	27
6		4	8.9	1457	407	612	120	12	92	30	126	54	19	1.4	17

Tabla 23: Comparación de los tenores medios de los elementos involucrados en el ACP (datos brutos) con 6 direcciones principales correspondientes a diferentes intervalos de las coordenadas de los factores 1, -3 y 6. f: componente principal; N: número de muestras involucradas en el cálculo de los tenores medios.

y Fe ($G_{Fe} = 5.4\%$). Por su lado, el factor 6 señala a las muestras más ricas en Cr y Ni, intermedias en lo que se refiere a Fe, Mn, Ba, V, Co y Zn, y, a su vez, pobres en Ba, Y y Pb, representando un polo de quimismo típicamente fémico.

Al efectuar el análisis en componentes principales sobre los datos transformados logarítmicamente se obtiene un espacio factorial geoquímicamente equivalente en esencia al obtenido sobre los tenores brutos. Las asociaciones de elementos que determinan los ejes son:

Factor 1 (17.0%): Cu-V-Cr-(Fe). Análogamente al factor 3 del ACP en valores naturales esta asociación de elementos describe la ocurrencia mineral en el área prospectada. El plano factorial 1-6 (figura 64) da la mejor imagen bidimensional de la configuración de los tenores transformados. Un eje que biseca el primer cuadrante de dicha representación muestra a los férridos, Fe, Cr y Ni y también Co, Zn, V y Cu, en oposición al polo ácido caracterizado por Be, Pb y Ba. El eje 1 explica un 80.5% de la varianza de los tenores de cobre, sensiblemente menor que el tomado en cuenta por el componente Cu-V-(Fe) del ACP sin transformación (85.6%). La asociación de elementos característica de la mineralización parece estar mejor representada en este último modelo factorial.

Factor 2 (14.7%): Y-Be-Pb. Es la misma relación inter-elementos asociada al segundo componente del análisis en valores naturales. Aquí los tres elementos muestran coeficientes casi iguales, dando origen a una buena imagen de las intrusiones graníticas

Factor 3 (8.2%): Ba. Componente principal monoelemental homólogo del factor 4 del ACP sobre los tenores brutos.

Factor 4 (12.2%): Mn-Zn-(Co). Al igual que el primer factor en el tratamiento sin log-transformación, este componente de-

fine el fenómeno superficial de fijación del Zn y Co por los suelos de MnO_2 y $Mn(OH)_4$. Los pesos de Fe y Ni en este eje son poco significativos, y la asociación se manifiesta ahora más neta.

Factor 5 (9.5%): $P \leftrightarrow Y$. Se corresponde con el factor mono-elemental del ACP en valores naturales. La oposición del P con el Y puede estar indicando que los granitos del sector estudiado son pobres en minerales monacíticos. La cartografía de las coordenadas factoriales muestra los máximos valores principalmente sobre los granitos y granodioritas a grano fino.

Factor 6 (24.2%): $Ni-Co-Fe-Cr-V-(Zn-Mn) \leftrightarrow Pb$. Caracteriza a una asociación de elementos mayor que la designada por el sexto eje del análisis de los datos no transformados, y da cuenta de la máxima inercia composicional de la nube de puntos-muestras. Es el grupo de los metales de la primera serie de transición, relacionados en las rocas ígneas con los minerales ferromagnesianos. La imagen de este factor delinea las rocas volcánicas básicas y destaca el comportamiento ligeramente básico de los microgranitos cataclásticos.

El análisis en componentes principales con log-transformación proporciona una mejor descripción de los fenómenos geoquímicos normales. Las asociaciones de elementos que caracterizan los fenómenos supergénicos de adsorción y absorción en óxidos e hidróxidos mangánicos (factor 4) y denotan el polo de quimismo básico (factor 6), se diferencian con mayor claridad respecto a los evaluados a partir de los valores naturales (factores 1 y 6 respectivamente). Sin embargo, en cualquiera de los dos tratamientos, la extracción de 6 direcciones factoriales origina un espacio factorial de una simplicidad geoquímica adecuada, y los componentes principales son interpretables en término de procesos geoquímicos activos en el ambiente primario (composición química de la roca madre y mineralizaciones) y en el secundario (coprecipitación y adsorción de metales trazas en los

óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso, formación de fosfatos secundarios, ...). Las asociaciones geoquímicas patentizadas en los componentes principales son prácticamente las mismas establecidas por la clasificación ascendente jerárquica en modo R.

No obstante, en el ACP la cartografía de las coordenadas factoriales permite analizar la estructuración de dichas asociaciones, haciendo posible su comparación con la información geológica. Los factores dependientes de la litología y los descriptores de la mineralización muestran una fuerte regionalización. Su examen conduce a adjudicar un homólogo geoquímico a las distintas unidades litológicas cartografiadas, siendo aún posible apreciar diferenciaciones dentro de las mismas desapercibidas en el reconocimiento geológico. En este sentido el análisis factorial describe sintéticamente lo ya manifestado por la cartografía directa de los tenores (figura 35 y 36):

- el granito de Minas presenta dos zonas de comportamiento geoquímico distinto, la intrusión sur enriquecida en Ba y P de quimismo menos alcalino (Be, Pb, Y) que la norte;

- los microgranitos y microgranodioritas se pueden diferenciar por su espectro geoquímico; los cataclásticos del SE muestran tenores relativamente elevados en los elementos del grupo del hierro comparados con las intrusiones del NW, a su vez más ricas en Ba;

- las metalavas básicas en el E del área estudiada exhiben las máximas concentraciones en los metales de la primera serie de transición (Fe, Ni, Cr, Co, Zn, ...), indicando un alto contenido en minerales máficos;

- las litologías sedimentarias no enseñan una imagen geoquímica muy expresiva.

Los factores que describen asociaciones supergénicas, v. gr.: factor 4 del ACP con log-transformación, muestran variaciones más localizadas, menos dependientes del substrato rocoso.

La mayoría de los elementos analizados, Fe, Ni, Cr, Y,

Be, Ba, Pb y V, y parcialmente Zn y Co, denotan un comportamiento fuertemente litodependiente. Las fluctuaciones del Cu y el V estarían controladas por la presencia de una zona mineralizada, y las de Mn, P, Zn y Co parecen estar determinadas por fenómenos esencialmente pedológicos.

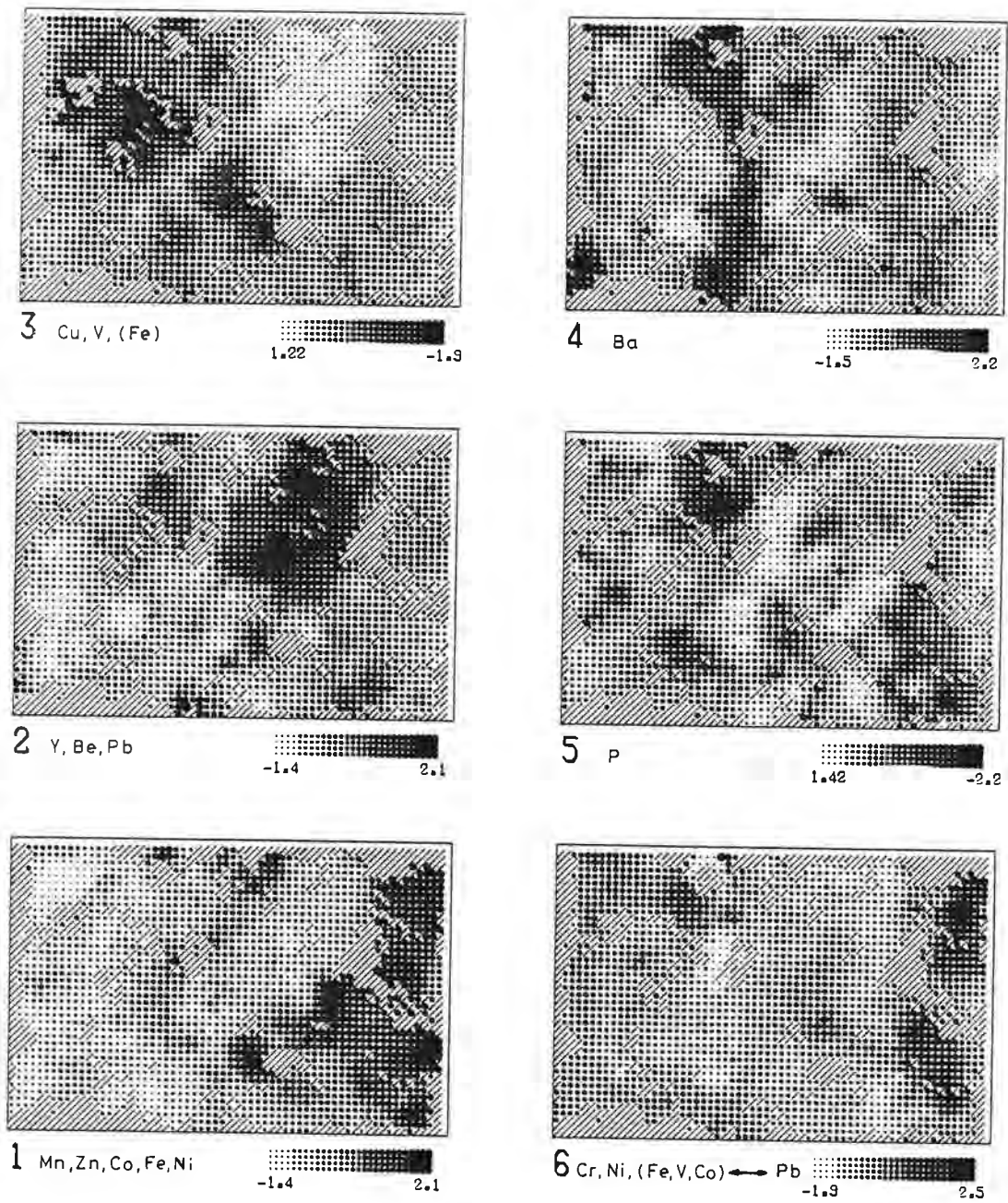
El análisis factorial en la variante de componentes principales resulta entonces, una técnica multivariable sumamente eficiente para la descripción de la variabilidad composicional de las muestras. A pesar de que los factores extraídos son ortogonales, lo que sólo sería justificable si los fenómenos geoquímicos actuantes sobre el medio muestreado fueran estrictamente exclusivos; ellos caracterizan a interdependencias entre los elementos explicables en base a realidades geológicas. Las asociaciones geoquímicas factoriales fueron entonces interpretadas siguiendo hipótesis sobre relaciones cogenéticas en las rocas y mineralizaciones, y analogías del comportamiento de los elementos durante los procesos de dispersión secundaria.

3.2.3. Estudio de la litodependencia de la señal geoquímica

3.2.3.1. Generalidades

Hemos visto que la mayoría de los elementos analizados muestran una patente regionalización de sus tenores, con una estructuración en sensible acuerdo con la geología del sector. En efecto, la cartografía de imposición zonal con interpolación local por el método de medias móviles ha puesto en evidencia, directamente a partir de los tenores de los elementos (figuras 35 y 36) y de los resultados del análisis factorial (figuras 69 y 70), que la configuración de la superficie pedogeoquímica del área estudiada está esencialmente controlada por la presencia de determinados facies litológicos. Esto concuerda con el concepto geoquímico general de que el suelo es un excelente espejo geoquímico del substrato rocoso. Siendo así, nos pareció interesante efectuar un

* ACP CON 6 FACTORES (SIN TRANSF.) *



5 KMS

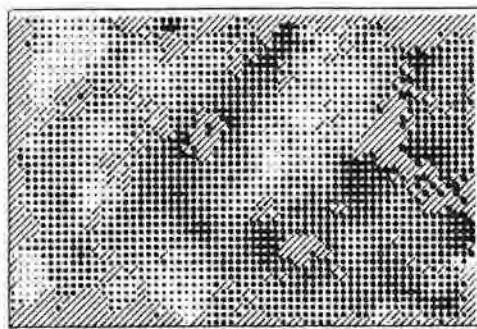
ESCALA

FIGURA - 69

* ACP CON 6 FACTORES (TRANSF. LOG) *



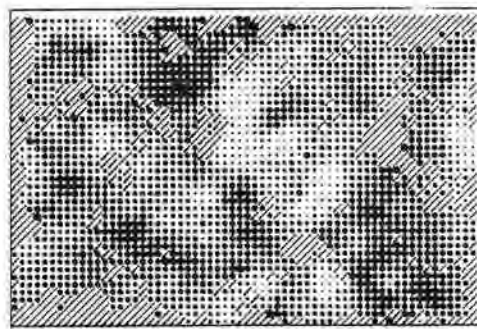
3 Ba
-1.7 2.4



4 Mn, Zn, (Co)
1.76 -2.6



2 Y, Be, Pb
-1.6 2.4



5 P ↔ Y
-1.6 2.4



1 Cu, V, Cr, (Fe)
-1.6 2.5



6 Ni, Co, Fe, Cr, V, (Zn, Mn) ↔ Pb
-1.5 2.3

5 KMS

ESCALA

FIGURA - 70

análisis discriminante sobre los datos geoquímicos disponibles con el fin de particionar las muestras en clases establecidas a partir de la cartografía geológica de Midot (figura 2). Los conjuntos de muestras así obtenidos serían más homogéneos desde el punto de vista de su varianza composicional, y posibilitarían una interpretación más fina a nivel de las diferentes poblaciones geoquímicas diferenciadas por la litología. El objetivo del análisis factorial discriminante es entonces, definir la relación entre un carácter extrínseco cualitativo, descriptor de las diferentes unidades litológicas, y los elementos dosificados en las muestras de material de alteración superficial.

3.2.3.2. Elección de los grupos de instrucción y de las variables discriminantes

La primera fase del análisis discriminante (ADI) realizado consistió en determinar las clases que constituyen las diferentes modalidades de la variable cualitativa 'litología'. Luego procedimos a la elección de los grupos de instrucción para los diferentes litofacies, y a seleccionar los elementos químicos capaces de explicar correctamente la clasificación mencionada.

- Elección de las clases y sus grupos de instrucción

Consideramos seis categorías diferentes del carácter 'contexto geológico', definidas e identificadas de la siguiente forma:

CALC: calizas dolomíticas, dolomitas blancas, ...

ESQU: esquistos sericíticos

SEIN: conjunto de grauvacas, cuarcitas y filitas ("sedimentos indiferenciados")

VOBA: metalavas básicas y brechas volcánicas

GRMI: granito a biotita (granito de Minas)

GRFI: granitos y granodioritas a grano fino.

No tomamos en cuenta la formación Sierra de Animas (tra-

quitas, riolitas y sienitas), debido a que ninguna muestra fue directamente recolectada sobre esta unidad.

Para cada clase litológica elegimos un grupo de muestras, en principio estadísticamente representativo, para conformar el conjunto de instrucción en base al cual se formularon las funciones discriminantes. El mapa de la figura 71 señala las áreas que abarcan los grupos de instrucción. Estas fueron seleccionadas de manera tal que las muestras corresponden en su mayoría a suelos verdaderos o, en su defecto, a sedimentos tomados en las cuencas de drenaje donde predomina el facies litológico que supuestamente van a representar. En el caso del granito de Minas, clase GRMI, tomamos en cuenta el diferente comportamiento pedogeoquímico de su sector norte y sur, revelado por los diferentes tipos de cartografía geoquímica vistos, inclusive el análisis de tendencia. En un reconocimiento rápido realizado en el sector en estudio, reparamos en que el llamado granito de Minas Norte corresponde a la intrusión de un granito mesocrístico, relativamente rico en biotita, que aflora con muy buena continuidad y en forma homogénea. En oposición, el sector sur del granito penetra menos en las unidades sedimentarias, mostrando una cobertura pedológica más importante, y sólo exhibe afloramientos de cierta importancia en el límite sur del área prospectada. Por lo tanto, seleccionamos al grupo de instrucción para la clase GRMI entre las estaciones de muestreo sobre la zona norte de la intrusión, más representativa del granito de Minas.

Intentamos que los grupos de instrucción no fueran de efectivo inferior a 10.

- Selección de los elementos discriminantes

Una vez establecido el conjunto de instrucción, procedimos a seleccionar entre los elementos analizados a aquellos capaces de discernir las muestras de dicho conjunto según su origen litológico.

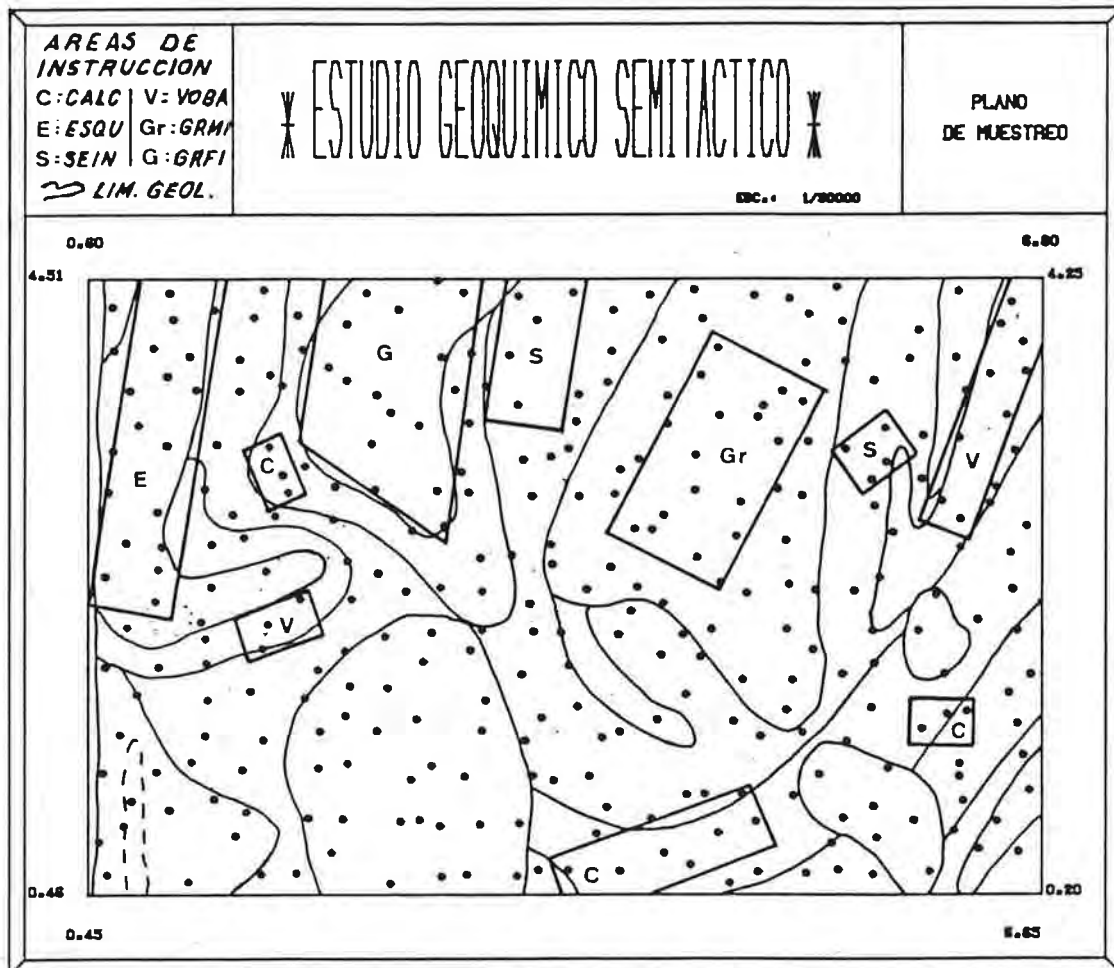


Figura 71

En la tabla 24 exponemos las medias aritméticas y geométricas para las diferentes clases que constituyen el conjunto de instrucción. Efectuamos un análisis de varianza sobre los tenores brutos y los transformados logarítmicamente de los elementos que enseñan una variabilidad considerable. Los resultados se presentan en la tabla 25. Apreciamos que para el Fe, Mn, Ba, V, Cr, Ni, Co, Cu, Zn, Be e Y, la litología es un factor altamente significativo a un nivel de confianza del 99.9%, tanto para los datos naturales como para los log-transformados. Las variaciones de las concentraciones de P parecen ser independientes del contexto geológico, confirmando que el comportamiento de este elemento depende esencialmente de los fenómenos de dispersión secundaria. Para los tenores en Pb, la litología se manifiesta como una fuente de variabilidad trivial; pero al transformar logarítmicamente los datos se detecta una diferencia significativa a un 1% de significación. El cobre estaría asociado a la anomalía geoquímica originada por la dispersión de una mineralización, y sus tenores no enseñan una dependencia clara con las variaciones en la roca madre. Por consiguiente, no involucramos a esta variable geoquímica en el análisis discriminante; minimizando, de esta forma, el menoscabo de la clasificación original debido a la ocurrencia de mineralizaciones en las litologías a describir.

En el cuadro de la figura 72 se aprehenden más fácilmente las diferencias entre las medias geométricas de los distintos grupos de instrucción. El Fe, Mn, Cr y V denotan ser capaces de discriminar entre las seis clases seleccionadas. De acuerdo con los resultados del ANVA observamos en el diagrama que el P y el Pb no permiten resolver entre las litologías de las diferentes clases. No obstante, advertimos que los grupos del granito de Minas y de los granitos a grano fino son los más ricos en Pb; y a su vez estos últimos enseñan el tenor medio en P más elevado. El Y y el Be permiten discernir entre el grupo de instrucción GRMI de los restantes, mientras que el Ba lo hace con la clase GRFI. El Ni y Co distinguen muy bien a los volcanitos básicos de las

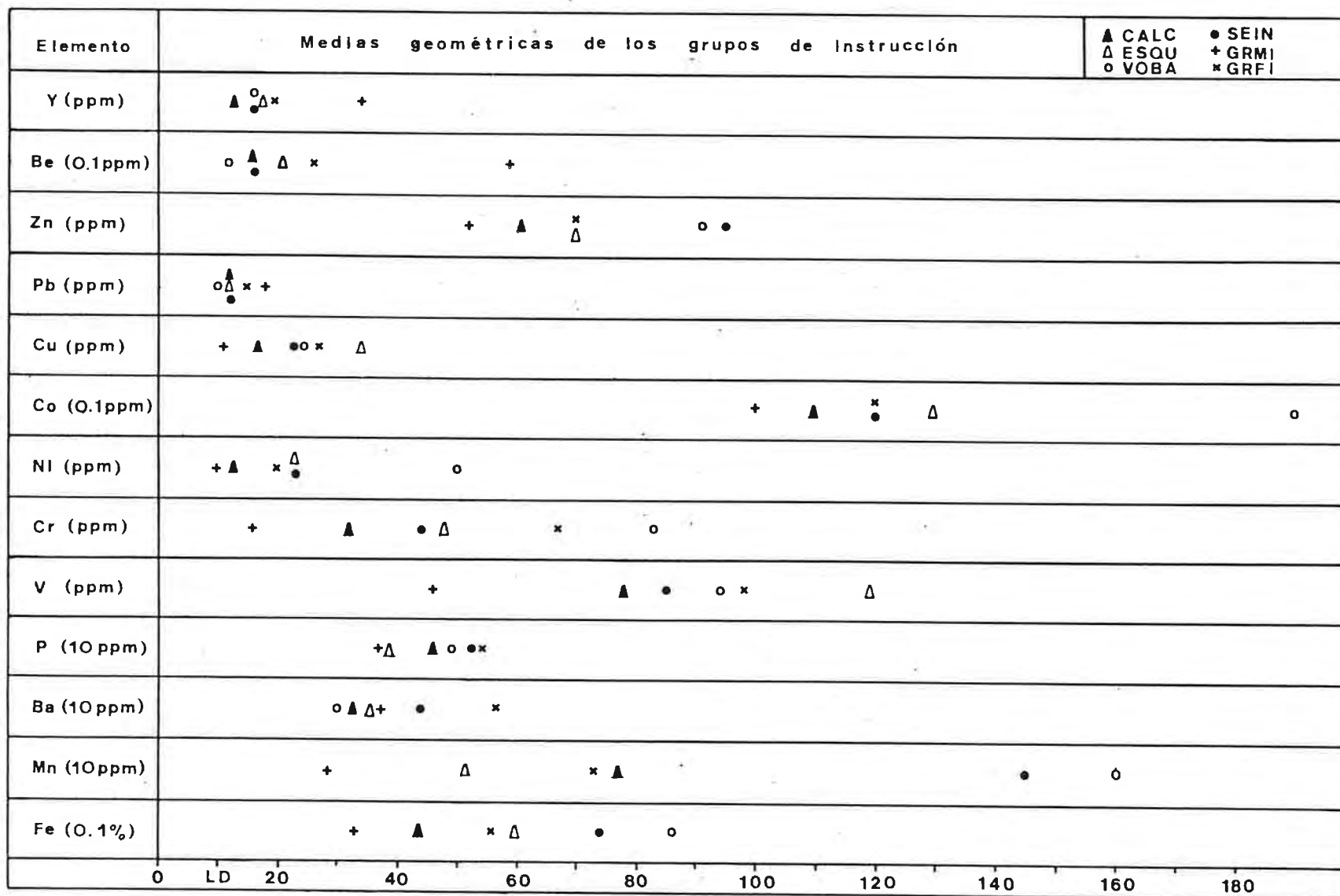


Figura 72

Elemento	CALC		ESQU		SEIN		VOBA		GRMI		GRFI		Total	
	\bar{x}	G	\bar{x}	G	\bar{x}	G	\bar{x}	G	\bar{x}	G	\bar{x}	G	\bar{x}	G
Fe ₂ O ₃ (%)	4.5	4.4	6.4	6.0	7.7	7.4	8.8	8.6	3.4	3.3	5.9	5.6	5.8	5.4
Mn (ppm)	872	774	627	515	744	449	1963	1605	311	286	753	726	1209	878
Ba	338	331	374	361	445	440	302	300	375	373	573	567	423	405
P	510	461	407	385	522	522	517	492	395	371	584	541	459	424
V	80	78	122	119	87	85	95	94	47	46	102	98	83	77
Pb	13	12	13	12	14	12	<10	<10	18	18	15	15	15	13
Zn	63	61	73	70	101	95	93	91	53	52	72	70	77	72
Cu	18	17	40	34	25	23	25	24	11	11	28	27	29	24
Ni	13	13	24	23	24	23	52	50	<10	<10	21	20	21	18
Cr	33	32	49	48	45	44	87	83	16	16	75	67	41	36
Co	11	11	13	13	13	12	20	19	<10	<10	12	12	12	12
Be	1.7	1.6	2.2	2.1	1.7	1.6	1.3	1.2	6.1	5.9	2.9	2.6	2.6	2.2
Y	14	13	20	18	17	16	17	16	36	34	21	19	21	20
B	12	11	14	13	13	12	13	12	<10	<10	12	11	12	12
Número de muestras	12		10		10		11		12		10		309	

Tabla 24: Comparación de las medias aritméticas, \bar{x} , y geométricas, G, para los diferentes grupos de instrucción definidos en el mapa de la figura 71.

Elemento	Datos brutos			F'	Datos log-transformados			
	S.C. total (64)	S.C. factor (5)	S.C. residual (59)		S.C. total (64)	S.C. factor (5)	S.C. residual (59)	F'
Fe ₂ O ₃ (%)	0.3983E3	0.2216E3	0.1767E3	14.8 AS	0.1182E2	0.6863E1	0.4960E1	16.3 AS
Mn (ppm)	0.4872E8	0.2407E8	0.2466E8	11.5 AS	0.4486E2	0.2405E2	0.2081E2	13.6 AS
Ba	0.7004E6	0.4488E6	0.2517E6	21.0 AS	0.4219E1	0.2511E1	0.1708E1	17.3 AS
P	0.2552E7	0.3227E6	0.2230E7	1.7 NS	0.9708E1	0.1330E1	0.8379E1	1.9 NS
V	0.6073E5	0.3453E5	0.2620E5	15.6 AS	0.8818E1	0.5744E1	0.3073E1	22.1 AS
Pb	0.2823E4	0.4358E3	0.2396E4	2.1 NS	0.8369E1	0.2098E1	0.6271E1	4.0 S
Zn	0.5914E5	0.1979E5	0.3935E5	5.9 AS	0.6937E1	0.3046E1	0.3891E1	9.2 AS
Cu	0.1168E5	0.5043E4	0.6638E4	9.0 AS	0.1593E2	0.8248E1	0.7678E1	12.7 AS
Ni	0.1552E5	0.1127E5	0.4253E4	31.3 AS	0.2153E2	0.1651E2	0.5017E1	38.8 AS
Cr	0.5803E5	0.3643E5	0.2160E5	19.9 AS	0.2454E2	0.1903E2	0.5518E1	40.7 AS
Co	0.1376E4	0.6191E3	0.7568E3	9.6 AS	0.5725E1	0.2604E1	0.3121E1	9.8 AS
Be	0.2354E3	0.1814E3	0.5399E2	39.6 AS	0.2608E2	0.1752E2	0.8557E1	24.2 AS
Y	0.1003E5	0.3716E4	0.6310E4	7.0 AS	0.1813E2	0.6436E1	0.1169E2	6.5 AS

Tabla 25: Resultados del análisis de varianza efectuado sobre los grupos de instrucción con y sin log-transformación de los datos. S.C.: suma de cuadrados. Los valores críticos de F para $n_1=5$ y $n_2=59$ grados de libertad son: $F_{0.05}=2.37$, $F_{0.01}=3.34$, $F_{0.001}=4.76$. Entre paréntesis damos los grados de libertad de las fuentes de variación.

NS: no significativo; S: significativo y AS: altamente significativo.

* GRUPOS TEST : CR - NI *

* GRUPOS TEST : FE - NI *

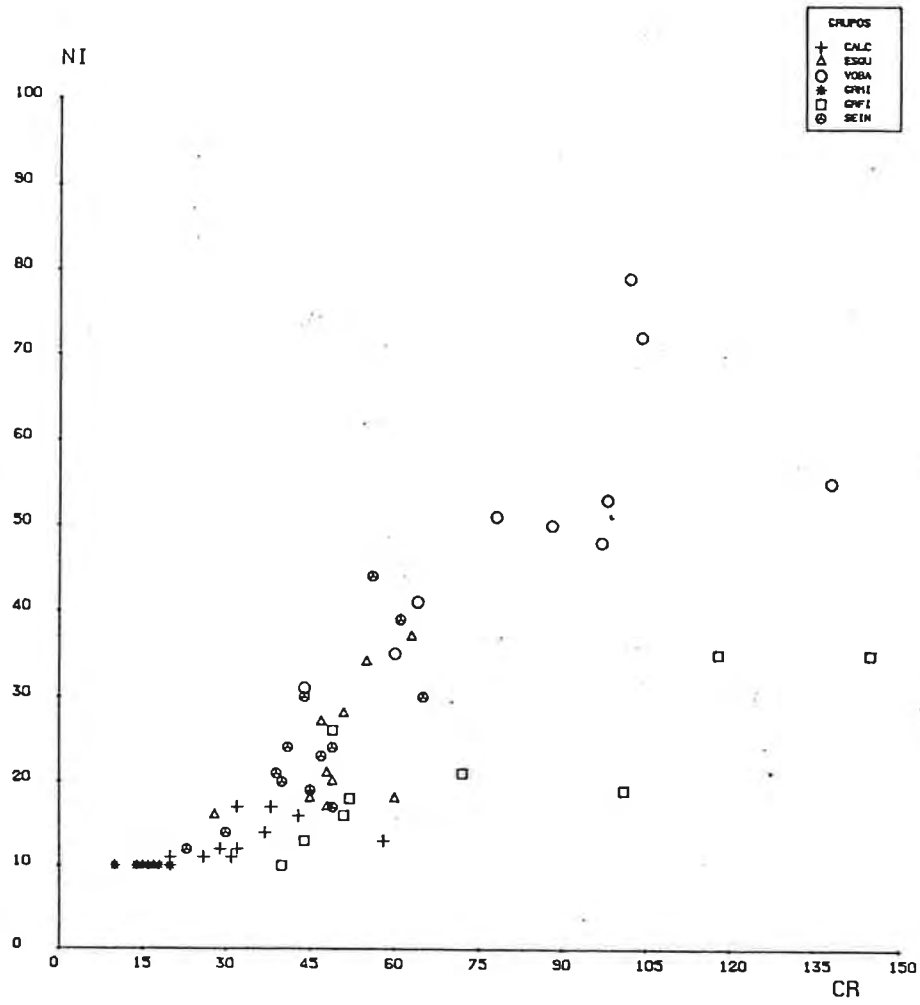


Figura 73a

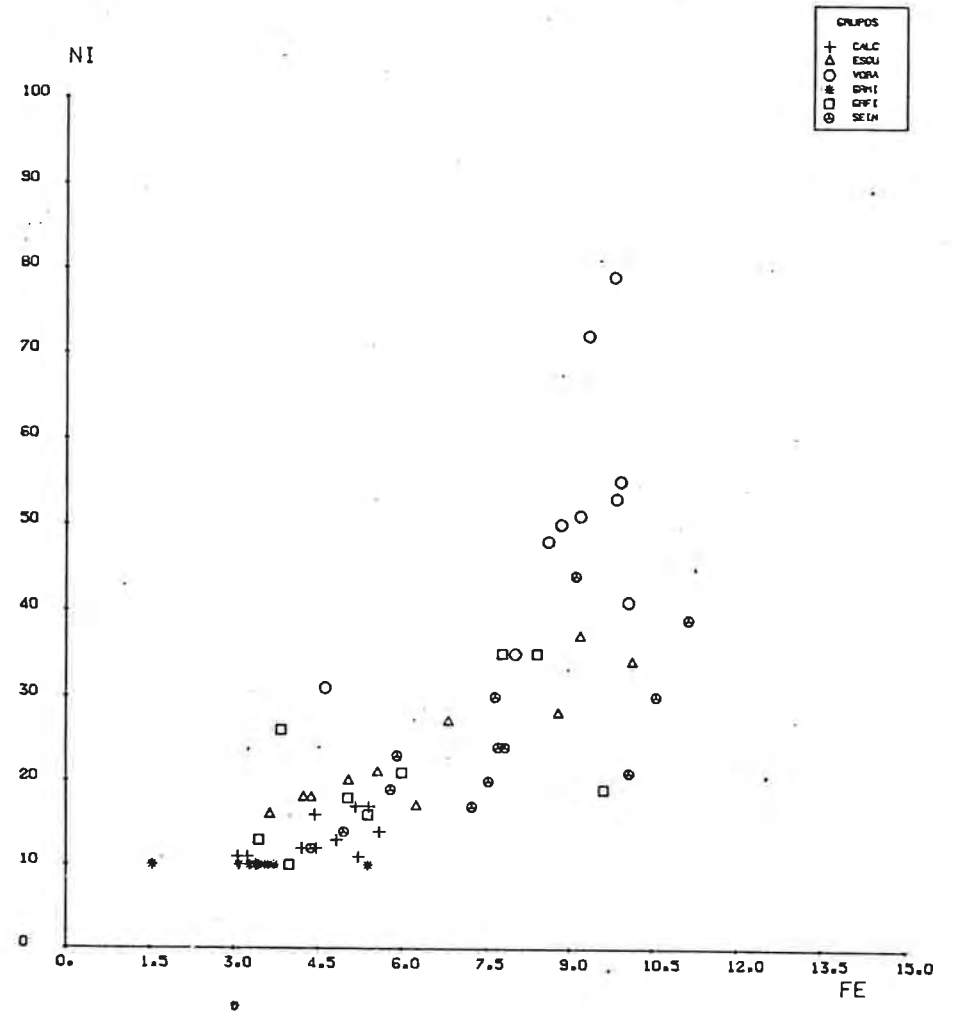


Figura 73b

* GRUPOS TEST : CU - V *

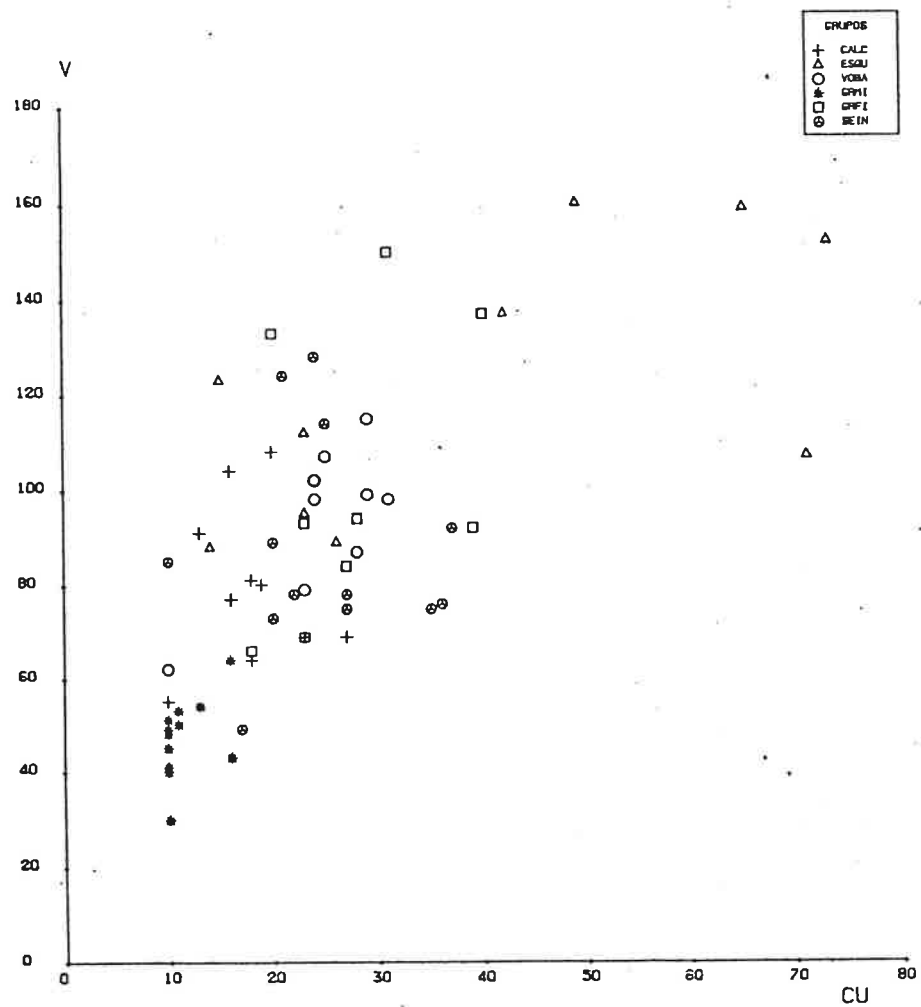


Figura 75a

* GRUPOS TEST : CO - NI *

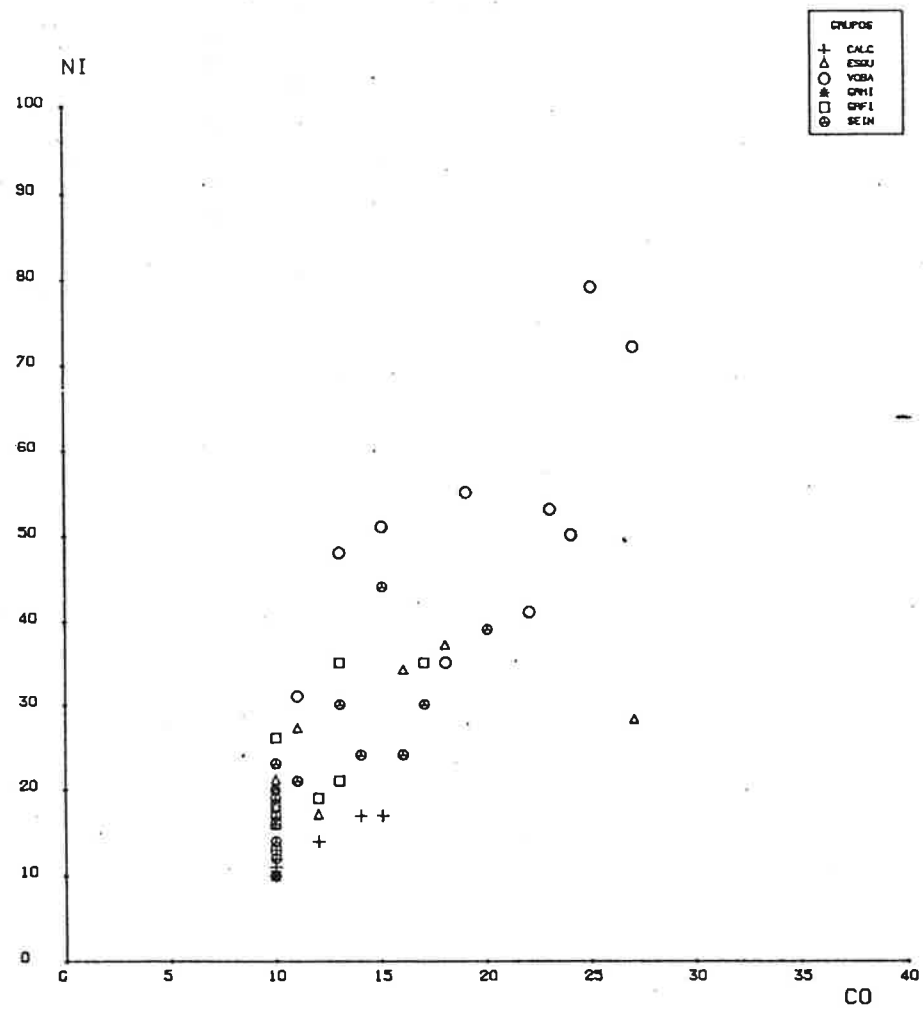


Figura 75b

demás clases. Por su lado, el zinc diferencia relativamente bien a los grupos VOBA y SEIN de los otros cuatro, si bien dicha discriminación sería más fácilmente realizable por los tenores en Mn. A priori parece que el Fe, Mn, Cr, V, Ni, Co, Be y Ba son los elementos más adecuados para discriminar a la totalidad de las clases.

También es útil analizar los diagramas de repartición binarios de las figuras 73 a 75 donde se puede evaluar la capacidad de las diferentes cuplas de elementos, que determinan el plano de proyección, para diferenciar las muestras pertenecientes a los diferentes grupos de instrucción. Los tenores de Cr, Ni y Fe varían sensiblemente de una modalidad a otra de la clasificación litológica. En el plano Ba-Be es posible distinguir al grupo GRMI del GRFI. El Co caracteriza esencialmente a las localidades sobre los metavolcanitos básicos del resto de la nube de puntos-muestras de instrucción. El diagrama Cu-V señala algunas muestras sobre los esquistos sericíticos con tenores relativamente elevados en cobre.

3.2.3.3. Elección del modelo y afectación de las muestras

Ensayamos diferentes modelos discriminantes variando el número y la naturaleza de los elementos involucrados. Los tratamientos se efectuaron tanto sobre los datos brutos como log-transformados, apreciándose en general una mejor clasificación en los análisis con transformación. Esto es explicable, si consideramos que los valores logarítmicos dan mayor importancia a los tenores bajos, que describen los fondos normales de los diferentes facies petrológicos. En todos los cálculos fueron excluidas las muestras con tenores excepcionales en Mn, Cu y Pb, en forma similar a los tratamientos ya discutidos.

En la tabla 26 presentamos los porcentajes de correcta clasificación alcanzados en algunos de los ensayos llevados a cabo con log-transformación de los datos. Estos resultados manifies-

Ensayo nº	Elementos discriminantes	Porcentaje de clasificación correcta					
		CALC	ESQU	SEIN	VOBA	GRMI	GRFI
1	Fe, Mn, Cr, Ni, Co, Ba, Be	64	58	70	90	100	80
2	Fe, Mn, Cr, Ni, Co, Be	63	50	50	90	100	90
3	Fe, Mn, V, Ni, Ba, Be	63	75	83	100	100	80
4	Fe, Mn, V, Cr, Ba, Be	73	75	75	90	100	90
5	Fe, Mn, Cr, Ni, Pb, Be	63	58	50	90	100	90
6	Fe, Mn, V, Ni, Co, Be	73	66	75	100	100	80
7	Fe, Mn, V, Cr, Ni, Co, Be	90	83	50	100	100	100
8	Fe, Mn, Cr, Ni, Ba, Be, Y	63	66	66	90	100	90
9	Fe, Mn, V, Cr, Ni, Co, Ba, Be	73	75	90	100	100	90

Tabla 26: Comparación de las eficiencias de algunos de los modelos discriminantes ensayados. En todos los casos los datos fueron log-transformados.

tan que las clases VOBA, GRMI y GRFI son perfectamente diferenciables por modelos discriminantes con seis variables explicativas. La clase GRMI muestra siempre el mayor porcentaje de correcta clasificación. En los ensayos aquí presentados, el 100% de las muestras de este grupo de instrucción es adecuadamente afectado por las funciones discriminantes, valor que sólo se modifica al no log-transformar los tenores o al eliminar algún elemento férrido directriz, p. ej.: Cr, Ni, o Be, que constituye la variable discriminante por excelencia de esta clase granítica. La eficiencia de la clasificación para los grupos VOBA y GRFI es superior al 80%, y depende esencialmente de los elementos máficos involucrados en el análisis, Fe, Mn, V, Cr, Ni, Co, etc.. Para los facies sedimentarios los porcentajes de adjudicación correcta de la modalidad litológica son medios, y el V (ESQU) y Ba (SEIN) parecen jugar un rol preponderante en su discriminación. Esto concuerda con lo expuesto a propósito del diagrama de la figura 72. La inclusión en el análisis del Y, Pb y B como variables discriminativas no mejora sensiblemente al modelo de clasificación.

El grupo de elementos capaces de originar una reclasificación aceptable del conjunto de instrucción está aparentemente conformado por Fe, Mn, V, Cr, Ni, Co, Be (ensayo 7) y también Ba (ensayo 9). Luego de examinar la naturaleza y la ubicación de las muestras mal clasificadas en estos dos análisis, y considerando la ineficiencia del modelo 7 para afectar las muestras del grupo SEIN, hallamos más adecuado utilizar en el tratamiento definitivo las mismas variables discriminativas empleadas en el ensayo 9. En la tabla 27 detallamos los resultados de la reclasificación de las muestras de instrucción según las funciones discriminantes establecidas en este último ensayo.

Advertimos que las muestras que transmutan de clase corresponden, en general, a tomas de suelos consolidados sobre los aluviones de cuencas de drenajes donde las rocas pendiente arriba

de la estación de muestreo no concuerdan con las de la clase que representan. Tal es el caso del espécimen 8075 (CALC), extraído de una localidad que recibe aportes de esquistos sericíticos, y del 8243 (CALC), recolectado sobre el conjunto de grauvacas, cuarcitas y siltitos. La muestra 8022 (GRFI) tomada de un drenaje de las calizas recortadas por la intrusión microgranítica del NW fue afectada a la clase CALC. Las muestras de suelos 8046 y 8049 (ESQU) fueron extraídas en el contacto de los esquistos sericíticos con las calizas dolomíticas del NW. La reclasificación de estas muestras es, por consiguiente, explicable en términos de los caracteres topo-hidrográficos de las localidades de muestreo. Notamos que la presencia de un medio carbonatado modifica rápidamente el comportamiento geoquímico de la cobertura pedológica, particularmente cuando la transición litológica involucra un facies de quimismo ácido. A nivel pedogeoquímico ésto se explica por una variación importante en el pH, parámetro físicoquímico directriz de la dispersión química de los elementos.

Grupos de instrucción	Grupos afectados por ADI						Eficiencia del modelo
	CALC	ESQU	SEIN	VOBA	GRMI	GRFI	
CALC	8	1 ^a	2 ^b	0	0	0	73
ESQU	2 ^c	9	0	0	0	1 ^d	75
SEIN	1 ^e	0	9	0	0	0	90
VOBA	0	0	0	10	0	0	100
GRMI	0	0	0	0	12	0	100
GRFI	1 ^f	0	0	0	0	8	90

Tabla 27: Tabla de afectación de las muestras de instrucción por el modelo discriminante 9. Las muestras mal clasificadas son: a: 8075; b: 8043,8244; c: 8046 y 8049; d: 8042; e: 8004 y f: 8022.

A partir de los grupos de instrucción depurados según la afectación resultante del modelo 9, efectuamos el análisis discriminante definitivo, que condujo a un 100% de correcta clasifi-

cación para el conjunto global de instrucción. Las funciones discriminantes establecidas fueron luego empleadas para la afectación de la totalidad de las muestras. En la tabla 28 se ofrecen las formas lineales discriminativas con los respectivos poderes discriminantes (valores propios) de los cinco ejes extraídos, junto a los componentes de las variables respecto a los mismos. Las figuras 76 y 77 exponen las proyecciones de las variables y de los baricentros de los grupos de instrucción sobre los distintos planos factoriales. Las clases VOBA y GRMI son diferenciadas de las demás por el primer eje, caracterizado esencialmente por los elementos ferromagnesianos (Ni, Cr, Fe, Mn, Co y V) en oposición al Be. Este eje muestra un poder discriminante elevado de 0.88. La segunda dirección factorial, con un poder discriminante de 0.77, está definida por el Ba, V y parcialmente Cr, y distingue a la modalidad GRFI. Esta clase exhibe un enriquecimiento en Ba y también los metales de la primera serie de transición respecto a la clase GRMI, manifestando un quimismo intermedio entre el polo básico de las metalavas básicas (VOBA) y el polo ácido aquí representado por la intrusión norte del granito de Minas (GRMI). El tercer eje posee un poder de discriminación bastante elevado (0.64) con Ba y Be en oposición a V, como los componentes esenciales, confirmando lo dicho anteriormente a propósito de que el Ba y V posibilitan la diferenciación de alguna modalidad sedimentaria: SEIN respecto a CALC y ESQU. La cuarta dirección tiene un poder discriminativo apreciable (0.51) y está determinada por Be y Ba con leve peso negativo de Mn y Fe. En el plano factorial 1-4 queda en evidencia como estos dos últimos elementos contribuyen a la distinción entre las clases CALC, ESQU y SEIN. El V define a la quinta dirección factorial con un poder discriminante medio (0.45), y diferencia particularmente a ESQU de las demás modalidades.

Una vez formulado el modelo geoquímico a partir de los grupos de instrucción, empleamos las funciones discriminantes resultantes para la afectación total de las muestras (excluidas aquellas con tenores excepcionales en Mn) a las clases finales. Pa-

M	*	1	*	2	*	3	*	4	*	5
VALOR PROPIO	*	0.877	*	0.774	*	0.641	*	0.514	*	0.446
PORCENTAJE	*	26.973	*	23.785	*	19.701	*	15.815	*	13.725

FORMAS LINEALES

U(FE2X)	*	0.183	*	-0.260	*	-1.122	*	-0.803	*	0.869
U(MN)	*	0.052	*	0.140	*	0.133	*	-0.327	*	-0.776
U(BA)	*	0.112	*	0.536	*	-0.711	*	0.036	*	0.194
U(V)	*	-0.671	*	0.685	*	1.116	*	-0.346	*	0.872
U(CR)	*	0.622	*	0.479	*	0.310	*	1.399	*	-1.634
U(NI)	*	0.613	*	-0.680	*	-0.523	*	0.088	*	1.540
U(CO)	*	-0.235	*	-0.289	*	0.610	*	0.440	*	-0.585
U(BE)	*	-0.381	*	-0.185	*	0.047	*	0.722	*	0.130

COMPONENTES DE LAS VARIABLES

M	*	1	*	2	*	3	*	4	*	5
F(FE2X)	*	0.764	*	0.066	*	0.031	*	-0.161	*	0.339
F(MN)	*	0.716	*	0.058	*	-0.044	*	-0.375	*	-0.142
F(BA)	*	-0.025	*	0.655	*	-0.590	*	0.253	*	0.067
F(V)	*	0.526	*	0.488	*	0.468	*	-0.042	*	0.432
F(CR)	*	0.841	*	0.312	*	0.263	*	0.220	*	0.146
F(NI)	*	0.878	*	-0.110	*	0.186	*	0.115	*	0.341
F(CO)	*	0.636	*	-0.264	*	0.218	*	0.106	*	0.153
F(BE)	*	-0.697	*	-0.129	*	-0.396	*	0.499	*	0.096

Tabla 28: Formas lineales discriminativas con los respectivos poderes discriminantes (valores propios) y los componentes de las variables sobre los cinco ejes extraídos por ADI.

* ADI : PLANO FACTORIAL 1-2 *

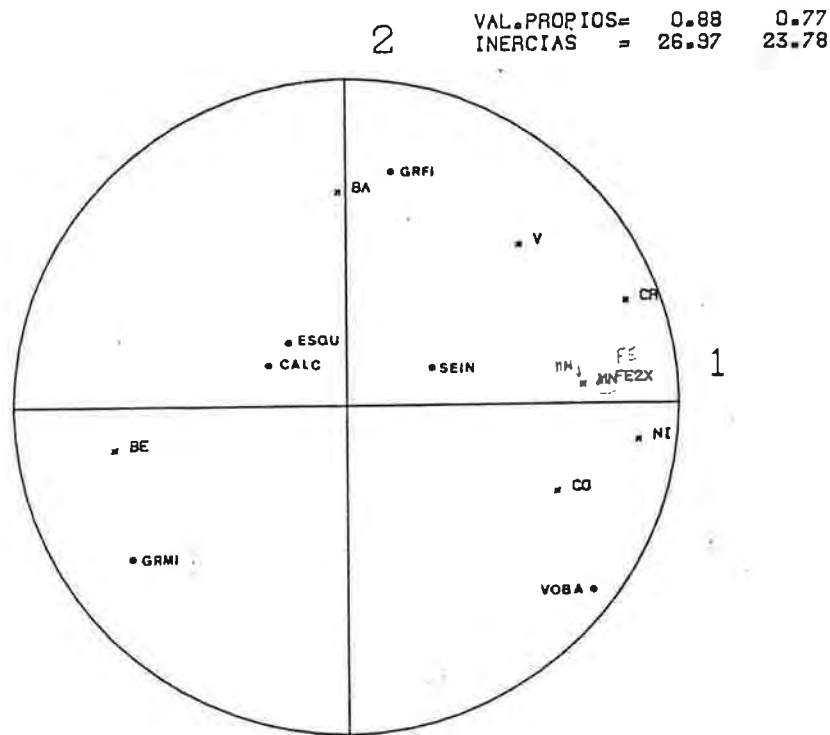


Figura 76a

* ADI : PLANO FACTORIAL 1-3 *

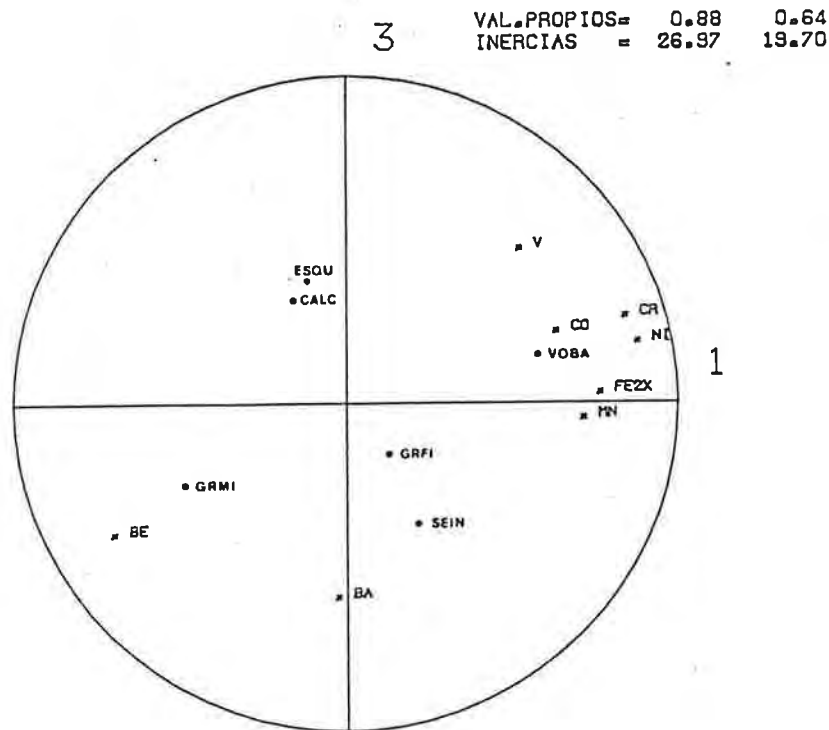


Figura 76b

* ADI : PLANO FACTORIAL 1-4 *

4

VAL. PROPIOS= 0.88 0.51
 INERCIAS = 26.97 15.82

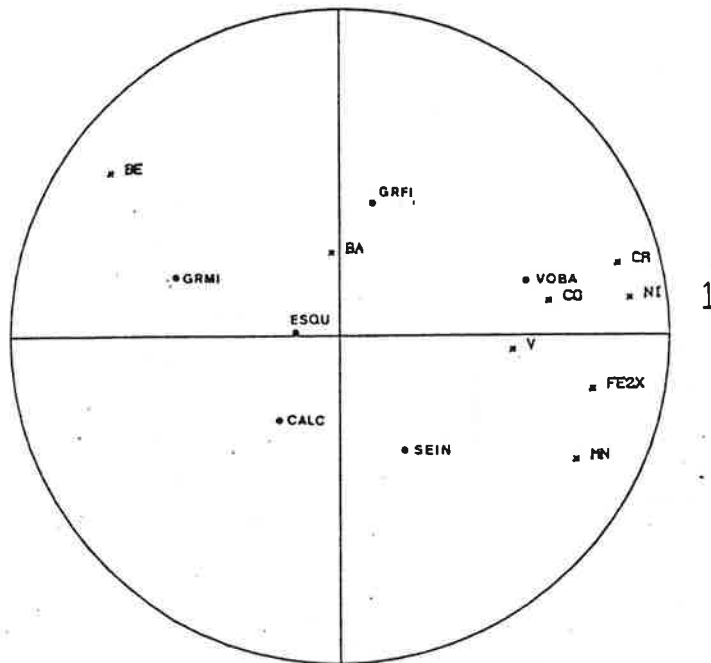


Figura 77a

* ADI : PLANO FACTORIAL 1-5 *

5

VAL. PROPIOS= 0.88 0.45
 INERCIAS = 26.97 13.72

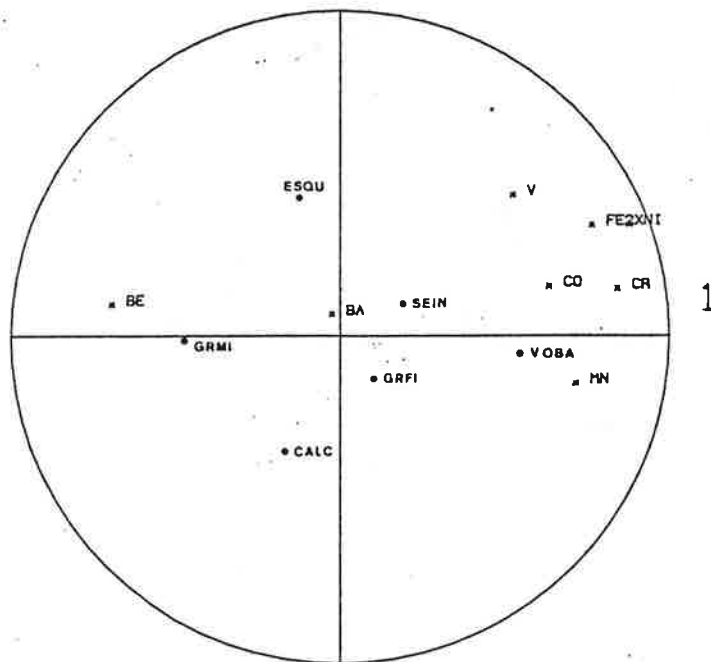


Figura 77b

ra ello se calcula en el subespacio de los cinco ejes factoriales la distancia, métrica euclídeana, de cada punto-muestra al centro de gravedad de las diferentes clases, y se lo agrega a aquella clase para la cual la distancia es mínima. La clasificación total de las muestras se exhibe en los mapas de las figuras 78 y 79 a escala 1/50000 y 1/20000, respectivamente. En estos mapas hemos indicado los límites de las unidades geológicas (Midot D., 1983). En el mapa a escala 1/20000 se detalla la red hidrográfica, de forma tal de facilitar la interpretación de la afectación de las muestras pedológicas en función de su grado de aloctonía en los vectores horizontales.

Con el fin de estimar la eficiencia del análisis discriminante efectuado, determinamos el porcentaje de muestras bien clasificadas a partir del mapa de la figura 79 (tabla 29). Para ello tomamos en cuenta las propiedades vectoriales de las muestras, definidas por la dirección y el sentido de los drenajes.

Clases litológicas	Clases definidas por ADI						Total	% de correcta clasificación
	CALC	ESQU	SEIN	VOBA	GRMI	GRFI		
CALC	23	5	19	2	1	6	56	41
ESQU	5	13	3	0	0	3	24	54
SEIN	18	15	54	3	0	5	95	57
VOBA	1	2	5	22	0	1	31	71
GRMI-N	3	0	1	1	39	1	45	87
GRMI-S	10	1	6	0	0	13	30	43
GRFI	1	3	6	1	0	13	24	54

Tabla 29: Comparación de las clases definidas por análisis discriminante con las establecidas en base a la cartografía geológica de Midot D. (1983). CALC: calizas dolomíticas, dolomitas; ESQU: esquistos sericíticos; SEIN: conjunto de grauvacas, cuarcitas, filitas, ...; VOBA: metavolcanitos básicos; GRMI-N: granito de Minas Norte; GRMI-S: granito de Minas Sur y GRFI: granito y granodioritas a grano fino.

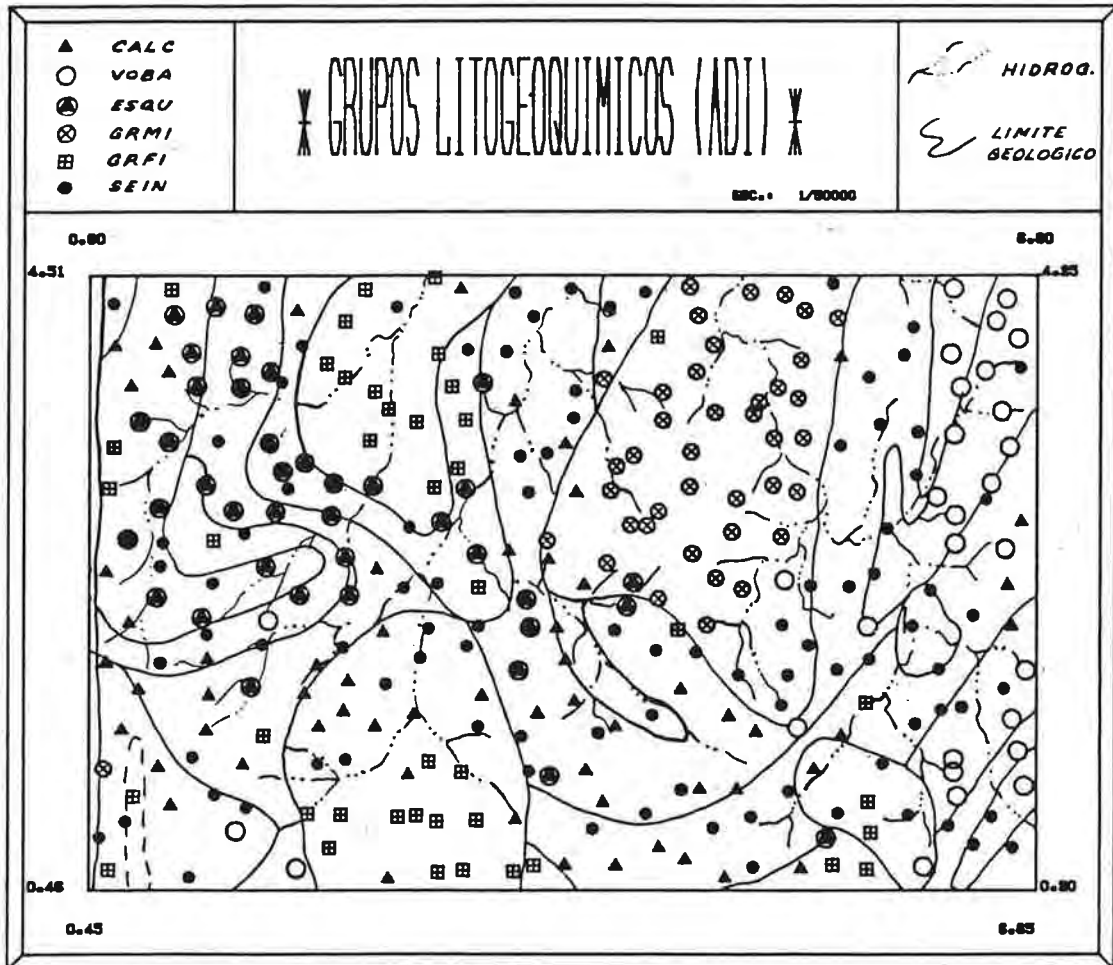


Figura 78

Consideramos por separado las intrusiones norte y sur del granito de Minas. Apreciamos que la mejor concordancia entre los resultados del ADI y la información geológica de Midot D. (1983) la denota el granito de Minas Norte (GRMI-N), en el cual las muestras mal clasificadas corresponden a localidades próximas a la periferia de dicha intrusión (ver mapa de la figura 79). La clasificación también puede considerarse exitosa para los volcanitos básicos (71%). Las muestras afectadas a otras clases se ubican sobre la banda de metalavas básicas rodeando a los esquistos sericiticos del N del área estudiada. En esa zona la clasificación ha sido aparentemente distorsionada por las condiciones pedomorfológicas del medio. Por el contrario, la totalidad de las muestras sobre las rocas verdes al este del granito de Minas fueron agregadas correctamente a la clase VOBA y, asimismo, parece que su zona de influencia, por lo menos a nivel pedológico, es sensiblemente mayor que la expuesta en el mapa geológico. Las muestras sobre los granitos y granodioritas a grano fino se manifiestan bien caracterizadas por el modelo discriminante, si bien aparecen desplazadas hacia el este para la intrusión del NW y hacia el sur las del microgranito cataclástico del SE. Las localidades de muestreo correspondientes a la intrusión sur del granito de Minas fueron afectadas a la clase GRFI (43%) en el límite sur del sector, donde el granito aflora con cierta continuidad. El resto de las muestras sobre esta unidad se agregaron a las modalidades sedimentarias CALC y SEIN. La clase SEIN está bien definida en la zona E del área, entre las metalavas básicas y la intrusión norte del granito de Minas, al igual que entre este último y el microgranito del NW. En lo que respecta a las litologías calcáreas observamos una afectación mediocre (41%) de las muestras, con un 34% de sus localidades afectadas a la clase SEIN. En algunos casos esta adjudicación es explicable por el carácter aluvial del material muestreado. La clase ESQU desborda considerablemente del área de la correspondiente unidad litológica; y aparentemente, la agregación de las muestras a esta clase ha sido distorsionada por la anomalía geoquímica de Cu-V. El grupo de

instrucción ESQU exhibe los tenores medios en Cu (34ppm) y V (119ppm) más elevados, en buen acuerdo con los tenores líticos fundamentales publicados por Turekian K.K. y Wedepohl K.H. (1961) para estas rocas sedimentarias ($\bar{x}_{Cu}=45ppm$ y $\bar{x}_V=130ppm$). Por consiguiente, al efectuar la afectación global todas las muestras con tenores elevados en Cu y V fueron agregadas a este grupo. Las localidades que conforman la anomalía geoquímica se clasificaron entonces, en la modalidad ESQU. La eliminación de estas observaciones previa a la afectación final, difícil de realizar en forma objetiva, o la inclusión de una clase adicional representativa de la mineralización, seguramente hubiese mejorado este aspecto de la discriminación de las muestras.

Algunos "cortes litogeoquímicos", que representan las fluctuaciones de los tenores de ciertos elementos a lo largo de tres perfiles cuyo posicionamiento es indicado en el mapa de la figura 79, permiten examinar los resultados del ADI en base a las variaciones de los tenores con los cambios litológicos.

En el perfil AA' (figura 80) se puede apreciar claramente el comportamiento geoquímico, bien definido en el medio supergénico, de la intrusión norte del granito de Minas. Aquí quedan en evidencia sus bajos tenores en Ni y Co (<10ppm) y su muy buen contraste en Be (5-7ppm) e Y (30-40ppm). Los microgranitos muestran tenores en Ni, Co y Ba ligeramente más elevados y un contenido en Be oscilando entre los 3 y 5ppm. A su vez, los suelos desarrollados sobre las metalavas básicas, y también las calizas adyacentes, son pobres en Be, Y y Ba, y ricos en Ni y Co en comparación con las demás unidades. El espectro pedogeoquímico similar a las lavas básicas de esta banda de calizas es explicable en términos de fenómenos secundarios (aloctonía del material muestreado sobre las calizas, dispersión hidromórfica similar debido a invariancia en el pH, ...). El conjunto de grauvacas, cuarcitas y filitas no exhiben un determinado carácter particular.

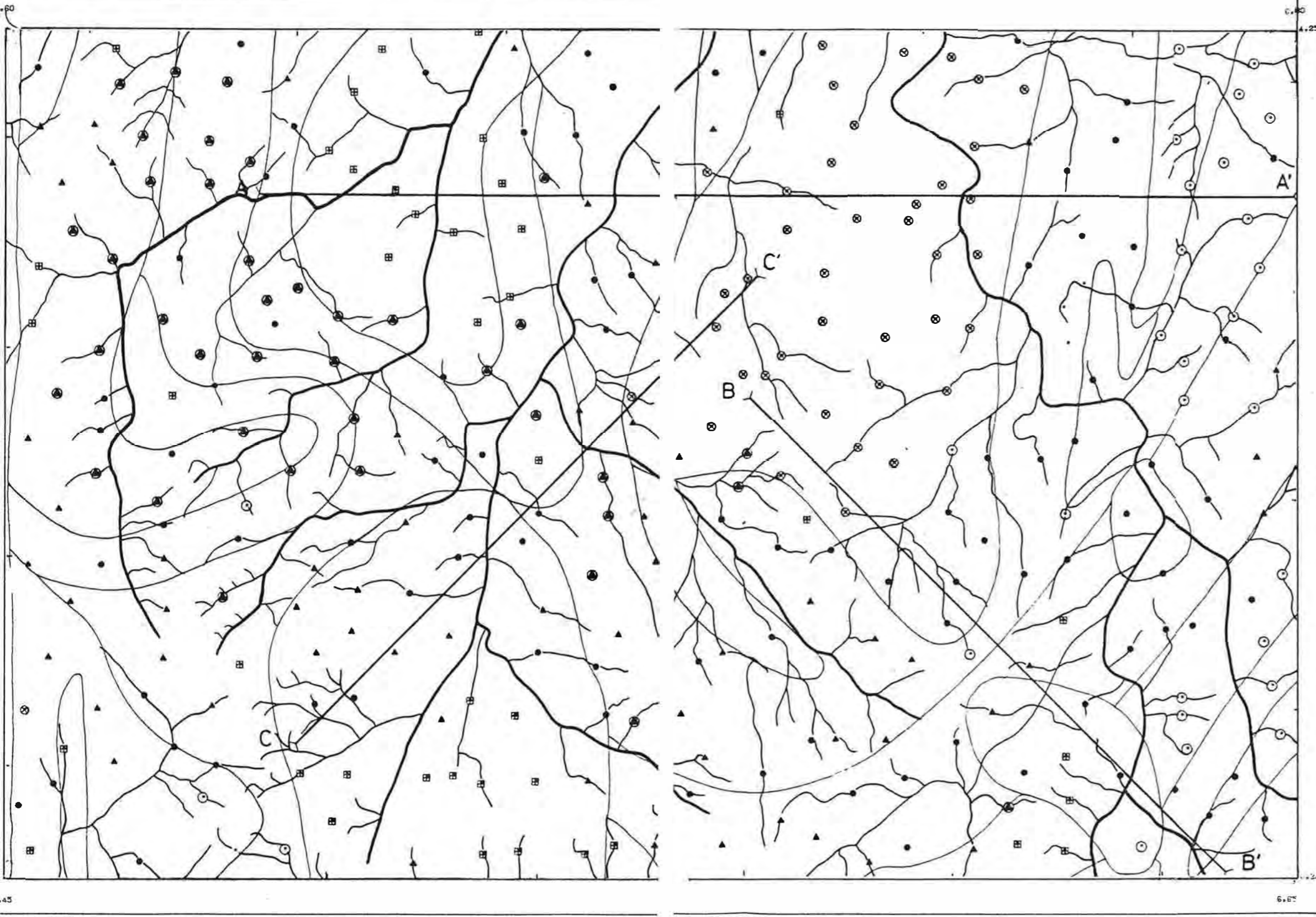
DNMG

MIE-DINAMIGE-DAPG

* GRUPOS LITOGEOQUÍMICOS (ADI) *

REPRESENTACION
DE GRUPOS

ESC. 1/20000



LEYENDA

GRUPOS

FIGURAS

CALC

▲

VOBA

○

ESQU

◼●

GRMI

◼⊗

GRFI

◼#

SEIN

●

LIM. GEOLOGICO

—

FIG. Nº 79

En el perfil BB' (figura 81) advertimos una señal geoquímica diferente para el microgranito cataclástico del SE y la intrusión norte del granito de Minas. En efecto, la intrusión microgranítica es sensiblemente más rica en Cr, Ni, Ba y más pobre en Be. En el contacto del granito de Minas con el conjunto sedimentario reparamos en una diferenciación zonal (facies de borde?) a tenores relativamente altos en Cr y Ni. Las localidades de muestreo sobre esta zona fueron afectadas a la clase SEIN y también VOBA (ver mapa de la figura 79).

El examen del corte litogeoquímico CC' (figura 82) pone de manifiesto el diferente comportamiento geoquímico del granito de Minas Norte en comparación con la intrusión sur del mismo, más pobre en Y y Be y con mayor contenido en Ni y demás elementos máficos.

Si consideramos que las muestras fueron recolectadas, en la mayoría de los casos, de sedimentos de fondo de hondonada o de suelos consolidados sobre las vertientes laterales de los drenajes, donde la filiación del material muestreado con la roca madre no es inmediata, se comprende perfectamente los porcentajes de correcta afectación del análisis discriminante. Efectivamente, la clasificación de las muestras, en particular de las tomadas sobre rocas ígneas (GRMI, GRFI y VOBA), según el modelo geoquímico establecido por el ADI efectuado es aceptable, si tomamos en cuenta que el soporte real de la observación difiere del supuesto debido a la modificación de la relación rocas-suelos-sedimentos por la acción de diferentes factores fisiográficos (topografía, pedología, ...). Esto junto con los cambios graduales en la geología explica la presencia de muestras transicionales, que en sentido estricto no corresponden a ninguna de las modalidades litológicas consideradas. Al haber realizado una afectación total de las muestras forzamos la adjudicación de aquellas de carácter ambiguo a una modalidad litológica determinada. El empleo de un módulo de afectación con test de rechazo hubiese paliado

* CORTE LITOGEOQUIMICO A-A' *

————— NI
 -x-x-x-x-x- CO
 - - - - - BA x 0.10
 + + + + + BE x 10.00
 ooooooooooooo Y

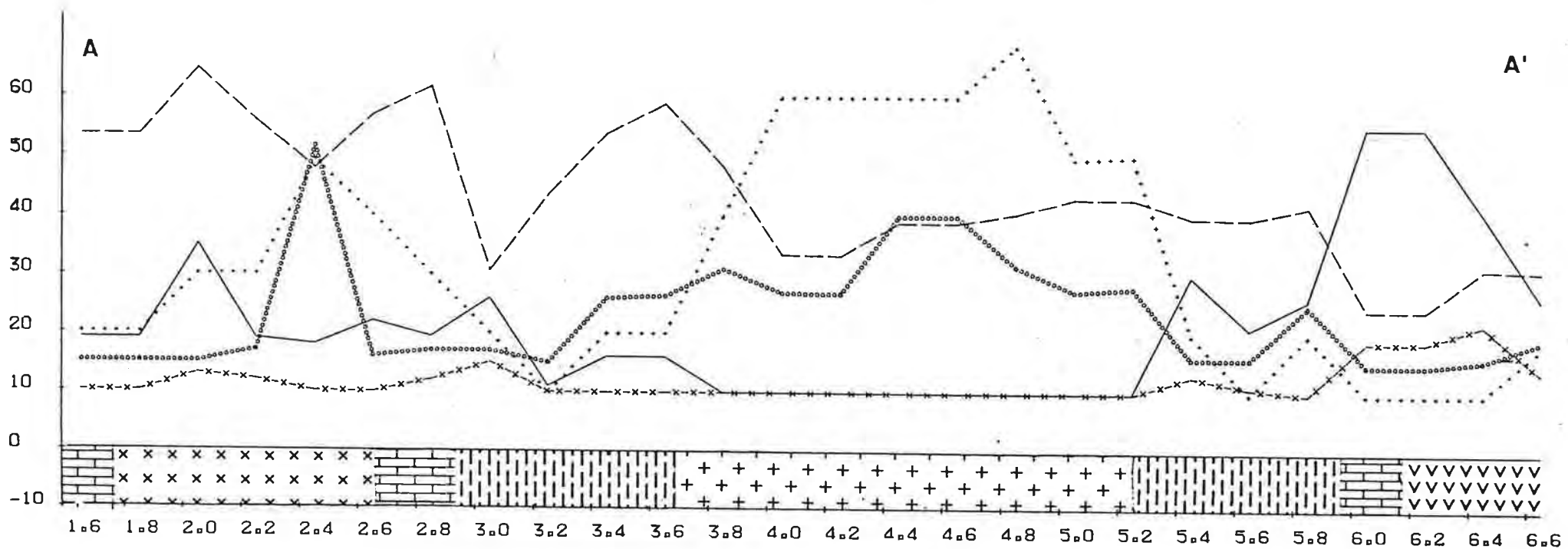


Figura 80

* CORTE LITOGEOQUIMICO B-B' *

————— NI
 -x-x-x-x-x- CR
 - - - - - BA x 0.10
 BE x 10.00
 oooooooooooooo Y

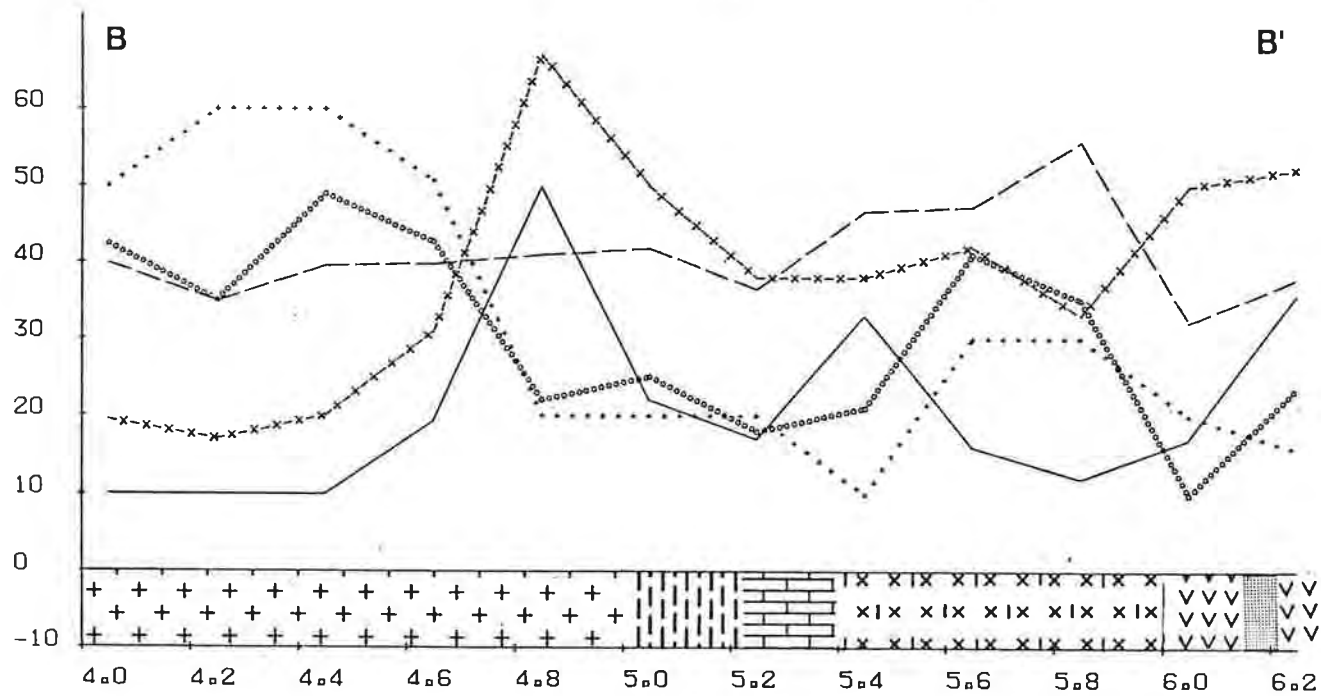


Figura 81

* CORTE LITOGEOQUIMICO C-C' *

_____ NI
 -x-x-x-x-x- CO
 - - - - - PB
 BE × 10.00
 Y

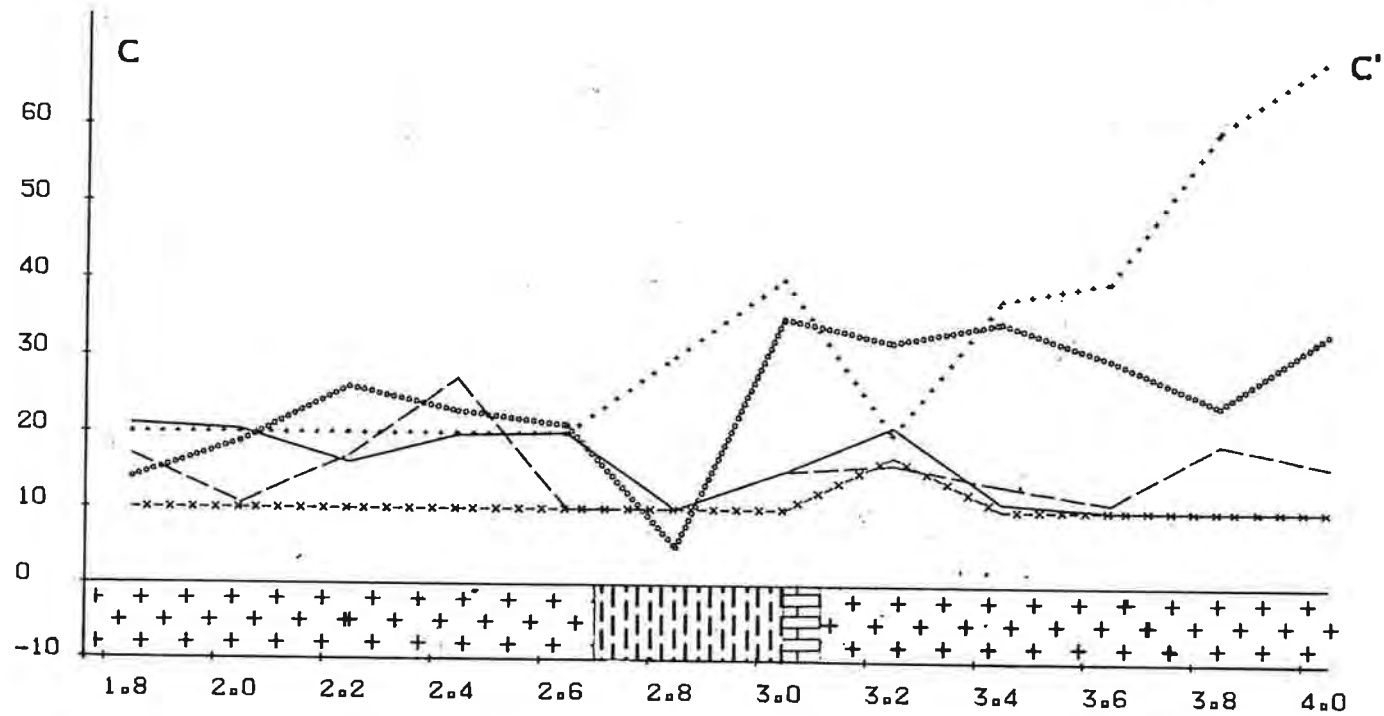


Figura 82

esta dificultad, conformando con este tipo de muestras una clase adicional indiferenciada por su composición química. Desde un punto de vista de la interpretación, esta clase no posee ninguna significación, y preferimos utilizar la afectación total de las muestras. Un muestreo estrictamente en suelos (horizonte C), de carácter localizado, seguramente hubiese permitido alcanzar una mejor clasificación de las localidades, al aumentar la interdependencia del material muestreado con el substrato rocoso. También es importante recordar que la precisión del mapa geológico, establecido a escala 1/50000, no es la óptima para llevar a cabo una interpretación fina de los resultados del ADI. Por otro lado, el examen del mapa de la figura 79 enseña que la configuración del muestreo, independientemente de la naturaleza del mismo, no es eficiente para la descripción de algunas unidades litológicas para las cuales la densidad de muestreo es demasiado baja. A su vez, se pudo comprobar en el campo que el contexto geológico es relativamente complejo, con términos sedimentarios alternando rápidamente (a veces con potencia métrica), señalando la necesidad de un control litológico mayor, posiblemente a escala 1/20000 o 1/10000.

En lo que respecta a las litologías sedimentarias, la clasificación a partir de los elementos trazas no parece muy exitosa. Es de esperar que la inclusión en el tratamiento de algunos macrocomponentes (Si, Al, Ca, Mg, C inorgánico, ...) aumente sustancialmente la eficiencia de la discriminación de estas litofacies.

Sin embargo, el análisis discriminante efectuado ha originado conjuntos pedogeoquímicos homogéneos, generalmente con una buena coherencia espacial, que en algunos casos (GRMI, GRFI y VOBA) se corresponden con las unidades litológicas cartografiadas al 1/50000 por Midot D. (1983).

3.2.3.4. Examen de las clases geoquímicas definidas por análisis factorial discriminante

En esta sección investigaremos rápidamente el comportamiento de las clases pedogeoquímicas establecidas por análisis discriminante. Nos detendremos principalmente en la consideración de los conjuntos GRMI, GRFI y VOBA que, como vimos, concuerdan arealmente en forma aceptable con el granito de Minas Norte, las intrusiones de granitos a grano fino y el granito de Minas Sur y, los metavolcanitos básicos, respectivamente.

- Distribución de los elementos

Las tablas 30 a 35 exponen los parámetros estadísticos elementales para las diferentes clases de muestras. Los coeficientes de variación son considerablemente menores respecto a los evaluados sobre la población total (tabla 5). Esto patentiza la mayor homogeneidad de los conjuntos de muestras establecidos por ADI. Para la clase ESQU se aprecia un coeficiente de variación relativamente elevado para el Cu (V=71%) y también Pb (V=58%), que como ya explicamos, se debe a la afectación de las localidades anómalas en Cu-V dentro de esta modalidad. En la clase GRFI el Pb exhibe un coeficiente de variación del 94% debido a la localidad 8254, con un tenor puntual excepcional en Pb (133ppm).

La comparación de las medias geométricas y medianas estimadas para los diferentes conjuntos pedogeoquímicos sobre las distribuciones truncadas superiormente para el Mn, Cu y Pb, es muy interesante (tabla 36). En la tabla 37 proporcionamos los resultados de un análisis de varianza con comparación múltiple de las medias de los tenores log-transformados para las distintas clases por el test SNK de Student-Newman-Keuls (Zar J.H., 1974; Sachs L., 1978). Las diferencias entre las medias de los seis conjuntos geoquímicos, examinadas por el análisis de varianza, son altamente significativas a un nivel de 0.001 para todos los elementos considerados a excepción del P, para el cual es signi-

* PARAMETROS ESTADISTICOS ELEMENTALES *

CLASE PEDUSEQUIMICA 'CALC'

* ELEMENTO *	* NUMERO DE MUESTRAS *	* VALOR MINIMO *	* VALOR MAXIMO *	* MEDIA ARITM. *	* DESVIACION ESTANDAR *	* COEFICIENTE VARIACION *	* MEDIA GEOMETRICA *	* DESVIACION GEOMETRICA *
FE2X	61	2.80	11.25	4.54	1.25	0.28	4.41	1.34
MN	61	334.00	3869.00	1043.51	595.63	0.57	930.44	1.70
BA	61	196.00	724.00	359.59	91.83	0.26	347.78	1.33
P	61	145.00	942.00	414.16	169.54	0.38	412.33	1.55
V	61	45.00	152.00	74.66	17.71	0.24	72.76	1.37
B	61	10.00	19.00	11.70	2.39	0.20	11.49	1.35
AS	61	20.00	95.00	21.28	9.60	0.45	20.55	1.27
PB	61	10.00	27.00	13.30	4.35	0.33	12.72	1.42
ZN	61	41.00	121.00	64.93	14.49	0.22	63.47	1.30
CU	61	10.00	102.00	23.77	14.04	0.59	21.45	1.54
NI	61	10.00	31.00	13.59	3.63	0.27	13.20	1.39
CR	61	18.00	58.00	30.36	7.50	0.25	29.53	1.44
AG	61	0.20	0.30	0.20	0.09	0.45	0.20	1.26
SH	61	20.00	21.00	20.02	0.13	0.01	20.00	1.18
MO	61	2.00	9.00	2.13	0.90	0.42	2.06	1.23
LU	61	10.00	29.00	11.10	2.96	0.27	10.85	1.31
BE	61	1.00	5.00	1.95	0.87	0.44	1.78	1.66
Y	61	5.00	40.00	17.80	8.16	0.46	16.01	1.69

Tabla 30

* PARAMETROS ESTADISTICOS ELEMENTALES *

CLASE PEDAGOGICA *ESCU*

* ELEMENTO *	* NUMERO DE * * MUESTRAS *	* VALOR * * MINIMO *	* VALOR * * MAXIMO *	* MEDIA * * ARITM. *	* DESVIACION * * ESTANDAR *	* COEFICIENTE * * VARIACION *	* MEDIA * * GEOMETRICA *	* DESVIACION * * GEOMETRICA *
* FEZX *	* 39 *	* 3.65 *	* 12.88 *	* 7.18 *	* 2.41 *	* 0.34 *	* 6.80 *	* 1.41 *
* MN *	* 39 *	* 138.00 *	* 1749.00 *	* 769.00 *	* 447.57 *	* 0.58 *	* 637.69 *	* 2.10 *
* BA *	* 39 *	* 194.00 *	* 517.00 *	* 340.15 *	* 67.91 *	* 0.20 *	* 333.01 *	* 1.33 *
* P *	* 39 *	* 157.00 *	* 788.00 *	* 432.21 *	* 141.90 *	* 0.33 *	* 409.03 *	* 1.45 *
* V *	* 39 *	* 76.00 *	* 313.00 *	* 139.26 *	* 57.03 *	* 0.41 *	* 130.00 *	* 1.53 *
* B *	* 39 *	* 10.00 *	* 23.00 *	* 12.23 *	* 3.67 *	* 0.30 *	* 11.79 *	* 1.53 *
* PB *	* 39 *	* 10.00 *	* 47.00 *	* 13.72 *	* 7.96 *	* 0.58 *	* 12.43 *	* 1.67 *
* LN *	* 39 *	* 47.00 *	* 249.00 *	* 83.56 *	* 31.91 *	* 0.38 *	* 79.59 *	* 1.60 *
* CU *	* 39 *	* 14.00 *	* 224.00 *	* 68.77 *	* 49.09 *	* 0.71 *	* 54.19 *	* 2.10 *
* NI *	* 39 *	* 13.00 *	* 41.00 *	* 23.85 *	* 6.88 *	* 0.29 *	* 22.91 *	* 1.38 *
* CR *	* 39 *	* 26.00 *	* 69.00 *	* 47.26 *	* 10.12 *	* 0.21 *	* 46.06 *	* 1.54 *
* AG *	* 39 *	* 0.20 *	* 0.60 *	* 0.22 *	* 0.17 *	* 0.78 *	* 0.21 *	* 1.51 *
* W *	* 39 *	* 10.00 *	* 11.00 *	* 10.03 *	* 0.16 *	* 0.02 *	* 10.02 *	* 1.11 *
* MU *	* 39 *	* 2.00 *	* 4.00 *	* 2.05 *	* 0.32 *	* 0.16 *	* 2.04 *	* 1.40 *
* CU *	* 39 *	* 10.00 *	* 27.00 *	* 13.49 *	* 5.20 *	* 0.39 *	* 12.72 *	* 1.55 *
* BE *	* 39 *	* 1.00 *	* 7.00 *	* 2.13 *	* 1.01 *	* 0.48 *	* 1.97 *	* 1.56 *
* Y *	* 39 *	* 9.00 *	* 62.00 *	* 24.51 *	* 10.66 *	* 0.43 *	* 22.46 *	* 1.59 *

Tabla 31

* PARAMETROS ESTADISTICOS ELEMENTALES *

CLASE PEQUEQUIMICA 'SEIN'

* ELEMENTO *	* NUMERO DE * * MUESTRAS *	* VALOR * * MINIMO *	* VALOR * * MAXIMO *	* MEDIA * * ARITM. *	* DESVIACION * * ESTANDAR *	* COEFICIENTE * * VARIACION *	* MEDIA * * GEOMETRICA *	* DESVIACION * * GEOMETRICA *
FEZX	94	2.35	11.75	6.62	1.88	0.28	6.37	1.42
MN	94	127.00	4920.00	1438.97	854.51	0.58	1264.25	1.89
BA	94	310.00	837.00	462.13	108.93	0.24	450.57	1.29
P	94	161.00	1039.00	493.69	196.82	0.40	455.16	1.56
V	94	38.00	128.00	80.22	16.38	0.20	78.52	1.33
B	94	10.00	26.00	12.38	3.83	0.31	11.92	1.42
AS	94	20.00	154.00	21.87	14.20	0.65	20.73	1.26
PB	94	10.00	47.00	12.79	5.96	0.47	12.01	1.44
ZN	94	40.00	274.00	89.45	34.44	0.38	84.86	1.45
CU	94	10.00	82.00	25.88	9.65	0.37	24.50	1.44
NI	94	10.00	53.00	23.01	8.85	0.38	21.61	1.47
CR	94	13.00	68.00	40.52	10.39	0.26	39.14	1.38
AG	94	0.20	-0.30	0.20	0.09	0.46	0.20	1.22
MU	94	2.00	5.00	2.05	0.37	0.18	2.03	1.30
CO	94	10.00	26.00	12.09	3.34	0.28	11.72	1.33
BE	94	1.00	4.00	2.03	0.61	0.30	1.94	1.46
Y	94	5.00	36.00	20.53	6.13	0.30	19.42	1.44
NB	94	10.00	21.00	10.31	1.51	0.15	10.23	1.29

* PARAMETROS ESTADISTICOS ELEMENTALES *

CLASE PEDOSEQUIMICA "VGBA"

* ELEMENTO *	* NUMERO DE * * MUESTRAS *	* VALOR * * MINIMO *	* VALOR * * MAXIMO *	* MEDIA * * ARITM. *	* DESVIACION * * ESTANDAR *	* COEFICIENTE * * VARIACION *	* MEDIA * * GEOMETRICA *	* DESVIACION * * GEOMETRICA *
* FE2X *	* 29 *	* 3.98 *	* 11.07 *	* 7.87 *	* 1.91 *	* 0.24 *	* 7.61 *	* 1.52 *
* MN *	* 29 *	* 167.00 *	* 4840.00 *	* 1952.14 *	* 1217.68 *	* 0.62 *	* 1522.59 *	* 2.49 *
* BA *	* 29 *	* 244.00 *	* 444.00 *	* 317.33 *	* 43.48 *	* 0.13 *	* 314.15 *	* 1.55 *
* P *	* 29 *	* 168.00 *	* 729.00 *	* 406.45 *	* 156.36 *	* 0.34 *	* 437.22 *	* 1.57 *
* V *	* 29 *	* 51.00 *	* 127.00 *	* 87.45 *	* 19.44 *	* 0.22 *	* 85.13 *	* 1.31 *
* B *	* 29 *	* 10.00 *	* 29.00 *	* 11.83 *	* 4.13 *	* 0.35 *	* 11.38 *	* 1.44 *
* Pb *	* 29 *	* 10.00 *	* 28.00 *	* 11.14 *	* 3.68 *	* 0.33 *	* 10.78 *	* 1.62 *
* ZN *	* 29 *	* 40.00 *	* 150.00 *	* 90.41 *	* 21.41 *	* 0.24 *	* 87.78 *	* 1.51 *
* CU *	* 29 *	* 10.00 *	* 31.00 *	* 23.90 *	* 4.35 *	* 0.18 *	* 23.38 *	* 1.41 *
* HI *	* 29 *	* 17.00 *	* 79.00 *	* 40.07 *	* 15.99 *	* 0.40 *	* 36.84 *	* 1.59 *
* CR *	* 29 *	* 38.00 *	* 146.00 *	* 74.69 *	* 30.03 *	* 0.40 *	* 69.36 *	* 1.59 *
* CU *	* 29 *	* 10.00 *	* 27.00 *	* 16.62 *	* 5.25 *	* 0.32 *	* 15.82 *	* 1.63 *
* BE *	* 29 *	* 1.00 *	* 3.00 *	* 1.52 *	* 0.65 *	* 0.43 *	* 1.40 *	* 1.69 *
* Y *	* 29 *	* 7.00 *	* 34.00 *	* 18.07 *	* 5.66 *	* 0.31 *	* 17.22 *	* 1.50 *

* PARAMETROS ESTADISTICOS ELEMENTALES *

CLASE PEDREGUILLA QUIMICA 'GRMI'

* ELEMENTO *	* NUMERO DE * * MUESTRAS *	* VALOR * * MINIMO *	* VALOR * * MAXIMO *	* MEDIA * * ARITM. *	* DESVIACION * * ESTANDAR *	* COEFICIENTE * * VARIACION *	* MEDIA * * GEOMETRICA *	* DESVIACION * * GEOMETRICA *
* FE2X *	* 40 *	* 1.54 *	* 5.39 *	* 3.31 *	* 0.67 *	* 0.20 *	* 3.25 *	* 1.39 *
* MN *	* 40 *	* 124.00 *	* 1230.00 *	* 442.10 *	* 291.30 *	* 0.66 *	* 367.54 *	* 1.90 *
* BA *	* 40 *	* 306.00 *	* 486.00 *	* 405.07 *	* 48.22 *	* 0.12 *	* 401.58 *	* 1.27 *
* P *	* 40 *	* 184.00 *	* 871.00 *	* 361.92 *	* 122.30 *	* 0.34 *	* 345.09 *	* 1.55 *
* V *	* 40 *	* 27.00 *	* 66.00 *	* 44.45 *	* 9.18 *	* 0.21 *	* 43.45 *	* 1.37 *
* B *	* 40 *	* 10.00 *	* 12.00 *	* 10.07 *	* 0.36 *	* 0.04 *	* 10.06 *	* 1.20 *
* PB *	* 40 *	* 10.00 *	* 29.00 *	* 18.97 *	* 5.06 *	* 0.27 *	* 18.27 *	* 1.52 *
* ZN *	* 40 *	* 36.00 *	* 78.00 *	* 53.40 *	* 10.47 *	* 0.20 *	* 52.35 *	* 1.31 *
* CU *	* 40 *	* 10.00 *	* 18.00 *	* 11.38 *	* 2.34 *	* 0.21 *	* 11.17 *	* 1.50 *
* NI *	* 40 *	* 10.00 *	* 11.00 *	* 10.02 *	* 0.16 *	* 0.02 *	* 10.02 *	* 1.11 *
* CR *	* 40 *	* 10.00 *	* 21.00 *	* 15.30 *	* 3.26 *	* 0.21 *	* 14.54 *	* 1.31 *
* SN *	* 40 *	* 20.00 *	* 22.00 *	* 20.05 *	* 0.32 *	* 0.02 *	* 20.03 *	* 1.40 *
* W *	* 40 *	* 10.00 *	* 11.00 *	* 10.02 *	* 0.16 *	* 0.02 *	* 10.02 *	* 1.11 *
* MU *	* 40 *	* 2.00 *	* 3.00 *	* 2.07 *	* 0.28 *	* 0.13 *	* 2.06 *	* 1.46 *
* BE *	* 40 *	* 3.00 *	* 8.00 *	* 5.47 *	* 1.26 *	* 0.23 *	* 5.33 *	* 1.31 *
* Y *	* 40 *	* 11.00 *	* 81.00 *	* 30.15 *	* 12.65 *	* 0.42 *	* 27.86 *	* 1.63 *

Tabla 34

* PARAMETROS ESTADISTICOS ELEMENTALES *

CLASE PEDREGUIMICA 'GRF1'

* ELEMENTO *	* NUMERO DE * * MUESTRAS *	* VALOR * * MINIMO *	* VALOR * * MAXIMO *	* MEDIA * * ARITM. *	* DESVIACION * * ESTANDAR *	* COEFICIENTE * * VARIACION *	* MEDIA * * GEOMETRICA *	* DESVIACION * * GEOMETRICA *
* FE2X *	* 42 *	* 3.15 *	* 9.61 *	* 5.00 *	* 1.51 *	* 0.30 *	* 4.80 *	* 1.46 *
* MN *	* 42 *	* 122.00 *	* 1380.00 *	* 693.60 *	* 322.65 *	* 0.47 *	* 606.09 *	* 1.84 *
* BA *	* 42 *	* 380.00 *	* 922.00 *	* 569.55 *	* 130.01 *	* 0.23 *	* 555.21 *	* 1.40 *
* P *	* 42 *	* 222.00 *	* 1290.00 *	* 480.67 *	* 218.28 *	* 0.45 *	* 442.93 *	* 1.54 *
* V *	* 42 *	* 52.00 *	* 150.00 *	* 81.83 *	* 22.50 *	* 0.27 *	* 79.09 *	* 1.41 *
* B *	* 42 *	* 10.00 *	* 27.00 *	* 12.02 *	* 3.79 *	* 0.32 *	* 11.59 *	* 1.45 *
* PB *	* 42 *	* 10.00 *	* 133.00 *	* 20.45 *	* 19.69 *	* 0.96 *	* 16.94 *	* 1.79 *
* LN *	* 42 *	* 39.00 *	* 115.00 *	* 67.93 *	* 17.95 *	* 0.26 *	* 65.66 *	* 1.51 *
* W *	* 42 *	* 10.00 *	* 52.00 *	* 26.12 *	* 8.84 *	* 0.34 *	* 24.52 *	* 1.49 *
* NI *	* 42 *	* 10.00 *	* 43.00 *	* 18.00 *	* 8.12 *	* 0.45 *	* 16.58 *	* 1.60 *
* CR *	* 42 *	* 21.00 *	* 145.00 *	* 52.60 *	* 25.74 *	* 0.49 *	* 47.75 *	* 1.64 *
* AG *	* 42 *	* 0.20 *	* 0.50 *	* 0.21 *	* 0.15 *	* 0.71 *	* 0.20 *	* 1.46 *
* W *	* 42 *	* 10.00 *	* 18.00 *	* 10.19 *	* 1.24 *	* 0.12 *	* 10.13 *	* 1.31 *
* MU *	* 42 *	* 2.00 *	* 5.00 *	* 2.21 *	* 0.66 *	* 0.30 *	* 2.15 *	* 1.44 *
* CO *	* 42 *	* 10.00 *	* 17.00 *	* 10.88 *	* 1.62 *	* 0.15 *	* 10.77 *	* 1.41 *
* BE *	* 42 *	* 1.00 *	* 6.00 *	* 2.98 *	* 1.07 *	* 0.36 *	* 2.79 *	* 1.54 *
* Y *	* 42 *	* 7.00 *	* 64.00 *	* 19.95 *	* 11.60 *	* 0.58 *	* 17.83 *	* 1.73 *
* NB *	* 42 *	* 10.00 *	* 14.00 *	* 10.17 *	* 0.77 *	* 0.08 *	* 10.14 *	* 1.31 *

Elemento	CALC		ESQU		SEIN		VOBA		GRMI		GRFI		Total	
	G	m	G	m	G	m	G	m	G	m	G	m	G	m
Fe ₂ O ₃ (%)	4.4	4.3	6.8	6.8	6.4	6.1	7.6	8.3	3.2	3.4	4.8	4.7	5.4	5.3
Mn (ppm)	930	877	638	628	1264	1314	1523	1849	367	334	609	658	878	901
Ba	348	365	333	344	451	424	314	321	401	406	555	546	405	400
P	412	427	409	422	455	464	437	486	345	354	443	415	424	424
V	73	70	130	126	78	79	85	93	43	46	79	76	77	77
Pb	13	11	12	<10	12	<10	11	<10	18	18	16	15	13	11
Zn	63	63	80	81	85	79	88	93	52	53	66	66	72	72
Cu	21	20	41	60	24	24	23	24	11	<10	24	26	24	23
Ni	13	13	23	23	22	20	37	41	<10	<10	16	16	18	17
Cr	29	29	46	48	39	40	69	64	15	15	48	46	36	38
Co	11	<10	13	11	12	<10	16	15	<10	<10	11	<10	12	<10
Be	1.8	2	2.0	2	1.9	2	1.4	<1	5.3	5	2.8	3	2.2	2
Y	16	16	22	22	19	20	17	17	28	28	18	17	20	20
Número de muestras	61		39		94		29		40		42		309	

Tabla 36: Comparación de las medias geométricas, G, y medianas, m, para los diferentes conjuntos geoquímicos establecidos por análisis factorial discriminante.

Elemento	Suma de cuadrados			F'	Conclusión del test SNK ($\alpha=0.05$)
	Total (304)	Clases (5)	Residual (299)		
Fe ₂ O ₃ (%)	43.00	21.47	21.53	59.6 AS	GRMI < CALC = GRFI < <u>SEIN</u> <u>ESQU</u> <u>VOBA</u>
Mn (ppm)	168.76	61.34	107.41	34.2 AS	GRMI < GRFI = ESQU < CALC < SEIN = VOBA
Ba	22.84	10.03	12.80	46.9 AS	<u>VOBA</u> <u>ESQU</u> <u>CALC</u> <u>GRMI</u> <u>SEIN</u> < GRFI
P	45.40	2.36	43.04	3.28 S	GRMI = ESQU = CALC = VOBA = GRFI = SEIN
V	42.02	24.36	17.66	82.5 AS	GRMI < <u>CALC</u> <u>SEIN</u> <u>GRFI</u> <u>VOBA</u> < ESQU
Pb	39.81	8.09	31.72	15.2 AS	VOBA = SEIN = ESQU = CALC < GRFI = GRMI
Zn	29.86	9.47	20.39	27.8 AS	GRMI < CALC = GRFI < ESQU = SEIN = VOBA
Cu	84.37	42.07	42.30	58.9 AS	GRMI < CALC = VOBA = SEIN = GRFI < ESQU
Ni	68.79	40.19	28.60	84.0 AS	GRMI < CALC < GRFI < SEIN = ESQU < VOBA
Cr	77.72	52.22	25.50	122.4 AS	GRMI < CALC < SEIN < ESQU = GRFI < VOBA
Co	19.37	4.53	14.84	18.2 AS	<u>GRMI</u> <u>GRFI</u> <u>CALC</u> <u>SEIN</u> <u>ESQU</u> < VOBA
Be	82.59	44.16	38.43	68.7 AS	VOBA < CALC = SEIN = ESQU < GRFI < GRMI
Y	59.03	9.04	49.99	10.8 AS	<u>CALC</u> <u>VOBA</u> <u>GRFI</u> <u>SEIN</u> <u>ESQU</u> < GRMI

Tabla 37: Resultados del análisis de varianza y del test de Student-Newman-Keuls (SNK) para la comparación múltiple de las medias de los tenores log-transformados de las diferentes clases pegogeoquímicas establecidas por ADI. Entre paréntesis damos los grados de libertad de las fuentes de variación. Los valores críticos de F para $n_1=5$ y $n_2=299$ grados de libertad son: $F_{0.05}=2.24$, $F_{0.01}=3.08$, $F_{0.001}=4.22$.

S: significativo y AS: altamente significativo.

ficativa a un nivel de 0.01. La comparación de las medias por el procedimiento SNK señala que los tenores medios de las clases para Cr, Ni, Mn, Be, Fe y Zn son perfectamente diferenciables a un nivel de 0.05. Los suelos sobre la intrusión norte del granito de Minas (GRMI) son pobres en Fe, Mn, V, Zn, Cu, Ni, Cr y Co, y los más ricos en Be, Y y también Pb. En oposición a este conjunto pedogeoquímico, la clase VOBA es pobre en Be, Y, Pb y Ba y muestra el máximo contenido en Ni, Cr, Fe, Co, Mn y Zn. La clase GRFI exhibe el contenido en Ba más elevado y su tenor medio en Pb no difiere significativamente del correspondiente a GRMI. Sus contenidos en Be e Y son inmediatamente inferiores a los del conjunto GRMI y es sensiblemente más rico que éste en Mn, Fe, V, Zn, Cu, Ni y Cr. La clase GRFI se caracteriza, en consecuencia, por un quimismo ligeramente más básico que el del granito de Minas Norte (GRMI), y podría corresponderse con el de una roca granodiorítica. En relación con los conjuntos sedimentarios la clase CALC se manifiesta como la más pobre en metales trazas, y únicamente su tenor medio en Mn es significativamente mayor que el del conjunto ESQU y su contenido en Pb es más elevado que el de las clases ESQU y SEIN, si bien las diferencias son triviales. El conjunto ESQU exhibe las concentraciones medias máximas en Cu (G=41ppm) y V (G=130ppm). Excepto este caso los términos sedimentarios presentan un quimismo intermedio entre las metalavas básicas y las rocas graníticas. La clase ESQU, ligeramente enriquecida respecto a SEIN y CALC en los metales máficos, Fe, Ni, Cr, Co, V, ..., es la que más se aproxima al polo básico. La clase SEIN es la más rica en Mn y muestra un comportamiento intermedio entre los conjuntos ESQU y CALC.

A título indicativo damos en la tabla 38 los límites críticos calculados para Cu, Pb, Zn y V según el criterio estadístico, Gc^2 , para los diferentes conjuntos geoquímicos definidos por ADI y la población total de las muestras. De su confrontación se deduce que para algunas clases los valores críticos globales resultan demasiado elevados y para otras son inferiores

Conjunto geoquímico	Valores críticos, $G\epsilon^2$			
	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	V (ppm)
CALC	50	26	107	136
ESQU	129	35	204	304
SEIN	51	25	178	139
VOBA	46	28	200	144
GRMI	25	42	90	82
GRFI	54	46	150	157
Total	66	27	137	162

Tabla 38: Estimación estadística de los valores críticos de Cu, Pb, Zn, y V para las diferentes clases geoquímicas establecidas por análisis discriminante y la población total.

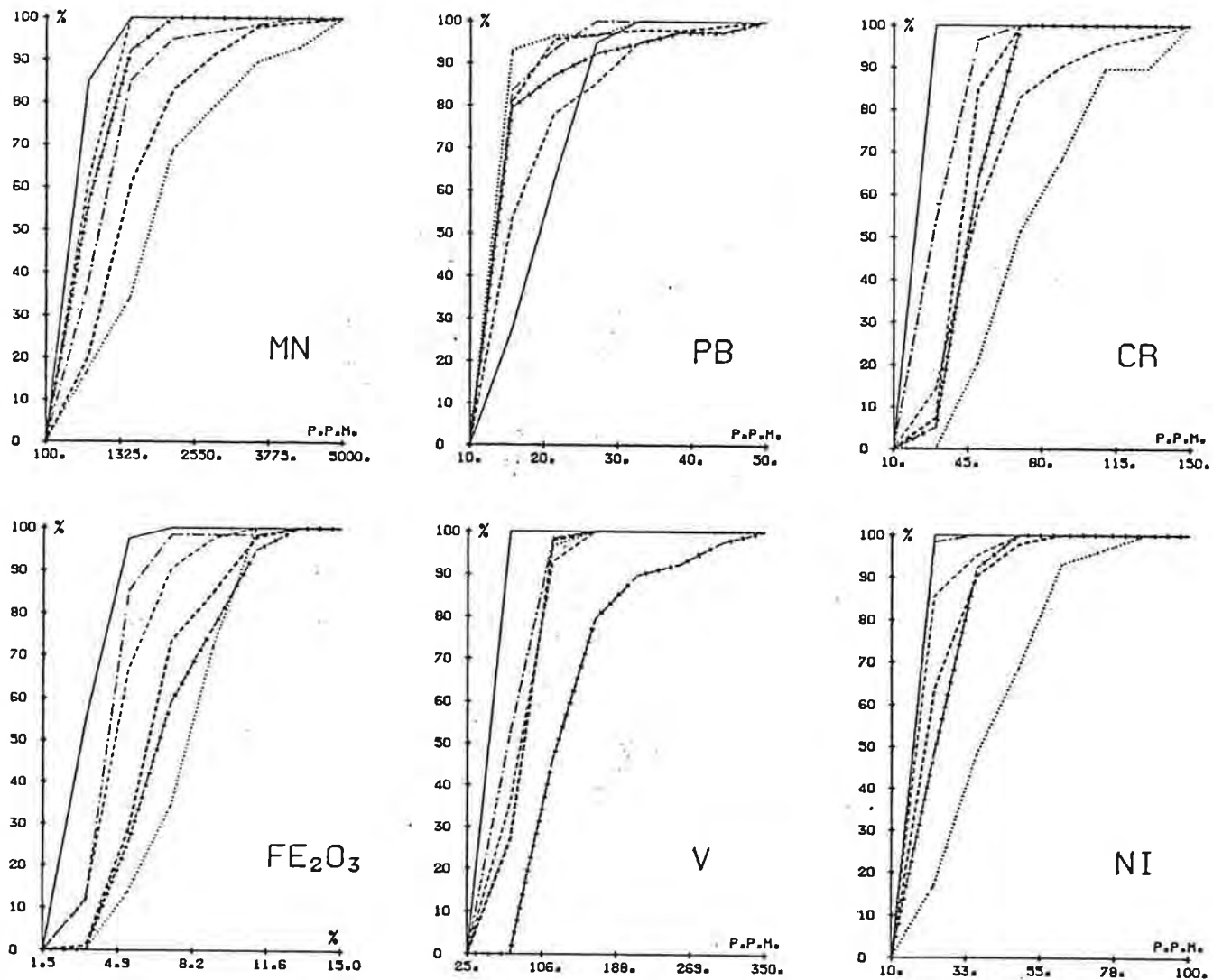
a los definidos para las unidades homogéneas. Así por ejemplo, para la clase GRMI los valores críticos globales para Cu, Zn y V son excesivamente altos, mientras que el de Pb parece insuficiente. Con estos límites, L_{jk} , llevamos a cabo una cartografía estandarizada representando los valores de:

$$Z_i = \frac{X_{ik} - L_{jk}}{L_{jk}},$$

para los tenores del elemento X_i de las muestras de las clases k 1 a 6. Empleando para el trazado por figuras de diferente tamaño los límites 0, 0.5, 1 y 1.5, eliminamos la mayoría de las anomalías formacionales de los mapas de las figuras 22 a 28. Para el Cu este procedimiento no nos pareció adecuado, puesto que, como ya explicamos, la clase ESQU ha agregado a todas las localidades que conforman la anomalía pedogeoquímica en este metal de base. Por consiguiente, las estimatrices del tenor de fondo y de los valores críticos han sido desviadas hacia valores elevados.

Las curvas de frecuencias acumuladas trazadas para las diferentes clases de muestras exhiben un aspecto bastante irregular en la mayoría de los casos (figuras 83 a 86). Esto se debe seguramente a que los efectivos totales de los grupos considerados, entre 29 y 94 muestras, son demasiado bajos. Para el trazado de estas curvas de frecuencias empleamos 7 clases, lo que concuerda, en general, con el número de clases predicho por las fórmulas de Huntsberger y de Brooks-Carruthers. Al transformar logarítmicamente los datos, las distribuciones tienden a regularizarse, y las curvas correspondientes de las diferentes unidades geoquímicas se separan aún más, observándose una mayor diferenciación de los diferentes grupos de muestras. El Y y el P y quizás también el Ba muestran distribuciones con cierta tendencia logarítmica.

En las tablas 39 a 44 presentamos los resultados de las pruebas de sesgado y curtosis efectuadas para las diferentes cla-

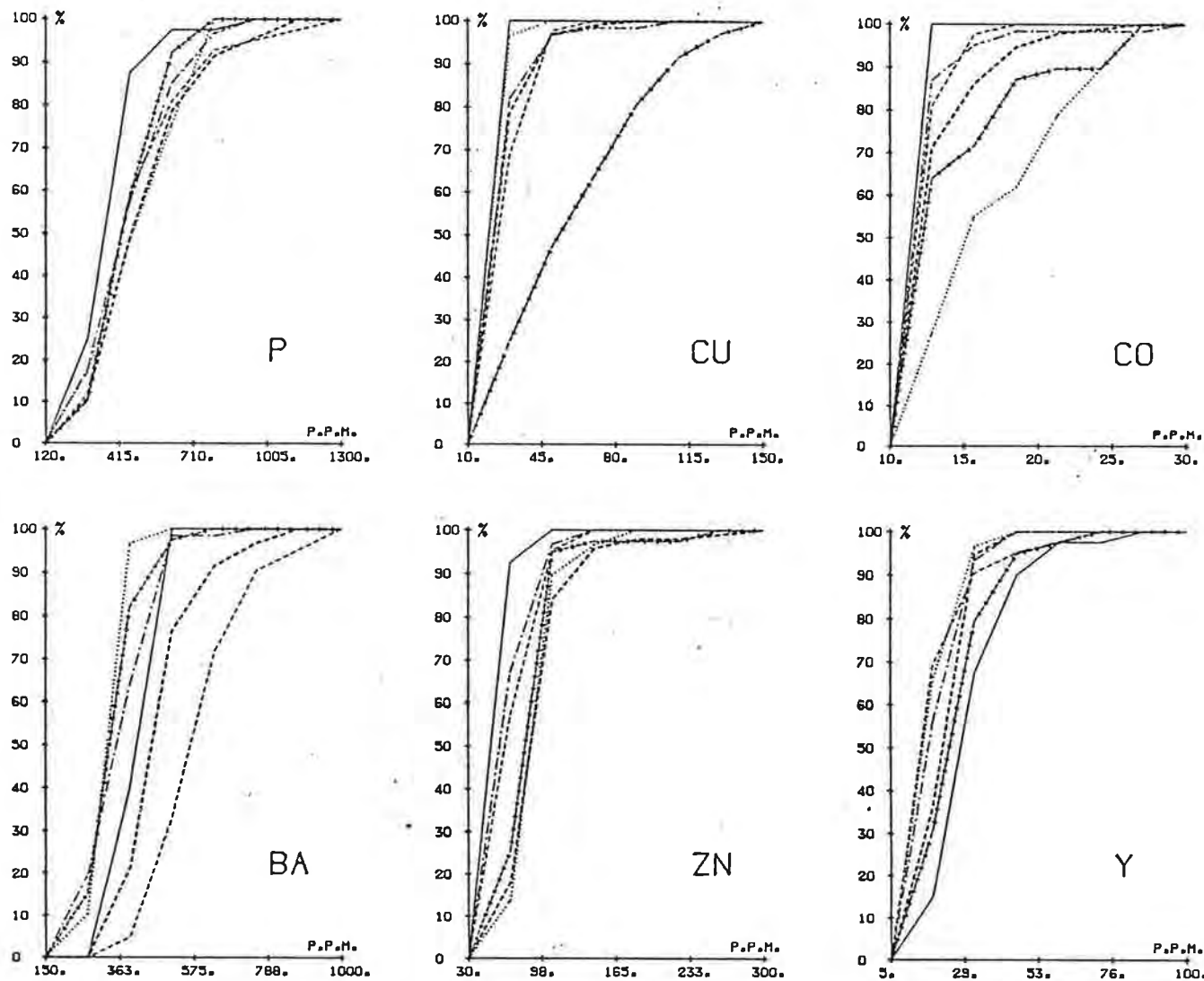


CURVAS DE FRECUENCIAS ACUMULADAS

* GRUPOS LITOGEOQUIMICOS *

- GRANITO DE MINAS (N=40)
- - - MICROGR. Y GRDI. (N=42)
- R. VOLC. BASICAS (N=29)
- · - · CALIZAS, ... (N=61)
- · - · ESQ. SERICITICOS (N=39)
- · - · SILTITOS, ... (N=94)

Figura 83

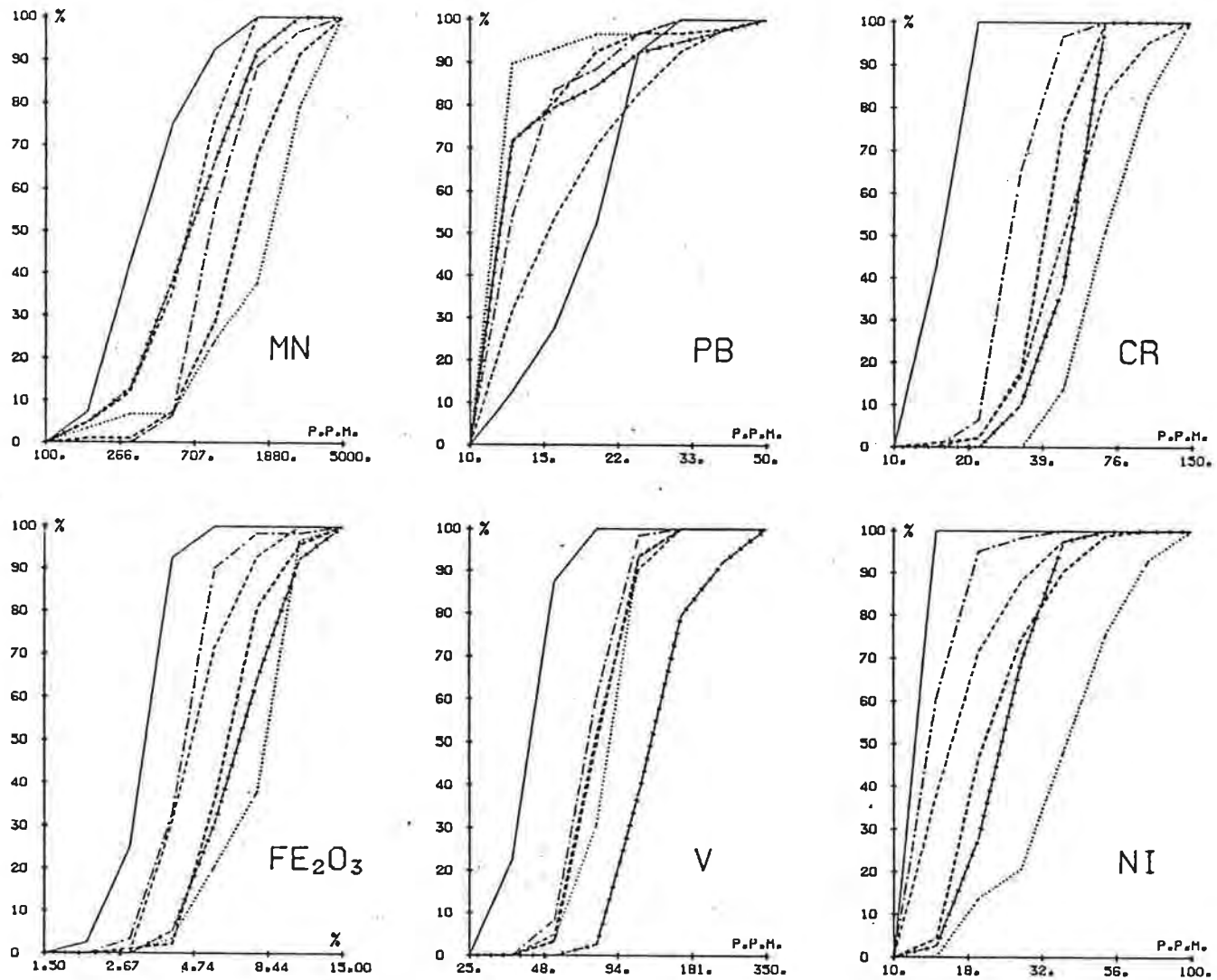


CURVAS DE FRECUENCIAS ACUMULADAS

* GRUPOS LITOGEOQUIMICOS *

- | | | | |
|-----------|---------------------------|-----------|---------------------------|
| — | GRANITO DE MINAS (N=40) | — · — · | ESQ. SERICITICOS (N=39) |
| - - - | MICROGR. Y GRDI. (N=42) | · · · · · | SILTITOS, ... (N=94) |
| · · · · · | R. VOLC. BASICAS (N=29) | | |
| - · - · - | CALIZAS, ... (N=61) | | |

Figura 84

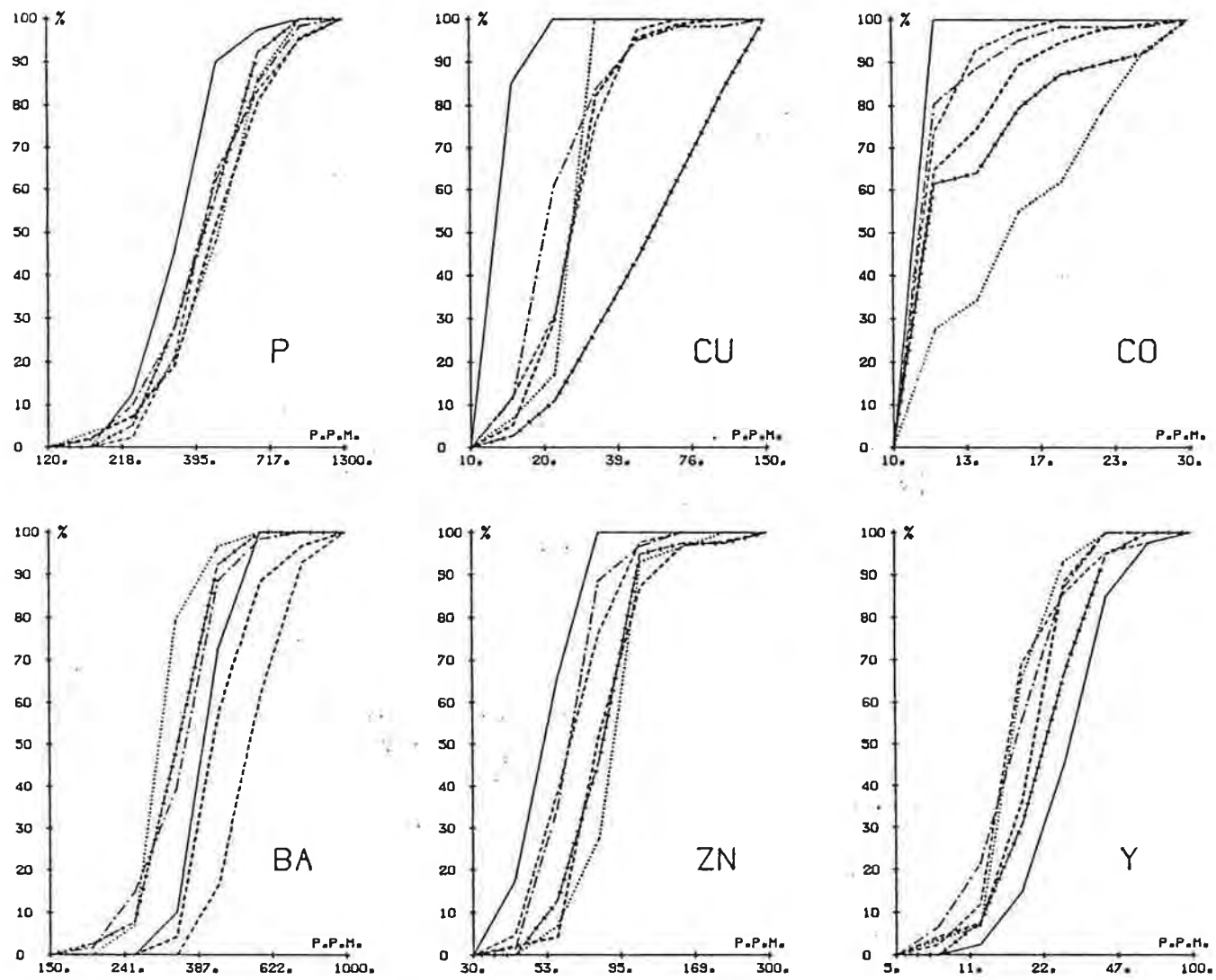


CURVAS DE FRECUENCIAS ACUMULADAS

* GRUPOS LITOGEOQUIMICOS *

- | | | | |
|-----------|---------------------------|-----------|---------------------------|
| — | GRANITO DE MINAS (N=40) | - · - · - | ESQ. SERICITICOS (N=39) |
| - - - | MICROGR. Y GRDI. (N=42) | - · - · - | SILTITOS, ... (N=94) |
| · · · | R. VOLC. BASICAS (N=29) | | |
| - · - · - | CALIZAS, ... (N=61) | | |

Figura 85



CURVAS DE FRECUENCIAS ACUMULADAS

* GRUPOS LITOGEOQUIMICOS *

— GRANITO DE MINAS (N=40)
 - - - MICROGR. Y GRDI. (N=42)
 R. VOLC. BASICAS (N=29)
 - · - · CALIZAS, ... (N=61)

- - - - - ESQ. SERICITICOS (N=39)
 - · - · SILTITOS, ... (N=94)

Figura 86

Elemento	Sesgado (g_1 de Fisher)		Curtosis (g_2 de Fisher)	
	Naturales	Logaritmos	Naturales	Logaritmos
Fe ₂ O ₃ (%)	2.667 S	1.024 S	11.58 S	2.87 S
Mn (ppm)	2.492 S	0.582 PS	7.85 S	1.05 PS
Ba	0.748 S	0.213 NS	-2.23 S	-0.02 NS
P	0.706 PS	0.297 NS	-0.22 NS	-0.13 NS
V	1.436 S	0.499 NS	4.09 S	0.67 NS
Pb	1.458 S	0.954 S	1.54 PS	0.07 NS
Zn	1.470 S	0.605 PS	3.39 S	0.93 NS
Cu	3.324 S	1.265 S	14.21 S	0.23 NS
Ni	2.101 S	1.012 S	6.88 S	1.48 PS
Cr	1.241 S	0.455 NS	2.08 S	0.36 NS
Co	4.119 S	3.022 S	20.07 S	10.40 S
Be	1.157 S	0.024 NS	1.73 PS	-0.67 NS
Y	0.836 S	0.299 NS	-0.37 NS	0.29 NS

Tabla 39: Coeficientes de Fisher para el sesgado (g_1) y curtosis (g_2) de los datos brutos y log-transformados de la clase pedogeoquímica 'CALC'. Para el número de muestras involucradas, $n=61$, los valores críticos son:

$$\alpha = 5\% : \quad g_1 = 0.489 , \quad g_{2(\text{inf})} = -0.79 \quad g_{2(\text{sup})} = 0.96$$

$$\alpha = 1\% : \quad g_1 = 0.718 , \quad g_{2(\text{inf})} = -0.99 \quad g_{2(\text{sup})} = 1.76$$

NS: no significativo; PS: posiblemente significativo y S: significativo.

Elemento	Sesgado (g_1 de Fisher)		Curtosis (g_2 de Fisher)	
	Naturales	Logaritmos	Naturales	Logaritmos
Fe ₂ O ₃ (%)	0.536 NS	-0.001 NS	-0.63 NS	-0.96 PS
Mn (ppm)	0.615 PS	-0.409 NS	-0.69 NS	-0.59 NS
Ba	0.349 NS	-0.294 NS	0.17 NS	0.22 NS
P	0.455 NS	-0.158 NS	-0.50 NS	-0.80 NS
V	1.459 S	0.648 PS	1.77 PS	-0.18 NS
Pb	2.594 S	1.842 S	6.64 S	2.45 S
Zn	3.451 S	1.033 S	15.79 S	4.07 S
Cu	0.579 NS	-0.212 NS	-0.77 NS	-1.14 S
Ni	0.642 PS	0.124 NS	-0.40 NS	-0.78 PS
Cr	-0.214 NS	-0.727 PS	-0.42 NS	-0.08 NS
Co	1.460 S	1.084 S	1.00 PS	-0.15 NS
Be	2.937 S	0.374 NS	11.79 S	2.03 S
Y	1.206 S	-0.098 NS	2.10 S	-0.14 NS

Tabla 40: Coeficientes de Fisher para el sesgado (g_1) y curtosis (g_2) de los datos brutos y log-transformados de la clase pedogeoquímica 'ESQU'. Para el número de muestras involucradas, $n=39$, los valores críticos son:

$$\alpha = 5\% : \quad g_1 = 0.594 , \quad g_2(\text{inf}) = -0.85 \quad g_2(\text{sup}) = 0.59$$

$$\alpha = 1\% : \quad g_1 = 0.881 , \quad g_2(\text{inf}) = -1.05 \quad g_2(\text{sup}) = 1.88$$

NS: no significativo; PS: posiblemente significativo; S: significativo.

Elemento	Sesgado (g_1 de Fisher)		Curtosis (g_2 de Fisher)	
	Naturales	Logaritmos	Naturales	Logaritmos
Fe ₂ O ₃ (%)	0.895 S	0.056 NS	0.26 NS	0.811 PS
Mn (ppm)	1.307 S	-0.480 PS	2.01 S	1.14 PS
Ba	1.456 S	0.908 S	1.98 S	0.49 NS
P	0.796 S	-0.358 NS	0.42 NS	0.16 NS
V	0.627 S	-0.153 NS	0.55 NS	1.02 PS
Pb	3.590 S	2.123 S	15.24 S	4.93 S
Zn	2.987 S	1.019 S	12.20 S	3.04 S
Cu	2.604 S	0.283 NS	11.54 S	2.27 S
Ni	1.407 S	0.559 PS	1.66 S	0.04 NS
Cr	0.508 PS	-0.664 S	0.51 NS	2.25 S
Co	1.894 S	1.415 S	3.43 S	1.13 PS
Be	0.817 S	-0.615 S	2.18 S	0.97 PS
Y	0.012 NS	-1.597 S	0.64 NS	3.88 S

Tabla 41: Coeficientes de Fisher para el sesgado (g_1) y curtosis (g_2) de los datos brutos y log-transformados de la clase pedogeoquímica 'SEIN'. Para el número de muestras involucradas, $n=94$, los valores críticos son:

$$\alpha = 0.05 : \quad g_1 = 0.401 , \quad g_2(\text{inf}) = -0.65 \quad g_2(\text{sup}) = 0.77$$

$$\alpha = 0.01 : \quad g_1 = 0.584 , \quad g_2(\text{inf}) = -0.82 \quad g_2(\text{sup}) = 1.39$$

NS: no significativo; PS: posiblemente significativo y S: significativo.

Elemento	Sesgado (g_1 de Fisher)		Curtosis (g_2 de Fisher)	
	Naturales	Logaritmos	Naturales	Logaritmos
Fe ₂ O ₃ (%)	-0.473 NS	-0.815 PS	-0.97 PS	-0.53 NS
Mn (ppm)	0.720 PS	-1.056 S	-0.07 NS	0.86 NS
Ba	0.683 PS	0.158 NS	1.50 PS	0.57 NS
P	-0.082 NS	-0.671 NS	-1.15 S	-0.41 NS
V	-0.139 NS	-0.467 NS	-1.03 PS	-0.94 PS
Pb	3.552 S	3.051 S	12.65 S	8.91 S
Zn	0.426 NS	-0.641 NS	1.53 PS	0.95 NS
Cu	-1.281 S	-2.132 S	2.13 S	5.20 S
Ni	0.395 NS	-0.331 NS	-0.46 NS	-0.94 PS
Cr	0.817 PS	0.255 NS	-0.30 NS	-1.06 S
Co	0.385 NS	0.049 NS	-1.16 S	-1.38 S
Be	0.751 PS	0.417 NS	-0.56 NS	-1.51 S
Y	0.730 PS	-0.385 NS	0.62 NS	0.74 NS

Tabla 42: Coeficientes de Fisher para el sesgado (g_1) y curtosis (g_2) de los datos brutos y log-transformados de la clase pedogeoquímica 'VOBA'. Para el número de muestras involucradas, $n=29$, los valores críticos son:

$$\alpha = 5\% : \quad g_1 = 0.671 , \quad g_2(\text{inf}) = -0.85 \quad g_2(\text{sup}) = 0.99$$

$$\alpha = 1\% : \quad g_1 = 0.998 , \quad g_2(\text{inf}) = -1.05 \quad g_2(\text{sup}) = 1.88$$

NS: no significativo; PS: posiblemente significativo y S: significativo.

Elemento	Sesgado (g_1 de Fisher)		Curtosis (g_2 de Fisher)	
	Naturales	Logaritmos	Naturales	Logaritmos
Fe ₂ O ₃ (%)	0.284 NS	-0.840 PS	1.60 PS	2.41 S
Mn (ppm)	1.234 S	0.311 NS	0.48 NS	-0.69 NS
Ba	-0.179 NS	-0.373 NS	-0.97 PS	-0.79 NS
P	0.188 NS	0.498 NS	5.46 S	0.89 NS
V	0.119 NS	-0.376 NS	-0.34 NS	-0.43 NS
Pb	0.012 NS	-0.381 NS	-1.10 S	-0.95 PS
Zn	0.276 NS	-0.114 NS	-0.55 NS	-0.77 NS
Cu	1.631 S	1.474 S	1.27 PS	0.76 NS
Ni	5.558 S	5.858 S	15.7 S	33.15 S
Cr	-0.001 NS	-0.316 NS	-1.11 S	-0.98 PS
Co	-	-	-	-
Be	0.055 NS	-0.268 NS	-1.21 S	-0.97 PS
Y	1.543 S	-0.115 NS	4.32 S	0.25 NS

Tabla 43: Coeficientes de Fisher para el sesgado (g_1) y curtosis (g_2) de los datos brutos y log-transformados en la clase pedogeoquímica 'GRMI'. Para el número de muestras involucradas, $n=40$, los valores críticos son:

$$\alpha = 5\% : \quad g_1 = 0.588 , \quad g_2(\text{inf}) = -0.85 \quad g_2(\text{sup}) = 0.99$$

$$\alpha = 1\% : \quad g_1 = 0.871 , \quad g_2(\text{inf}) = -1.05 \quad g_2(\text{sup}) = 1.88$$

NS: no significativo; PS: posiblemente significativo y S: significativo.

Elemento	Sesgado (g_1 de Fisher)		Curtosis (g_2 de Fisher)	
	Naturales	Logaritmos	Naturales	Logaritmos
Fe ₂ O ₃ (%)	1.053 S	0.506 NS	0.60 NS	-0.57 NS
Mn (ppm)	0.236 NS	-0.909 S	-0.76 NS	0.41 NS
Ba	0.842 PS	0.333 NS	0.37 NS	-0.45 NS
P	1.717 S	0.642 S	3.26 S	0.06 NS
V	1.141 S	0.517 NS	1.05 PS	-0.19 NS
Pb	1.450 S	0.608 PS	2.05 S	-0.60 NS
Zn	0.634 PS	0.137 NS	-0.25 NS	-0.76 NS
Cu	0.334 NS	-0.678 PS	0.26 NS	0.14 NS
Ni	1.421 S	0.666 PS	2.57 S	-0.32 PS
Cr	1.635 S	0.410 NS	2.84 S	-0.02 NS
Co	1.828 S	1.561 S	3.06 S	1.57 PS
Be	0.628 PS	-0.540 NS	0.30 NS	0.60 NS
Y	2.444 S	0.805 PS	6.66 S	1.24 PS

Tabla 44: Coeficientes de Fisher para el sesgado (g_1) y curtosis (g_2) de los datos brutos y log-transformados de la clase pedogeoquímica 'GRFI'. Para el número de muestras involucradas, $n=42$, los valores críticos son:

$$\alpha = 5\% : \quad g_1 = 0.570 , \quad g_2(\text{inf}) = -0.85 \quad g_2(\text{sup}) = 0.99$$

$$\alpha = 1\% : \quad g_1 = 0.843 , \quad g_2(\text{inf}) = -1.05 \quad g_2(\text{sup}) = 1.88$$

NS: no significativo; PS: posiblemente significativo y S: significativo.

ses sobre los tenores brutos y los log-transformados. Las distribuciones disimétricas enseñan comúnmente un sesgo positivo, a excepción de la distribución del Cu en la unidad VOBA, con un sesgo significativo a un nivel de 0.01. Las distribuciones del Fe, Ba, P, Cu y Cr en ESQU; V en SEIN; Fe, P, V, Zn, Ni y Co en VOBA; Fe, Ba, P, V, Pb, Zn, Cr, Be en GRMI; y Mn y Cu en GRFI son simétricas a un nivel de confianza del 95%. Para el conjunto CALC todos los elementos muestran distribuciones disimétricas con una sensible asimetría positiva a un nivel de 0.05 para todos los elementos, excepto el Cu con un nivel de 0.01. En esta clase las distribuciones leptocúrticas son las más frecuentes; pero la del Ba es platicúrtica y las del P e Y mesocúrticas. El Fe, Mn, Ba, P y el Zn, Cu, Ni, Cr, Be e Y muestran distribuciones mesocúrticas en varias unidades. Advertimos que para algunos elementos no podemos rechazar la hipótesis de normalidad de sus distribuciones, puesto que éstas no difieren en forma ni en simetría de la de una distribución gaussiana. Tal es el caso de las distribuciones de Fe, Ba, P, Cu y Cr en la clase ESQU; Y en el grupo SEIN; Ni en VOBA; V y Zn en GRMI; y Mn y Cu en GRFI.

Al log-transformar los tenores, las distribuciones tienden a simetrizarse en la mayoría de los casos. Tanto el test de sesgado como el de forma nos permiten aceptar la hipótesis de log-normalidad a un nivel de 0.001 de las distribuciones del Ba, P, V, Cr, Be e Y del conjunto CALC; las de Mn, Ba, P, Ni e Y en la clase ESQU; P en la SEIN; Ba, P, Zn e Y en VOBA; Mn, Ba, P, Zn e Y en la unidad GRMI y, finalmente, las distribuciones de Fe, Ba, V, Zn, Cr y Be del conjunto GRFI. Por el contrario, la distribución del Pb no manifiesta un cambio sustancial en ninguna clase pedogeoquímica al emplear la log-transformación. En algunas ocasiones podemos asimilar las distribuciones empíricas tanto a una ley normal como a una lognormal, p. ej.: las distribuciones del Ba y P en la clase ESQU y las de V y Zn en GRMI. La forma de las curvas de frecuencias acumuladas expuestas en las figuras 83 a 86 concuerda con las conclusiones de las pruebas de asimetría y

curtosis. Lamentablemente las bajas frecuencias simples de las clases de los histogramas dificultan la aplicación del test de chi-cuadrado para el examen de las distribuciones observadas.

Concluimos, que al considerar clases de muestras más homogéneas desde un punto de vista de su comportamiento geoquímico respecto a la población global, queda de manifiesto la invalidez de la ley general de lognormalidad de Ahrens L.H. (1954a, 1954b, 1957). Para la totalidad de las muestras el P, V, Zn y Mn presentan distribuciones a tendencia lognormal y para los restantes nueve elementos rechazamos tanto la hipótesis de normalidad como la de lognormalidad a un nivel de 0.05. Aquí hemos visto que para las clases definidas por análisis discriminante varios elementos siguen distribuciones netamente normales, siendo, asimismo, para algunos imposible distinguir entre una distribución normal y una lognormal.

- Asociaciones geoquímicas

Examinamos las interdependencias de los elementos a nivel de las unidades geoquímicas establecidas, para lo cual estimamos las matrices de correlación para los valores aritméticos y logarítmicos de cada una de ellas. Examinamos los resultados en las tablas 45 a 50 bajo la forma de matrices triangulares, la inferior correspondiente a los datos brutos y la superior a los log-transformados. Nuevamente hemos señalado aquellas correlaciones superiores a 0.4 con una línea punteada y los superiores a 0.5 con trazo lleno. Fueron excluidas aquellas muestras con tenores excepcionales en Cu (clase ESQU).

Para todos los conjuntos geoquímicos se observan que la mayoría de los coeficientes de correlación significativos se dan para cuplas de elementos ferromagnesianos: Fe, Mn, V, Zn, Cu, Cr, Ni y Co. Estas relaciones son, en general, sensiblemente más elevadas en la clase VOBA sobre las metalavas básicas y en el conjunto GRFI, de los granitos y granodioritas a grano fino, respecto a

ALMBRES	FE2X*	MN	* BA	* P	* V	* PB	* ZN	* CU	* CR	* NI	* CC	* BE	* Y . *
* FE2X *	1.00	<u>0.55</u>	-0.14	0.02	<u>0.50</u>	0.36	<u>0.53</u>	<u>0.65</u>	<u>0.67</u>	<u>0.77</u>	<u>0.71</u>	0.21	<u>0.40</u>
* MN	* <u>0.62</u>	1.00	-0.01	0.08	0.02	<u>0.47</u>	<u>0.54</u>	<u>0.52</u>	0.21	<u>0.66</u>	<u>0.56</u>	0.10	<u>0.40</u>
* BA	* -0.17	-0.00	1.00	<u>-0.45</u>	0.05	0.19	-0.23	0.04	-0.11	-0.20	0.10	0.37	0.19
* P	* 0.12	0.13	<u>-0.44</u>	1.00	0.22	0.12	<u>0.46</u>	0.05	0.26	0.20	0.02	-0.24	<u>-0.42</u>
* V	* <u>0.61</u>	0.11	-0.06	0.29	1.00	0.30	0.21	<u>0.43</u>	<u>0.60</u>	<u>0.44</u>	0.39	0.01	0.03
* PB	* <u>0.40</u>	<u>0.46</u>	0.21	0.20	0.32	1.00	0.31	0.36	0.11	0.26	<u>0.53</u>	0.31	0.27
* ZN	* <u>0.62</u>	<u>0.54</u>	-0.23	<u>0.47</u>	0.33	0.37	1.00	<u>0.55</u>	<u>0.41</u>	<u>0.67</u>	<u>0.40</u>	0.15	0.30
* CU	* <u>0.78</u>	<u>0.50</u>	-0.07	0.20	<u>0.59</u>	<u>0.41</u>	<u>0.63</u>	1.00	<u>0.50</u>	<u>0.65</u>	<u>0.55</u>	0.27	<u>0.43</u>
* CR	* <u>0.63</u>	0.27	-0.18	0.28	<u>0.62</u>	0.12	<u>0.44</u>	<u>0.50</u>	1.00	<u>0.65</u>	0.31	0.06	0.11
* NI	* <u>0.83</u>	<u>0.69</u>	-0.23	0.24	<u>0.53</u>	0.32	<u>0.75</u>	<u>0.74</u>	<u>0.62</u>	1.00	<u>0.57</u>	0.08	<u>0.43</u>
* CC	* <u>0.80</u>	<u>0.61</u>	0.10	0.13	<u>0.51</u>	<u>0.58</u>	<u>0.50</u>	<u>0.70</u>	0.34	<u>0.67</u>	1.00	0.19	0.31
* BE	* 0.08	0.05	<u>0.43</u>	-0.21	-0.09	0.30	0.06	0.16	-0.03	-0.02	0.12	1.00	<u>0.58</u>
* Y	* 0.36	0.29	0.16	-0.34	0.07	0.26	0.31	0.36	0.08	<u>0.41</u>	0.30	<u>0.58</u>	1.00

Tabla 45: Matrices de correlación de los tenores brutos (matriz triangular inferior) y log-transformados (matriz triangular superior) para la clase pedogeoquímica CALC. Los valores críticos para n=61 son: $r_{0.05}=0.256$, $r_{0.01}=0.325$ y $r_{0.001}=0.414$.

NOMBRES	FE2X*	MN	* BA	* P	* V	* PB	* ZN	* CU	* CR	* NI	* CC	* BE	* Y	*
* FE2X *	1.00	<u>0.47</u>	-0.18	-0.12	<u>0.72</u>	0.00	0.28	<u>0.74</u>	<u>0.54</u>	<u>0.78</u>	<u>0.71</u>	-0.22	<u>0.42</u>	
* MN	* <u>0.52</u>	1.00	0.02	0.36	0.34	0.16	<u>0.60</u>	<u>0.60</u>	0.11	<u>0.46</u>	<u>0.51</u>	-0.09	0.25	
* BA	* -0.17	0.01	1.00	-0.30	-0.17	0.15	0.02	-0.28	-0.14	-0.14	0.07	0.33	-0.13	
* P	* -0.13	0.35	-0.31	1.00	0.22	0.01	-0.01	0.14	0.18	0.13	-0.09	-0.15	-0.15	
* V	* <u>0.73</u>	0.38	-0.18	0.20	1.00	-0.15	-0.01	<u>0.64</u>	<u>0.72</u>	<u>0.70</u>	<u>0.52</u>	-0.39	0.06	
* PE	* -0.06	0.09	0.16	-0.03	-0.19	1.00	<u>0.56</u>	0.11	-0.21	-0.02	0.07	0.34	0.29	
* ZN	* 0.13	0.36	0.06	-0.07	-0.07	<u>0.73</u>	1.00	<u>0.50</u>	-0.33	0.13	0.20	0.08	0.37	
* CU	* <u>0.68</u>	<u>0.51</u>	-0.29	0.16	<u>0.68</u>	0.02	0.28	1.00	0.28	<u>0.58</u>	<u>0.44</u>	-0.39	0.39	
* CR	* <u>0.52</u>	0.16	-0.11	0.16	<u>0.66</u>	-0.27	-0.33	0.27	1.00	<u>0.73</u>	0.34	-0.25	-0.15	
* NI	* <u>0.76</u>	<u>0.49</u>	-0.08	0.11	<u>0.66</u>	-0.09	-0.01	<u>0.48</u>	<u>0.73</u>	1.00	<u>0.59</u>	-0.14	0.32	
* CC	* <u>0.71</u>	<u>0.53</u>	0.11	-0.10	<u>0.51</u>	0.09	0.07	0.39	0.32	<u>0.57</u>	1.00	0.02	0.34	
* BE	* -0.20	-0.12	0.11	-0.09	-0.34	0.28	0.11	-0.34	-0.29	-0.15	0.05	1.00	0.38	
* Y	* 0.29	0.13	-0.11	-0.10	0.02	0.25	0.15	0.19	-0.16	0.21	0.32	<u>0.67</u>	1.00	

Tabla 46: Matrices de correlación de los tenores brutos (matriz triangular inferior) y log-transformados (matriz triangular superior) para la clase pedogeoquímica ESQU. Los valores críticos para $n=36$ son: $r_{0.05}=0.330$, $r_{0.01}=0.424$ y $r_{0.001}=0.525$.

NOMBRES	FE2X*	MN	* BA	* P	* V	* PB	* ZN	* CU	* CR	* NI	* CC	* BE	* Y	*
* FE2X *	1.00	<u>0.56</u>	-0.20	<u>0.43</u>	<u>0.75</u>	-0.16	<u>0.61</u>	-0.00	<u>0.54</u>	<u>0.71</u>	<u>0.70</u>	-0.36	0.09	
* MN	* <u>0.55</u>	1.00	-0.18	0.35	0.28	-0.11	<u>0.44</u>	0.20	0.28	<u>0.48</u>	<u>0.56</u>	-0.28	0.17	
* EA	* -0.18	-0.15	1.00	-0.03	-0.07	0.27	-0.12	0.05	-0.27	-0.24	-0.10	<u>0.48</u>	0.14	
* P	* <u>0.42</u>	<u>0.42</u>	-0.02	1.00	0.29	0.01	0.37	-0.01	0.25	0.29	0.31	-0.19	-0.26	
* V	* <u>0.76</u>	0.27	-0.08	0.30	1.00	-0.04	<u>0.52</u>	0.18	<u>0.58</u>	<u>0.72</u>	<u>0.56</u>	-0.31	0.15	
* PE	* -0.17	-0.08	0.22	0.05	-0.04	1.00	0.20	0.14	-0.11	-0.21	-0.13	0.29	0.12	
* ZN	* <u>0.53</u>	0.27	-0.08	0.26	<u>0.46</u>	0.30	1.00	0.11	<u>0.41</u>	<u>0.59</u>	<u>0.52</u>	-0.14	0.18	
* CU	* -0.05	0.07	0.10	-0.03	0.12	0.13	0.04	1.00	0.04	0.12	0.06	0.13	0.28	
* CR	* <u>0.48</u>	0.23	-0.27	0.23	<u>0.54</u>	-0.10	0.33	-0.03	1.00	<u>0.77</u>	0.24	-0.38	0.04	
* NI	* <u>0.71</u>	<u>0.42</u>	-0.22	0.23	<u>0.74</u>	-0.18	<u>0.57</u>	0.00	<u>0.72</u>	1.00	<u>0.61</u>	-0.42	0.14	
* CC	* <u>0.74</u>	<u>0.58</u>	-0.11	0.36	<u>0.62</u>	-0.13	<u>0.46</u>	-0.00	0.25	<u>0.63</u>	1.00	-0.28	0.02	
* BE	* -0.31	-0.26	<u>0.58</u>	-0.16	-0.27	0.28	-0.03	0.23	-0.36	-0.36	-0.26	1.00	0.25	
* Y	* -0.02	0.06	0.28	-0.25	0.08	0.11	0.12	0.30	-0.10	0.07	-0.02	<u>0.40</u>	1.00	

Tabla 47: Matrices de correlación de los tenores brutos (matriz triangular inferior) y log-transformados (matriz triangular superior) para la clase pedogeoquímica SEIN. Los valores críticos para $n=94$ son: $r_{0.05}=0.203$, $r_{0.01}=0.265$ y $r_{0.001}=0.334$.

* NCMERES *	FE2X *	MN *	BA *	P *	V *	PB *	ZN *	CU *	CR *	NI *	CC *	BE *	Y *
* FE2X *	1.00	<u>0.83</u>	0.02	0.38	<u>0.80</u>	-0.29	<u>0.68</u>	<u>0.52</u>	<u>0.63</u>	<u>0.81</u>	<u>0.85</u>	-0.39	0.19
* MN *	<u>0.72</u>	1.00	0.08	0.32	<u>0.49</u>	-0.24	<u>0.65</u>	<u>0.52</u>	0.33	<u>0.50</u>	<u>0.66</u>	-0.28	0.30
* BA *	0.08	0.35	1.00	-0.22	0.15	0.27	0.23	0.06	-0.16	0.06	0.17	<u>0.45</u>	0.34
* P *	0.38	0.29	-0.24	1.00	0.37	-0.19	<u>0.45</u>	0.17	<u>0.42</u>	<u>0.56</u>	0.31	-0.37	-0.07
* V *	<u>0.80</u>	<u>0.40</u>	0.10	0.38	1.00	-0.19	<u>0.54</u>	<u>0.58</u>	<u>0.84</u>	<u>0.85</u>	<u>0.69</u>	-0.34	0.21
* PE *	-0.28	-0.09	0.24	-0.22	-0.21	1.00	0.11	-0.04	-0.37	-0.26	-0.15	0.33	0.38
* ZN *	<u>0.65</u>	<u>0.59</u>	0.37	0.33	<u>0.45</u>	0.07	1.00	<u>0.48</u>	0.33	<u>0.59</u>	<u>0.60</u>	-0.13	0.35
* CU *	<u>0.52</u>	0.28	0.04	0.27	<u>0.61</u>	-0.09	0.38	1.00	<u>0.59</u>	<u>0.45</u>	<u>0.40</u>	-0.19	<u>0.47</u>
* CR *	<u>0.54</u>	0.06	-0.25	<u>0.45</u>	<u>0.81</u>	-0.31	0.19	<u>0.59</u>	1.00	<u>0.80</u>	<u>0.54</u>	-0.45	0.01
* NI *	<u>0.76</u>	0.33	0.01	<u>0.57</u>	<u>0.77</u>	-0.27	<u>0.49</u>	<u>0.52</u>	<u>0.72</u>	1.00	<u>0.79</u>	-0.37	0.08
* CC *	<u>0.83</u>	<u>0.58</u>	0.21	0.32	<u>0.64</u>	-0.16	<u>0.60</u>	0.38	<u>0.44</u>	<u>0.77</u>	1.00	-0.41	0.08
* BE *	-0.32	-0.10	<u>0.51</u>	-0.37	-0.33	0.29	0.06	-0.20	-0.44	-0.35	-0.33	1.00	0.34
* Y *	0.06	0.17	<u>0.40</u>	-0.20	0.07	<u>0.42</u>	0.19	0.32	-0.11	0.01	-0.01	<u>0.42</u>	1.00

Tabla 48: Matrices de correlación de los tenores brutos (matriz triangular inferior) y log-transformados (matriz triangular superior) para la clase pedogeoquímica VOBA. Los valores críticos para $n=29$ son: $r_{0.05}=0.367$, $r_{0.01}=0.470$ y $r_{0.001}=0.579$.

* NCMERES *	FE2X *	MN	* BA	* P	* V	* PB	* ZN	* CU	* CR	* NI	* CC	* BE	* Y *
* FE2X *	<u>1.00</u>	0.31	-0.11	0.08	<u>0.76</u>	-0.25	<u>0.58</u>	<u>0.45</u>	<u>0.66</u>	0.17	0.01	0.18	<u>0.49</u>
* MN	* <u>0.26</u>	1.00	0.27	0.07	0.24	-0.18	<u>0.64</u>	<u>0.47</u>	0.34	0.17	-0.02	-0.07	0.13
* BA	* -0.13	0.26	1.00	-0.10	0.03	0.30	0.19	-0.07	-0.08	-0.14	-0.10	-0.30	-0.32
* P	* 0.07	0.06	-0.13	1.00	-0.09	-0.11	0.38	-0.04	-0.15	0.06	-0.03	0.23	-0.26
* V	* <u>0.78</u>	0.22	0.00	-0.09	1.00	- <u>0.44</u>	0.32	<u>0.43</u>	<u>0.89</u>	0.07	-0.01	-0.07	<u>0.49</u>
* PB	* -0.27	-0.21	0.29	-0.15	- <u>0.45</u>	1.00	0.08	-0.39	- <u>0.56</u>	-0.23	0.01	0.34	-0.19
* ZN	* <u>0.53</u>	<u>0.62</u>	0.23	0.32	0.30	0.07	1.00	0.24	0.22	0.10	-0.03	0.30	0.13
* CU	* <u>0.50</u>	<u>0.50</u>	-0.08	0.06	<u>0.45</u>	-0.39	0.25	1.00	<u>0.58</u>	<u>0.42</u>	0.02	-0.05	<u>0.40</u>
* CR	* <u>0.65</u>	0.35	-0.10	-0.11	<u>0.86</u>	- <u>0.58</u>	0.20	<u>0.62</u>	1.00	0.25	0.02	-0.14	<u>0.52</u>
* NI	* 0.18	0.15	-0.12	0.04	0.06	-0.22	0.10	<u>0.46</u>	0.28	1.00	0.20	-0.04	0.18
* CC	* 0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0
* BE	* 0.24	-0.05	-0.31	0.25	-0.05	0.32	0.28	-0.03	-0.15	-0.06	0.0	1.00	<u>0.56</u>
* Y	* <u>0.62</u>	0.22	-0.30	-0.24	<u>0.50</u>	-0.17	0.19	<u>0.46</u>	<u>0.50</u>	0.18	0.0	<u>0.56</u>	1.00

Tabla 49: Matrices de correlación de los tenores brutos (matriz triangular inferior) y log-transformados (matriz triangular superior) para la clase pedogeoquímica GRMI. Los valores críticos para $n=40$ son: $r_{0.05}=0.304$, $r_{0.01}=0.393$ y $r_{0.001}=0.501$.

* NCMERES *	FE2X *	MN *	BA *	P *	V *	PB *	ZN *	CU *	CR *	NI *	CC *	BE *	Y *
* FE2X *	1.00	<u>0.46</u>	-0.07	<u>0.51</u>	<u>0.83</u>	-0.17	<u>0.72</u>	0.37	<u>0.87</u>	<u>0.70</u>	<u>0.74</u>	-0.02	0.31
* MN *	<u>0.47</u>	1.00	-0.17	0.27	0.26	-0.24	<u>0.67</u>	<u>0.54</u>	0.32	<u>0.44</u>	<u>0.52</u>	-0.10	0.16
* BA *	-0.04	-0.13	1.00	0.13	0.14	0.02	-0.30	-0.14	-0.04	-0.17	-0.03	0.01	-0.36
* P *	<u>0.55</u>	0.26	0.08	1.00	<u>0.44</u>	-0.13	<u>0.59</u>	0.14	<u>0.52</u>	0.39	0.31	0.08	-0.23
* V *	<u>0.85</u>	0.26	0.17	<u>0.45</u>	1.00	-0.21	<u>0.42</u>	<u>0.42</u>	<u>0.88</u>	<u>0.64</u>	<u>0.55</u>	-0.13	0.25
* PB *	-0.19	-0.18	-0.05	-0.10	-0.15	1.00	-0.05	-0.03	-0.29	-0.40	-0.35	<u>0.44</u>	0.27
* ZN *	<u>0.69</u>	<u>0.64</u>	-0.28	<u>0.65</u>	<u>0.41</u>	-0.03	1.00	<u>0.46</u>	<u>0.55</u>	<u>0.59</u>	<u>0.61</u>	0.03	0.20
* CU *	0.28	0.37	-0.12	0.11	0.32	0.03	<u>0.41</u>	1.00	0.36	<u>0.41</u>	0.31	-0.07	0.16
* CR *	<u>0.88</u>	0.35	0.02	<u>0.54</u>	<u>0.85</u>	-0.25	<u>0.55</u>	0.28	1.00	<u>0.81</u>	<u>0.67</u>	-0.19	0.15
* NI *	<u>0.66</u>	<u>0.46</u>	-0.12	0.36	<u>0.58</u>	-0.36	<u>0.57</u>	0.38	<u>0.78</u>	1.00	<u>0.72</u>	-0.29	0.10
* CC *	<u>0.73</u>	<u>0.57</u>	-0.02	0.26	<u>0.58</u>	-0.33	<u>0.59</u>	0.31	<u>0.72</u>	<u>0.76</u>	1.00	-0.19	0.13
* BE *	-0.02	-0.08	-0.09	0.07	-0.11	<u>0.48</u>	0.01	-0.08	-0.17	-0.24	-0.20	1.00	0.28
* Y *	0.20	0.11	-0.32	-0.20	0.15	<u>0.40</u>	0.12	0.07	0.01	-0.06	0.05	<u>0.51</u>	1.00

Tabla 50: Matrices de correlación de los tenores brutos (matriz triangular inferior) y log-transformados (matriz triangular superior) para la clase pedogeoquímica GRFI. Los valores críticos para $n=41$ son: $r_{0.05}=0.304$, $r_{0.01}=0.393$ y $r_{0.001}=0.495$.

las de la clase GRMI, representativa de la intrusión norte del granito de Minas; lo que está de acuerdo con el diferente quimismo de las litologías involucradas en cada unidad. Otra correlación general de todas las clases pedogeoquímicas es la de la cupla Be-Y. El Be se suele correlacionar con el Ba (CALC, SEIN y VOBA) y el Pb (GRFI), y este último con el Y (GRFI y VOBA). En la clase ESQU el Pb se correlaciona con el Zn a un nivel de 0.001. Otras correlaciones particulares de algunos conjuntos geoquímicos son: P-Zn (GRFI y CALC), P-Fe (GRFI y GRFI), P-Cr, P-Ni y P-V (VOBA y GRFI), explicables por la sustitución del P por el V y del Ca por metales bivalentes en el apatito, y la formación de fosfatos secundarios. A su vez, las correlaciones Y-Fe, Y-V, Y-Cu, Y-Cr y también Y-Mn e Y-Ni (GRMI y CALC, ESQU) y la relación inversa entre el P y el Y se deberían a una preferencia del Y por sustituir el Ca del esfeno, piroxenos, anfíboles y carbonatos en comparación con el de la monacita. En el ambiente supergénico el Y es fijado por la limonita, psilomelano y la fracción arcillosa, y también precipita como carbonatos (y fosfatos) hidratados (Rankama K. y Sahama Th.G., 1962). La asociación pedogeoquímica del Y con los metales de la primera serie de transición es, entonces, significativa desde un punto de vista geoquímico. Las correlaciones Pb-Co, Pb-Mn y Pb-Cu de la clase CALC están de acuerdo con la formación de carbonatos de estos metales en un ambiente de calizas y dolomitas.

El efecto de la log-transformación de las variables es el de aumentar algunos coeficientes de Pearson cuando la relación entre los elementos está mejor definida a bajos tenores, y disminuirlos cuando la relación predomina a tenores elevados. Un ejemplo lo constituye la correlación Pb-Zn de la clase ESQU, relacionada a la presencia de sulfuros, que para los tenores brutos origina un coeficiente de $r=0.73$ y con transformación logarítmica de $r_L=0.56$, ambos significativos a un nivel de 0.001. En la clase VOBA la correlación V-Zn, $r=0.45$, probablemente trivial ($\alpha=5\%$), parece significativa a un nivel de 0.01 al log-transformar los

tenores, $r_L = 0.54$.

Para facilitar la aprehensión de las relaciones inter-elementos en las diferentes clases pedogeoquímicas efectuamos un análisis en componentes principales sobre cada una de ellas, extrayendo seis direcciones factoriales. En las tablas 51 a 56 damos las tablas de saturación para los ACP, con y sin transformación logarítmica de los datos. En oposición a lo encontrado para la población total advertimos que los subespacios factoriales determinados sobre los tenores brutos, a excepción de los calculados para las unidades VOBA y GRFI, explican una proporción de la inercia composicional de las muestras mayor que la de los modelos establecidos con log-transformación de los tenores (tabla 57). Salvo para la clase SEIN, los modelos factoriales con 6 ejes principales toman en cuenta una fracción de varianza mayor que la considerada por el modelo que describe a la totalidad de las muestras.

Los componentes principales de los diferentes conjuntos de muestras caracterizan esencialmente a las mismas asociaciones de elementos en los tratamientos con y sin transformación de los datos, y las inercias explicadas por los factores correspondientes son similares. Sólo para la clase ESQU observamos una dependencia de los ejes factoriales de la transformación de los valores. Efectivamente, el sexto componente principal (9.8%) del análisis de los tenores brutos de esta unidad está saturado por Cr y Ni, una asociación máfica clásica en geoquímica, y al transformar los datos es reemplazado en el modelo por la asociación Mn-Zn-Cu-(Co) del factor 2 (17.0%), característica de los procesos supergénicos de fijación de metales trazas por los óxidos e hidróxidos mangánicos.

En la tabla 58 comparamos los resultados de los ACP sobre los tenores brutos de los diferentes conjuntos geoquímicos. Observamos ciertas variaciones en las asociaciones de elementos que definen los diferentes ejes factoriales, si bien algunas se

M	1	2	3	4	5	6
VALOR PROPIO	3.083	1.317	1.401	2.826	1.713	1.171
PORCENTAJE	23.715	10.131	10.778	21.741	13.173	9.007

* TABLA DE SATURACION *

F(FE2X)	0.632	0.064	0.230	0.643	0.127	-0.146
F(MN)	0.928	-0.053	0.196	0.010	0.009	0.092
F(P)	0.067	-0.864	0.149	0.147	-0.219	-0.234
F(BA)	-0.065	0.252	0.159	-0.060	0.183	0.889
F(V)	0.004	-0.083	0.308	0.897	-0.071	-0.052
F(CR)	0.296	-0.256	-0.276	0.815	0.007	0.068
F(NI)	0.758	-0.087	0.057	0.524	0.138	-0.205
F(CU)	0.579	0.086	0.572	0.434	0.047	0.051
F(CO)	0.499	-0.051	0.318	0.597	0.230	-0.139
F(PB)	0.273	-0.231	0.754	0.105	0.197	0.211
F(ZN)	0.637	-0.464	0.089	0.279	0.249	-0.202
F(BE)	-0.058	-0.050	0.125	-0.031	0.861	0.361
F(Y)	0.305	0.291	0.080	0.092	0.833	-0.098

Tabla 51a: Saturaciones del ACP efectuado sobre los tenores brutos de la clase pedogeoquímica CALC.

M	1	2	3	4	5	6
VALOR PROPIO	3.109	1.391	2.528	1.505	1.666	1.103
PORCENTAJE	23.916	10.698	19.449	11.577	12.815	8.486

* TABLA DE SATURACION *

F(FE2X)	0.563	0.144	0.619	0.275	0.170	-0.236
F(MN)	0.885	-0.019	-0.066	0.321	0.006	0.022
F(P)	0.040	-0.890	0.139	0.088	-0.238	-0.238
F(BA)	-0.065	0.243	-0.012	0.116	0.185	0.926
F(V)	-0.046	-0.095	0.876	0.286	-0.053	0.068
F(CR)	0.299	-0.166	0.838	-0.125	0.045	-0.049
F(NI)	0.759	-0.064	0.509	0.058	0.096	-0.187
F(CO)	0.509	0.164	0.343	0.638	0.020	-0.008
F(CU)	0.615	-0.062	0.481	0.139	0.247	0.126
F(PB)	0.197	-0.174	0.070	0.862	0.222	0.134
F(ZN)	0.674	-0.544	0.188	0.056	0.235	-0.130
F(BE)	-0.006	0.011	0.043	0.163	0.913	0.200
F(Y)	0.544	0.348	0.033	0.065	0.729	-0.018

Tabla 51b: Saturaciones del ACP efectuado sobre los tenores log-transformados de la clase pedogeoquímica CALC.

M	1	2	3	4	5	6
VALOR PROPIO	4.557	1.763	1.674	1.202	1.369	1.273
PORCENTAJE	35.051	13.563	12.874	9.250	10.529	9.796

* TABLA DE SATURACION *

	1	2	3	4	5	6
F(FE2X)	0.891	0.018	0.020	0.139	-0.209	0.270
F(MN)	0.806	0.162	-0.055	-0.438	0.100	-0.169
F(P)	0.070	-0.023	-0.061	-0.951	-0.212	0.111
F(BA)	-0.158	0.079	-0.018	0.193	0.919	-0.072
F(V)	0.795	-0.062	-0.167	-0.112	-0.305	0.313
F(CR)	0.422	-0.213	-0.154	-0.110	-0.086	0.829
F(NI)	0.768	-0.025	0.036	-0.099	-0.099	0.537
F(CO)	0.854	0.012	0.125	0.028	0.068	0.112
F(CU)	0.798	0.118	-0.133	-0.089	-0.446	0.089
F(PB)	-0.132	0.518	-0.215	-0.001	0.141	0.032
F(ZN)	0.252	0.856	-0.018	0.010	-0.069	-0.224
F(BE)	-0.304	0.099	0.863	0.007	0.220	-0.107
F(Y)	0.269	0.108	0.869	0.078	-0.197	-0.020

Tabla 52a: Saturaciones del ACP efectuado sobre los tenores brutos de la clase pedogeoquímica ESQU.

M	1	2	3	4	5	6
VALOR PROPIO	4.303	2.232	1.588	1.314	1.197	1.134
PORCENTAJE	33.099	17.166	12.216	10.108	9.210	9.110

* TABLA DE SATURACION *

	1	2	3	4	5	6
F(FE2X)	0.846	0.335	-0.220	-0.186	-0.156	0.030
F(MN)	0.399	0.791	0.075	-0.075	0.361	0.032
F(P)	0.097	0.110	-0.205	0.100	0.945	0.000
F(BA)	-0.179	0.020	0.883	0.160	-0.240	-0.091
F(V)	0.842	0.201	-0.286	0.123	0.132	0.112
F(CR)	0.878	-0.301	-0.089	0.174	0.196	0.033
F(NI)	0.900	0.154	-0.120	-0.161	0.136	0.005
F(CO)	0.744	0.413	0.062	-0.175	-0.049	0.130
F(CU)	0.610	0.565	-0.433	-0.072	0.026	-0.042
F(PB)	-0.110	0.180	0.146	-0.144	0.001	-0.935
F(ZN)	0.038	0.829	-0.116	-0.144	-0.049	-0.429
F(BE)	-0.350	-0.251	0.602	-0.549	0.008	-0.257
F(Y)	0.192	0.233	-0.143	-0.888	-0.110	-0.131

Tabla 52b: Saturaciones del ACP efectuado sobre los tenores log-transformados de la clase pedogeoquímica ESQU.

M	1	2	3	4	5	6
VALOR PROPIO	3.121	1.711	1.231	1.272	1.089	2.307
PORCENTAJE	24.006	13.160	9.471	9.785	8.375	17.750

* TABLA DE SATURACION *

F(FE2X)	0.660	-0.059	0.089	-0.011	-0.096	-0.629
F(MN)	0.088	-0.171	0.083	-0.002	0.132	-0.856
F(P)	0.181	0.100	0.752	0.120	0.076	-0.449
F(BA)	-0.077	0.917	0.010	0.017	0.003	0.068
F(V)	0.835	0.036	0.043	0.016	0.083	-0.299
F(CR)	0.827	-0.257	0.161	-0.004	0.052	0.079
F(NI)	0.857	-0.171	-0.084	0.002	-0.032	-0.340
F(CU)	0.434	-0.021	0.031	-0.005	-0.097	-0.779
F(CO)	0.037	0.055	-0.103	0.056	0.957	-0.026
F(PB)	-0.120	0.161	0.061	0.898	0.103	0.119
F(ZN)	0.509	-0.023	-0.105	0.036	-0.085	-0.345
F(BE)	-0.242	0.750	-0.220	0.192	0.159	0.152
F(Y)	0.047	0.364	-0.736	0.086	0.278	-0.153

Tabla 53a: Saturaciones del ACP efectuado sobre los tenores brutos de la clase pedogeoquímica SEIN.

M	1	2	3	4	5	6
VALOR PROPIO	3.048	1.531	1.290	2.519	1.188	1.080
PORCENTAJE	23.445	11.775	9.927	19.378	9.141	8.307

* TABLA DE SATURACION *

F(FE2X)	0.645	-0.068	0.081	-0.637	0.037	-0.099
F(MN)	0.091	-0.241	-0.003	-0.824	0.017	0.230
F(P)	0.208	0.029	0.732	-0.408	-0.165	0.083
F(BA)	-0.073	0.912	0.005	0.072	-0.051	0.004
F(V)	0.842	0.068	0.025	-0.301	0.012	0.080
F(CR)	0.854	-0.298	0.047	0.006	-0.035	0.049
F(NI)	0.819	-0.195	-0.028	-0.392	0.087	0.062
F(CO)	0.351	0.036	0.064	-0.792	0.126	-0.072
F(CU)	0.077	0.062	-0.108	-0.063	-0.061	0.953
F(PB)	-0.079	0.193	-0.012	0.098	-0.904	0.079
F(ZN)	0.472	-0.090	-0.017	-0.562	-0.482	-0.031
F(BE)	-0.312	0.654	-0.239	0.152	-0.238	0.116
F(Y)	0.111	0.166	-0.819	-0.195	-0.148	0.215

Tabla 53b: Saturaciones del ACP efectuado sobre los tenores log-transformados de la clase pedogeoquímica SEIN.

M	1	2	3	4	5	6
VALOR PROPIO	2.806	1.726	3.503	1.131	1.094	1.195
PORCENTAJE	21.586	13.280	26.947	8.697	8.413	9.192

* TABLA DE SATURACION *

F(FE2X)	0.734	-0.053	0.584	-0.150	0.069	-0.105
F(MN)	0.923	0.033	0.014	-0.099	0.097	-0.190
F(P)	0.202	-0.217	0.260	-0.079	0.878	0.038
F(BA)	0.351	0.786	0.020	0.138	-0.234	-0.044
F(V)	0.325	-0.036	0.804	-0.079	0.045	-0.148
F(CR)	-0.059	-0.241	0.866	-0.159	0.176	-0.115
F(NI)	0.333	-0.037	0.819	-0.057	0.302	0.020
F(CO)	0.703	-0.030	0.598	0.039	-0.009	0.153
F(CU)	0.182	-0.055	0.561	-0.084	0.102	-0.673
F(PB)	-0.059	0.136	-0.176	0.944	-0.058	-0.141
F(ZN)	0.678	0.313	0.295	0.160	0.317	-0.064
F(BE)	-0.182	0.857	-0.258	0.002	-0.026	-0.157
F(Y)	0.093	0.362	-0.015	0.329	-0.117	-0.764

Tabla 54a: Saturaciones del ACP efectuado sobre los tenores brutos de la clase pedogeoquímica VOBA.

M	1	2	3	4	5	6
VALOR PROPIO	3.049	1.504	1.547	3.239	1.182	1.138
PORCENTAJE	23.452	12.264	11.898	24.913	9.090	8.753

* TABLA DE SATURACION *

F(FE2X)	0.778	-0.064	0.151	-0.511	0.126	0.162
F(MN)	0.875	-0.057	0.320	-0.101	0.111	0.218
F(P)	0.190	-0.201	-0.043	-0.257	0.824	0.052
F(BA)	0.189	0.862	0.005	-0.097	-0.176	-0.197
F(V)	0.365	0.041	0.176	-0.863	0.110	0.034
F(CR)	0.103	-0.220	0.164	-0.896	0.151	0.209
F(NI)	0.440	0.023	-0.007	-0.786	0.331	0.073
F(CO)	0.771	0.000	-0.095	-0.542	0.008	-0.053
F(CU)	0.261	-0.137	0.731	-0.477	-0.030	0.022
F(PB)	-0.110	0.173	0.171	0.184	-0.028	-0.926
F(ZN)	0.684	0.135	0.267	-0.234	0.421	-0.221
F(BE)	-0.323	0.763	0.238	0.340	-0.009	-0.010
F(Y)	0.150	0.320	0.813	0.004	0.001	-0.249

Tabla 54b: Saturaciones del ACP efectuado sobre los tenores log-transformados de la clase pedogeoquímica VOBA.

M	1	2	3	4	5	6
VALOR PROPIO	3.155	1.650	1.459	1.328	1.307	1.711
PORCENTAJE	26.290	15.420	12.156	11.070	10.888	14.258

* TABLA DE SATURACION *

F(FE2X)	0.855	0.325	0.055	-0.137	0.127	-0.122
F(MN)	0.145	-0.021	0.076	-0.042	0.067	-0.961
F(P)	-0.063	0.054	-0.128	-0.951	0.029	-0.052
F(BA)	-0.011	-0.406	0.708	0.097	-0.098	-0.255
F(V)	0.974	-0.029	-0.032	0.048	-0.026	-0.076
F(CR)	0.848	-0.111	-0.241	0.123	0.199	-0.232
F(NI)	0.077	-0.016	-0.050	-0.039	0.969	-0.047
F(CU)	0.429	0.048	-0.225	0.050	0.514	-0.508
F(PB)	-0.421	0.364	0.700	0.129	-0.093	0.206
F(ZN)	0.319	0.270	0.443	-0.458	0.033	-0.548
F(BE)	-0.036	0.541	0.010	-0.184	-0.061	0.017
F(Y)	0.497	0.684	-0.210	0.330	0.137	-0.206

Tabla 55a: Saturaciones del ACP efectuado sobre los tenores brutos de la clase pedogeoquímica GRMI.

M	1	2	3	4	5	6
VALOR PROPIO	3.098	1.417	1.804	1.467	1.243	1.723
PORCENTAJE	25.814	11.807	15.035	12.228	10.357	14.360

* TABLA DE SATURACION *

F(FE2X)	0.843	0.189	-0.254	0.028	0.096	-0.179
F(MN)	0.155	0.059	0.052	0.080	0.062	-0.948
F(P)	-0.063	0.942	-0.037	-0.122	0.038	-0.045
F(BA)	0.017	-0.077	0.388	0.789	-0.072	-0.232
F(V)	0.972	-0.051	0.036	-0.039	-0.008	-0.092
F(CR)	0.869	-0.171	0.089	-0.227	0.161	-0.212
F(NI)	0.076	0.061	0.004	-0.065	0.970	-0.071
F(CU)	0.378	-0.154	-0.017	-0.253	0.408	-0.541
F(PB)	-0.406	-0.064	-0.387	0.724	-0.122	0.152
F(ZN)	0.333	0.509	-0.278	0.334	0.014	-0.590
F(BE)	-0.039	0.172	-0.949	0.009	-0.046	0.015
F(Y)	0.483	-0.364	-0.669	-0.256	0.138	-0.125

Tabla 55b: Saturaciones del ACP efectuado sobre los tenores log-transformados de la clase pedogeoquímica GRMI.

M	1	2	3	4	5	6
VALOR PROPIO	4.084	1.598	1.333	1.670	1.479	1.148
PORCENTAJE	31.412	12.253	10.255	12.848	11.379	8.833

* TABLA DE SATURACION *

F(FE2X)	0.870	0.169	-0.023	0.308	0.113	-0.174
F(MN)	0.226	0.011	-0.256	0.382	0.571	-0.422
F(P)	0.354	-0.035	0.133	0.876	-0.038	0.106
F(BA)	0.029	-0.110	0.903	0.005	-0.029	-0.173
F(V)	0.913	0.110	0.258	0.077	0.103	-0.016
F(CR)	0.944	-0.075	0.009	0.232	0.070	0.033
F(NI)	0.753	-0.228	-0.217	0.156	0.251	-0.170
F(CO)	0.731	-0.115	-0.190	0.128	0.284	-0.319
F(CU)	0.225	-0.003	0.037	-0.010	0.905	0.135
F(PB)	-0.174	0.023	-0.217	0.088	0.079	0.863
F(ZN)	0.427	0.057	-0.300	0.669	0.373	-0.054
F(BE)	-0.173	0.872	0.077	0.197	-0.069	0.032
F(Y)	0.173	0.641	-0.281	-0.261	0.085	-0.001

Tabla 56a: Saturaciones del ACP efectuado sobre los tenores brutos de la clase pedogeoquímica GRFI.

M	1	2	3	4	5	6
VALOR PROPIO	4.209	1.915	1.327	1.421	1.347	1.209
PORCENTAJE	32.378	14.732	10.210	10.927	10.360	9.300

* TABLA DE SATURACION *

F(FE2X)	0.879	0.223	0.202	0.133	-0.052	-0.189
F(MN)	0.174	0.813	0.072	0.184	-0.202	-0.325
F(P)	0.420	0.090	0.096	0.831	0.065	0.065
F(BA)	0.022	-0.090	0.049	0.098	0.929	-0.119
F(V)	0.923	0.146	0.018	-0.036	0.239	-0.018
F(CR)	0.940	0.112	-0.127	0.171	-0.052	-0.013
F(NI)	0.762	0.243	-0.239	0.146	-0.214	-0.227
F(CO)	0.655	0.298	-0.024	0.141	-0.138	-0.422
F(CU)	0.296	0.852	-0.118	-0.112	0.056	0.219
F(PB)	-0.208	0.004	0.182	0.061	-0.164	0.862
F(ZN)	0.474	0.517	0.167	0.470	-0.407	-0.036
F(BE)	-0.121	-0.040	0.906	0.067	0.082	0.150
F(Y)	0.337	0.109	0.547	-0.595	-0.330	0.059

Tabla 56b: Saturaciones del ACP efectuado sobre los tenores log-transformados de la clase pedogeoquímica GRFI.

Conjunto geoquímico	Inercia explicada (%) por el ACP		
	Naturales	Logaritmos	Diferencia
CALC	88.5	86.9	1.6
ESQU	91.1	90.9	0.2
SEIN	82.6	82.0	0.6
VOBA	88.1	90.4	-2.3
GRMI	90.1	89.6	0.5
GRFI	87.0	87.9	-0.9
Total	84.0	85.9	-1.9

Tabla 57: Comparación de las varianzas explicadas por los modelos con 6 componentes factoriales para los datos brutos y los log-transformados de los diferentes conjuntos geoquímicos establecidos por ADI y la población total.

Clase	Modelo ACP con 6 ejes (datos brutos)					
	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	Eje 6
CALC (88.5%)	Mn(0.9)-Ni(0.7) Fe(0.6)-Zn(0.6) Co(0.6)-Cu(0.5) (23.7%)	P(0.9)-Zn(0.5) (10.1%)	Pb(0.8)-Co(0.6) (10.8%)	V(0.9)-Cr(0.8) Fe(0.6)-Cu(0.6) Ni(0.5) (21.7%)	Be(0.9)-Y(0.8) (13.2%)	Ba(0.9) (9.0%)
ESQU (91.0%)	Fe(0.9)-Co(0.9) Mn(0.8)-V(0.8) Cu(0.8)-Ni(0.8) (35.0%)	Pb(0.9)-Zn(0.9) (13.6%)	Be(0.9)-Y(0.9) (12.9%)	P(0.9) (9.2%)	Ba(0.9) (10.5%)	Cr(0.8)-Ni(0.5) (17.7%)
SEIN (62.6%)	Ni(0.8)-V(0.8) Cr(0.8)-Fe(0.9) Zn(0.5) (24.0%)	Ba(0.9)-Be(0.7) (13.3%)	P(0.7)-Y(0.7) (9.5%)	Pb(0.9)-Zn(0.6) (9.8%)	Cu(0.9) (8.4%)	Mn(0.8)-Co(0.8) Fe(0.6) (17.7%)
VOBA (88.1%)	Mn(0.9)-Fe(0.7) Co(0.7)-Zn(0.7) (21.6%)	Be(0.8)-Ba(0.8) (15.4%)	Cr(0.9)-V(0.9) Ni(0.8)-Co(0.6) Fe(0.6)-Cu(0.6) (26.9%)	Pb(0.9) (8.7%)	P(0.9) (8.4%)	Y(0.8)-Cu(0.7) (9.2%)
GRMI (90.1%)	V(1.0)-Fe(0.8) Cr(0.8)-Y(0.5) (26.3%)	Be(0.9)-Y(0.7) (15.4%)	Ba(0.8)-Pb(0.7) (12.2%)	P(1.0) (11.1%)	Ni(0.9)-Cu(0.5) (10.9%)	Mn(1.0)-Zn(0.5) Cu(0.5) (14.2%)
GRFI (87.0%)	Cr(0.9)-V(0.9) Fe(0.9)-Ni(0.7) Co(0.7) (31.4%)	Be(0.9)-Y(0.8) (12.3%)	Ba(0.9) (10.3%)	P(0.9)-Zn(0.7) (12.8%)	Cu(0.9)-Mn(0.8) (11.4%)	Pb(0.9) (8.8%)
Total (84.0%)	Mn(0.9)-Co(0.7) Zn(0.7)-Fe(0.7) Ni(0.6) (23.3%)	Y(0.9)-Be(0.8) Pb(0.5) (13.6%)	Cu(0.9)-V(0.8) (15.4%)	Ba(1.0) (8.4%)	P(0.9) (8.6%)	Cr(0.8)-Ni(0.6) Fe(0.5)-Pb(0.6) (14.7%)

Tabla 58: Comparación de los ejes principales obtenidos en los ACP efectuados sobre los tenores brutos de las diferentes clases de muestras establecidas por ADI y el conjunto global de muestras. Entre paréntesis damos los porcentajes de varianza explicada y las saturaciones.

mantienen incambiadas para las distintas clases de muestras.

Es así, que un factor es en general caracterizado casi exclusivamente por el P, a veces acompañado de Zn o Mn a bajas saturaciones, y en el caso de la modalidad SEIN opuesto al Y. Explica un 8.4 a 12.8% de las inercias de las subpoblaciones de muestras y concuerda con un eje del ACP para la población total. El fósforo exhibe entonces un comportamiento relativamente independiente del resto de los elementos considerados, y su ligera asociación con algunos metales de transición se debería a la formación de fosfatos secundarios y a la adsorción de fosfatos sobre los óxidos férricos. Las posibles relaciones causales en el ambiente primario ya fueron mencionadas anteriormente. Otro factor es determinado por el Ba, en ocasiones junto al Be (SEIN y VOBA) o al Pb (GRMI) y considera entre un 8.4 y 12.8% de las varianzas totales. Un tercer factor se satura particularmente en Pb, con Co (CALC) o Zn (ESQU y SEIN), figurando en la clase GRMI como Ba-Pb. La asociación Pb-Zn de la clase ESQU es muy sugestiva, y su causal genético sería la presencia de sulfuros de estos metales. En el muestreo las coordenadas elevadas en esta dirección principal corresponden a localidades (8016 y también 8065 y 8073) con tenores elevados en Pb (hasta 50ppm) y Zn (hasta 250ppm) en la zona de la anomalía en Cu (y V). La muestra 8016, a su vez, presenta un tenor asociado en Ag de 0.6ppm y 4ppm de Mo, indicando aparentemente a nivel local un carácter polimetálico de la mineralización. Este componente principal es interpretado, entonces, en términos de una mineralización en metales de base. Por el contrario, la relación Pb-Zn en el conjunto SEIN no presenta ninguna filiación con la anomalía geoquímica en estudio y no muestra una autocorrelación particular de las correspondientes coordenadas factoriales. Aquí este factor estaría indicando la covariación de los tenores de Pb (15-30ppm) y Zn (90-150ppm) en las litologías sedimentarias que conforman esta clase, y la presencia de una localidad anómala en ambos metales de base (8024, $x_{Pb}=47ppm$, $x_{Zn}=254ppm$) en la proximidad de una cantera de calizas.

El factor principal, que explica más del 20% de las varianzas composicionales de las clases pedogeoquímicas, agrega a los metales del grupo del Fe con algunas variantes. Para VOBA (25.0%), CALC (23.7%) y ESQU (35.0%), al igual que para la población global la asociación, abarca al Mn y Fe, ambos con saturaciones elevadas, y al Co, Zn y también al Ni y Cu en CALC y ESQU. En esencia, es un factor descriptor de los fenómenos secundarios de adsorción y absorción de metales trazas en los óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, si bien por ésto no está desvinculado de la composición química de las rocas subyacentes, que regularían la disponibilidad de Fe, Mn y los metales trazas involucrados en el medio superficial. En el conjunto ESQU a pesar de haber excluido del análisis a las muestras con tenores excepcionales en Cu (>150 ppm) advertimos que tanto el Cu como el V muestran correlaciones sustanciales con esta dirección principal. Para las clases SEIN (24.0%), GRMI (26.3%) y GRFI (31.4%) el primer eje factorial está determinado por Ni, Cr, V y Fe, y es seguramente un indicador de la basicidad del ambiente geoquímico por la presencia de minerales ferromagnesianos en el ambiente primario, y el comportamiento similar de estos elementos durante la meteorización y dispersión en el medio superficial.

En general, el segundo factor más importante corresponde a las asociaciones ya discutidas. Es así, que para CALC (21.7%) y VOBA (26.9%) este factor es caracterizado por V-Cr-Fe-Ni-Co y únicamente por Cr-Ni en la clase ESQU. Por el contrario, en las unidades SEIN (17.7%), GRMI (14.2%) y GRFI (11.4%) el eje está definido por Mn con algún metal de transición, Co, Zn, Cu, etc..

Una asociación de quimismo alcalino, generalmente a Be-Y, explica entre un 12 y un 14% de las varianzas totales. En algunas clases, el Be se correlaciona con el Ba en una dirección principal y, entonces, el Y determina otro factor en oposición con el P (SEIN y VOBA).

Resumiendo, el Fe, Ni, Cr, Co, V y Mn dan cuenta de las

variaciones mayores en la pedogeoquímica del sector, independientemente del nivel de los tenores. Los otros factores se manifiestan como descriptores del quimismo alcalino (Be-Y-Ba), del comportamiento relativamente independiente del P y el Pb, y de la posible presencia de mineralizaciones de sulfuros de metales de base (Pb-Zn).

3.2.3.5. Estudio de las clases pedogeoquímicas relacionadas con las intrusiones graníticas

Las clases geoquímicas mejor definidas por análisis discriminante corresponden a los suelos desarrollados sobre las lavas básicas (VOBA) y las diferentes intrusiones graníticas (GRMI y GRFI). Como mencionamos anteriormente, el ADI confirmó lo que ya había sido evidenciado por diferentes representaciones cartográficas respecto a que la intrusión sur del granito de Minas exhibe un quimismo más próximo al de los microgranitos y microgranodioritas del NW y SE del sector, que al del granito de Minas Norte. En el campo esta diferencia a nivel pedogeoquímico está de acuerdo con una realidad geomorfológica. Nos planteamos, entonces, la posibilidad de afinar el análisis del espectro geoquímico de las clases de muestras establecidas por análisis factorial discriminante relacionada con los granitoides, intentando específicamente optimizar la clasificación a nivel del conjunto GRFI.

En la figura 87 comparamos los coeficientes de variación (desviaciones estándares relativas) para las clases GRFI, GRMI y VOBA, y la población total. Las unidades GRMI y VOBA exhiben dispersiones menores que las de la clase GRFI para todos los elementos excepto el Mn. Respecto a este elemento la clase más homogénea sería la correspondiente a las intrusiones micrograníticas, que a su vez muestra dispersiones para el Be y el Co menores que la del grupo VOBA. Este diagrama pone de manifiesto que la clase GRFI es más heterogénea, desde un punto de vista geoquímico, que las clases características del granito de Minas Norte y de los volcanitos

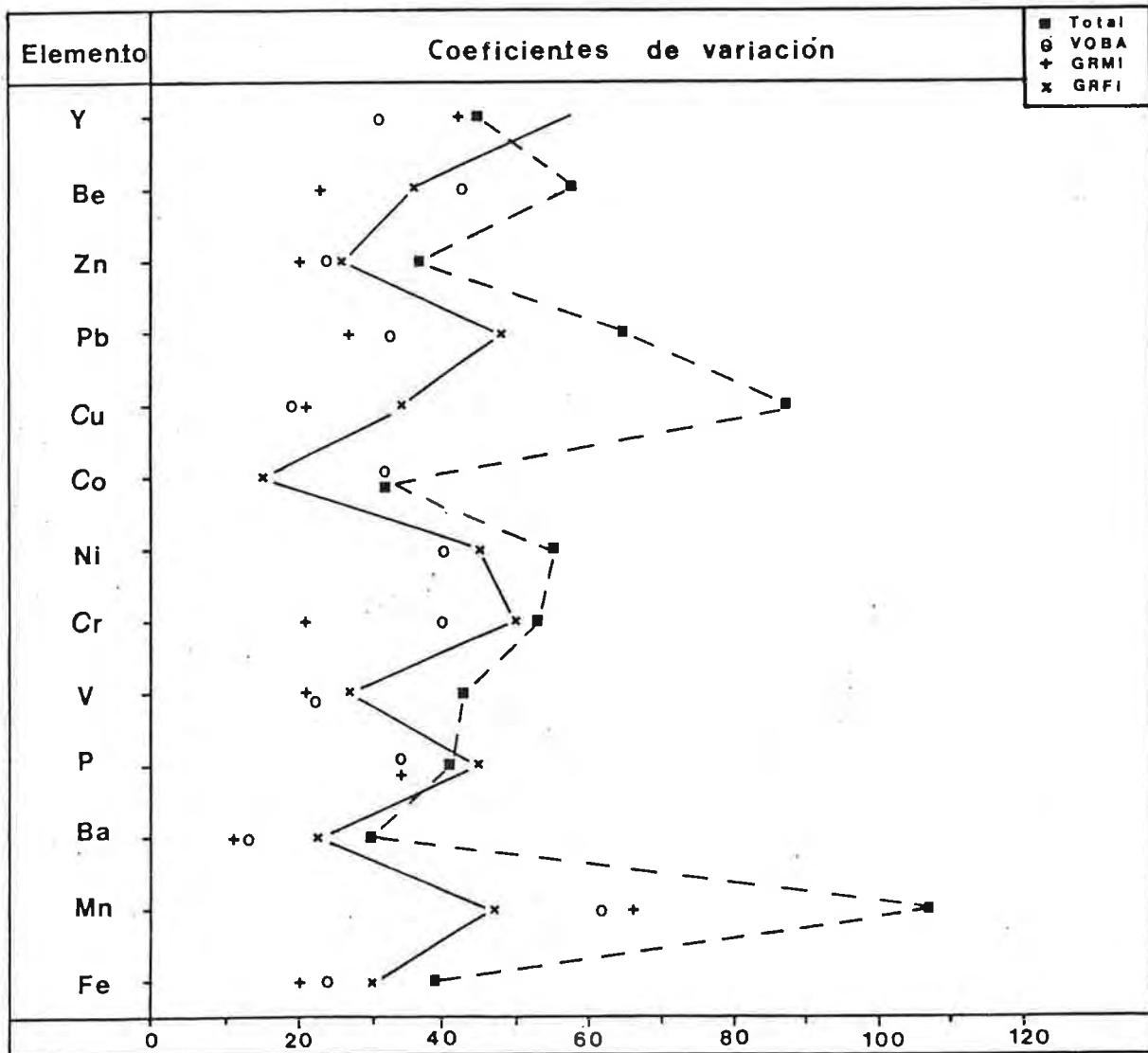


Figura 87

básicos. Con el propósito de identificar, dentro de este conjunto geoquímico, subgrupos de muestras homogéneas procedimos a analizar la población GRFI por medio del método de clasificación ascendente jerárquica. A priori, nuestro deseo consistía en poder escindir la clase GRFI en un mínimo de dos grupos, uno definido por los suelos sobre los microgranitos y microgranodioritas, y otro conformado por las localidades sobre la intrusión sur del granito de Minas.

En una primera etapa llevamos a cabo una clasificación de los elementos en modo R con transformación logarítmica de los tenores. El dendrograma resultante se presenta en la figura 88. Los primeros OTU'S en agregarse son el Cr y V ($r_L=0.88$) y luego se asocian al Fe ($r_L(\text{Cr-Fe})=0.87$ y $r_L(\text{V-Fe})=0.83$), predecible a partir de los momentos de Pearson de la tabla 50. A este taxón luego se unen el Co y el Ni ($r_L=0.72$), y el grupo obtenido Cr-V-Fe-Co-Ni coincide con la asociación de elementos que saturan al primer eje del análisis en componentes principales (tabla 56). La reconocemos como la asociación máfica, que a nivel de los granitos indicaría el contenido de minerales ferromagnesianos en los mismos. El grupo conformado por Zn, P, Mn y Cu se relaciona principalmente con el ambiente secundario, representando los procesos de retención de metales trazas por los oxidados de Mn y los fosfatos; y muestra una correlación cofenética considerable con el grupo anterior. Al conjunto resultante se opone la asociación de Y, Be, Pb y Ba, que como ya dijimos es característica de rocas graníticas (sustitución de K^+ en feldespatos potásicos de Ca^{++} en plagioclasas, ...).

El análisis en modo Q, involucrando los mismos elementos originó el escalograma de la figura 89. Esta clasificación señaló que existen tres subconjuntos de muestras bien diferenciadas.

El primer grupo esta constituido por varias muestras transicionales, recolectadas en las proximidades de la formación Sierra

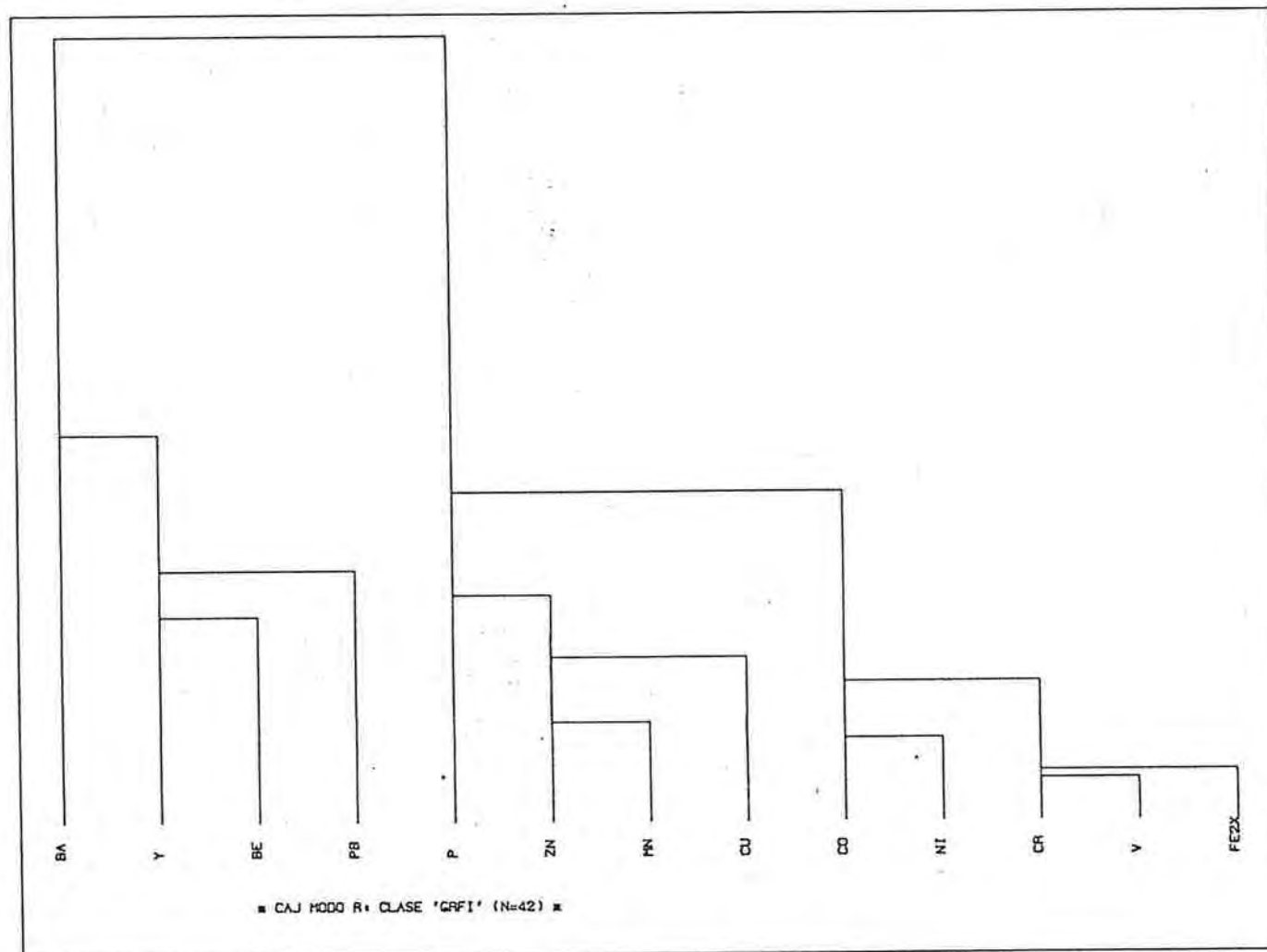
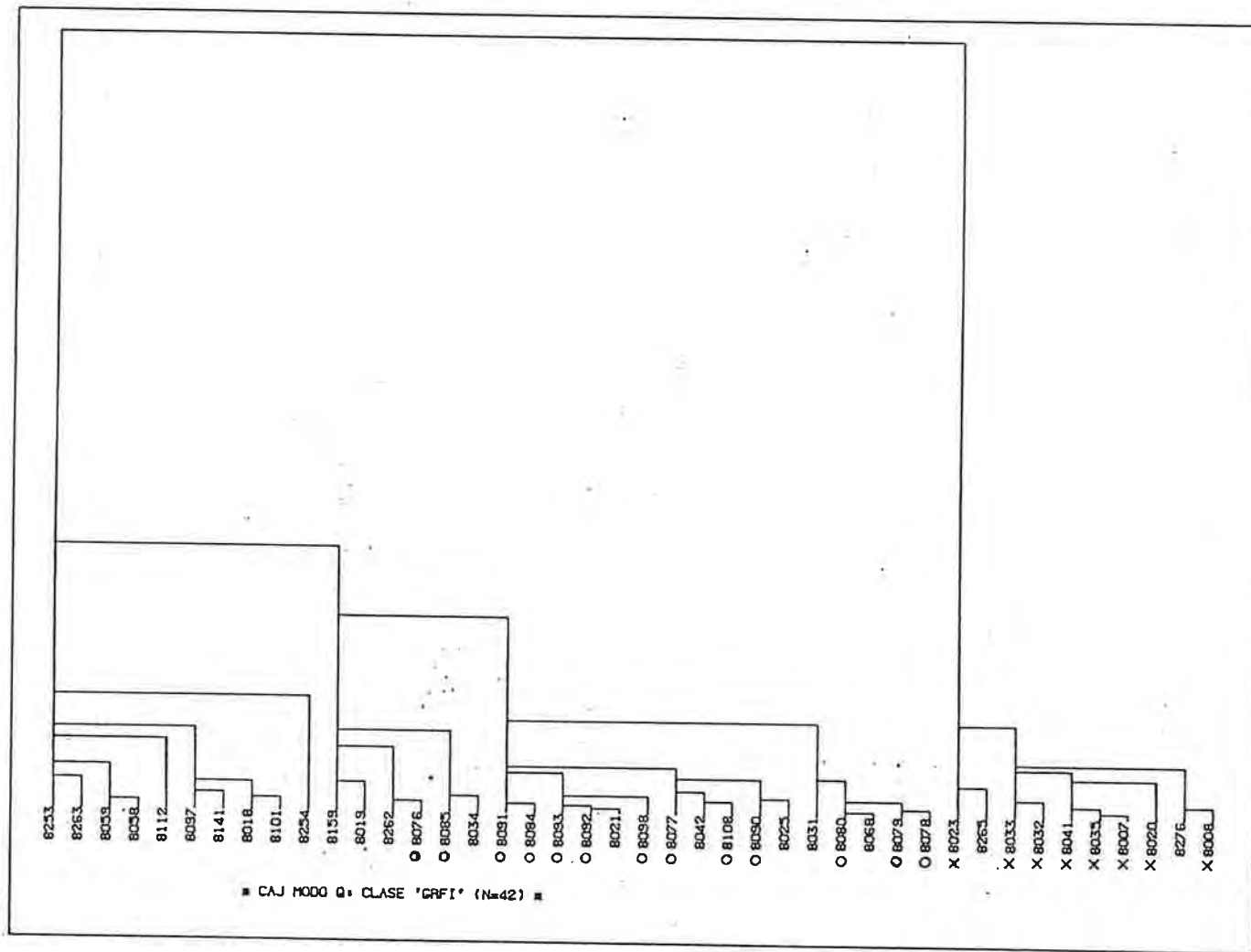


Figura 88



○: GRMI-S x: GRFI-NW

Figura 89

de Animas (localidades 8058, 8059, 8101 y 8112), sobre las calizas rodeando a la intrusión microgranítica del NW (localidad 8141), tres muestras que representan al microgranito cataclástico del SE (localidades 8253, 8254 y 8262) y una correspondiente al microgranito del NW (localidad 8018). Esta asociación de localidades no será examinada con mayor detalle. Su importancia radica en denotar que los suelos en las cercanías de las litologías alcalinas de la Sierra de Animas (traquitas, sienitas, ...), o quizás sobre ellas, presentan un perfil geoquímico similar al de los desarrollados sobre los microgranitos cataclásticos del SW del sector.

La segunda clase es la más numerosa y contiene 13 muestras representativas de la intrusión sur del granito de Minas, es decir, casi el 100% (excepto la localidad 8017) de las muestras recolectadas sobre este granitoide afectadas por el ADI a la clase GRFI. A estas muestras las denominaremos GRMI-S en oposición a la clase GRMI-N, hasta ahora GRMI, correspondiente al granito de Minas Norte. De las nueve muestras restantes de este grupo, cinco se relacionan con el contacto del microgranito del NW con las calizas dolomíticas, análogamente una (localidad 8159) en la periferia de la intrusión norte del granito de Minas, y otra (8042) inmediata a la Sierra de Animas, y las localidades 8262 sobre el microgranito cataclástico y la 8068 aparentemente sobre la banda de metalavas básicas en el W del sector.

Finalmente, el tercer grupo es el mejor caracterizado y se conforma netamente de ocho muestras sobre los granitos a grano fino del NW, que denominaremos clase GRFI-NW, y dos muestras poco netas, provenientes de una localidad (8265) sobre las calizas intruidas por los granitos a grano fino cataclásticos y otra (8276) sobre el conjunto de grauvacas, cuarcitas, filitas, ... en el borde sur del granito de Minas Norte.

Analizaremos las clases GRFI-NW y GRMI-S, que como reveló el dendrograma de la CAJ parecen poseer un espectro geoquímico

sensiblemente diferente. En la tabla 59 comparamos las medias aritméticas y geométricas, los coeficientes de variación y la *t* de Student de la composición de las medias logarítmicas de los dos subconjuntos de muestras. Los dos grupos de muestras exhiben tenores en Ba, Cu, Pb, Be e Y indistinguibles a un nivel de confianza del 95%. Los suelos desarrollados sobre la intrusión sur del granito de Minas (GRMI-S) muestran tenores medios en Fe, P, Cr, Ni, Co y Zn ($\alpha=0.001$) y también Mn y Zn ($\alpha=0.01$) significativamente menores que los desarrollados sobre la intrusión microgranítica del NW (GRFI-NW). En consecuencia, podemos decir que el granito de Minas Sur es sensiblemente más pobre en minerales máficos que el granito a grano fino del NW, lo que a nivel pedológico se refleja por los tenores más bajos en los metales siderófilos y también el P. La clase GRFI-NW también parece ligeramente enriquecida en Ba respecto a la GRMI-S, si bien la diferencia es trivial desde un punto de vista estadístico. También advertimos que la zona sur del granito de Minas exhibe tenores en Mo entre 2 y 5ppm, con un tenor medio de 2.6ppm. Dos localidades de muestreo directamente al norte de este granitoide muestran tenores de 5 y 9ppm en Mo (8100 y 8149) y se relacionarían con la anomalía geoquímica a Cu y V.

En la tabla 6Q comparamos los tenores medios de las diferentes unidades pedogeoquímicas de los granitoides (GRMI-N, GRMI-S y GRFI-NW) y los metavolcanitos básicos (VOBA) junto con los tenores medios de muestras de rocas de las correspondientes litologías y los tenores líticos fundamentales para granitos, granodioritas, rocas intermedias (dioritas, andesitas, ...) y básicas (gabros, basaltos, ...) publicados por Beus A.A. y Grigorian S.V. (1977) y Granier C. (1973).

Los tenores litogeoquímicos confirman las diferencias de quimismo de las diferentes unidades pedogeoquímicas. El "orden de basicidad", medido por el contenido medio en los elementos ferromagnesianos (Fe, Mn, V, Ni, Cr, Co y Zn) es:

$$\text{GRMI-N} < \text{GRMI-S} < \text{GRFI-NW} < \text{VOBA}$$

Elemento	Clase GRMI-S (n=13)			Clase GRFS-NW (n=8)			t'
	G	\bar{x}	V(%)	G	\bar{x}	V(%)	
Fe ₂ O ₃ (%)	4.7	4.7	18	7.0	6.9	20	4.89 AS
Mn (ppm)	532	581	45	937	945	12	3.62 S
Ba	537	556	28	601	611	18	1.05 NS
P	364	373	23	784	819	31	6.52 AS
V	79	80	17	108	111	23	3.74 S
Pb	17	17	42	14	15	32	0.70 NS
Zn	59	59	14	88	89	14	6.41 AS
Ni	15	16	23	25	26	29	4.22 AS
Cr	45	46	20	85	89	33	5.70 AS
Co	10.3	10.3	8	12.6	12.8	16	4.25 AS
Cu	28	28	28	28	29	24	0.09 NS
Mo	2.5	2.6	41	<2	<2	-	-
Be	2.7	2.8	38	2.8	2.9	23	0.29 NS
Y	20	23	64	17	17	12	1.09 NS

Tabla 59: Comparación de las medias geométricas, G, y aritméticas, \bar{x} , y coeficientes de variación, V(%), para las clases geoquímicas GRMI-S y GRFI-NW. El valor t' examina la significación de la diferencia entre las medias logarítmicas (test de Student). Los valores críticos de t para f=19 grados de libertad son:

$$t_{0.05} = 2.093, \quad t_{0.01} = 2.861 \quad \text{y} \quad t_{0.001} = 3.883$$

NS: no significativo; S: significativo y AS: altamente significativo.

Elemento	GRMI-N		GRMI-S		GRFI-NW		VOBA		Tenores líticos corticales			
	G _p	\bar{x}_1	G _p	\bar{x}_1	G _p	\bar{x}_1	G _p	\bar{x}_1	Granitos	Grano-dioritas	Dioritas, andesitas	Gabros, basaltos
Fe ₂ O ₃ (%)	3.2	2.9	4.7	3.5	7.0	7.9	7.6	9.9	2.6	4.7	7.9	12.0
Mn (ppm)	367	590	532	647	937	765	1523	1094	400	700	1200	1200
Ba	401	512	537	992	601	632	314	650	840	450	380	330
P	345	342	364	961	784	714	437	793	600	1100	1500	1500
V	43	11	79	34	108	65	85	155	44	88	150	250
Pb	18	25	17	22	14	<10	11	<10	19	15	12	6
Zn	52	82	59	68	88	102	88	112	39	56	75	105
Cu	11	<10	28	25	28	29	23	38	10	26	40	87
Ni	<10	<10	15	12	25	30	37	193	4.5	15	50	160
Cr	15	19	45	35	85	42	69	290	10	22	55	300
Co	<10	<10	<10	<10	13	12	16	36	1	7	9	45
Be	5.3	6.5	2.5	3.0	2.8	2.5	1.4	1	3.5	2.5	1.8	0.4
Y	28	56	20	14	17	22	17	28	40	34	29	21
Nb	<10	37	<10	<10	<10	<10	<10	<10	21	20	3.5	19
Número de muestras	40	2	13	2	8	2	29	3				

Tabla 60: Comparación de los tenores medios de las unidades pedogeológicas, G_p, y de las correspondientes rocas madres, \bar{x}_1 , denominadas GRMI-N, GRMI-S (intrusiones norte y sur del granito de Minas), GRFI-NW (granito a grano fino del NW) y VOBA (metalavas básicas). Adjuntamos los tenores medios corticales para las rocas ígneas publicados por Beus A.A. y Grigorian S.V. (1977) y Granier C. (1973).

En lo que respecta al Be, Y y Pb la secuencia sería aproximadamente la inversa, señalando a la clase GRMI-N como el polo ácido. Las diferencias entre los espectros geoquímicos de los suelos y sedimentos sobre las distintas unidades litológicas y la composición química de las correspondientes rocas madres serían explicables en términos de diferentes fenómenos pedogenéticos, más aún, si consideramos los caracteres geomorfológicos que afectan la filiación del material superficial muestreado con el substrato lítico. Advertimos algunas diferencias importantes entre las concentraciones de Ba de los suelos desarrollados sobre la intrusión sur del granito de Minas y las metalavas básicas con los respectivos tenores en roca, siendo en ambos la relación rocas:suelos (sedimentos) de 2:1. Algo similar ocurre con el P, con una relación rocas:suelos de 2.6:1 para el granito de Minas Sur y 1.8:1 para las metalavas básicas. El V se encuentra enriquecido en los suelos y sedimentos, mientras que el Zn aparentemente es más lixiviado. El Fe sería mejor retenido en los suelos sobre el granito de Minas en comparación con los desarrollados sobre los metavolcanitos básicos, y el Mn muestra un comportamiento inverso. Esto puede explicarse por las condiciones de pH y Eh reinantes en uno y otro medio determinadas, en parte, por el drenaje de los suelos (mayor sobre el granito de Minas). En la unidad VOBA los tenores en Ni y Cr de la cobertura pedológica son muy inferiores a los líticos, en las relaciones 5.2:1 y 4.2:1, respectivamente. Un estudio detallado de la relación de la composición química de la terna rocas-suelos-sedimentos hubiese requerido otro tipo de muestreo y la medida de otros parámetros directrices (pH, Eh, contenido de arcillas, materia orgánica, elementos mayores, ...).

A pesar del bajo número de muestras de rocas analizadas compararemos, a título indicativo, los tenores encontrados con los datos publicados para las concentraciones corticales medias. Los espectros geoquímicos del granito de Minas concuerdan bien con el de un granito medio. La intrusión norte se mues-

tra empobrecida en Ba (-39%), P (-43%) y V (-75%) y enriquecida en Zn (+110%) y Be (+86%) respecto a los correspondientes tenores globales. Granier C. (1973) publica un tenor medio de 5.5ppm en Be para las rocas ácidas (granitos, riolitas, ...), valor próximo al estimado para el granito de Minas Norte. Esta intrusión granítica manifiesta una tendencia más alcalina que la zona sur, a su vez enriquecida en Fe (+35%), Mn (+62%), P (+60%), Zn (+74%), Cu (+150%), Ni (+167%), Cr (+250%) y empobrecida en Y (-65%) respecto a un granito medio, mostrando en lo que respecta a Mn, P, Zn, Cu, Ni y Cr un comportamiento más bien granodiorítico. El perfil geoquímico de la intrusión microgranítica del NW se muestra enriquecido en Fe (+68%), Ba (+40%), Zn (+82%), Ni (+100%), Cr (+91%) y empobrecido en P (-35%) e Y (-35%) respecto a una granodiorita media, exhibiendo un espectro geoquímico intermedio entre una granodiorita y una diorita. En efecto, esta unidad fue cartografiada como una microgranodiorita durante un reconocimiento geológico regional del sector (Equipo de Geólogos del I.G.U., 1981). Las metalavas básicas presentan, a su vez, un quimismo medio entre el de una andesita y un basalto, aproximándose más a este último en su contenido en Zn, Ni, Cr y Co.

En el diagrama de la figura 90 hemos representado la relación de los tenores medios de los diferentes elementos en cada una de las unidades pedogeoquímicas GRMI-S, GRFI-NW y VOBA respecto a la clase GRMI-N. El comportamiento de las clases pedogeoquímicas es similar al descrito a nivel de las muestras de rocas. Los suelos desarrollados sobre el granito de Minas Norte son los más ricos en Be, Y y Pb, seguidos por los de la intrusión sur del granito del mismo nombre. El recubrimiento pedológico de las metalavas básicas enseña el máximo contenido en los elementos máficos, particularmente Fe, Mn, Ni y Co. El tenor medio en Zn de esta clase es igual al de las microgranodioritas del NW; y éstas, a su vez, exhiben un contenido en Cr sensiblemente mayor (+23%).

Comparamos los espectros geoquímicos de los tres grupos

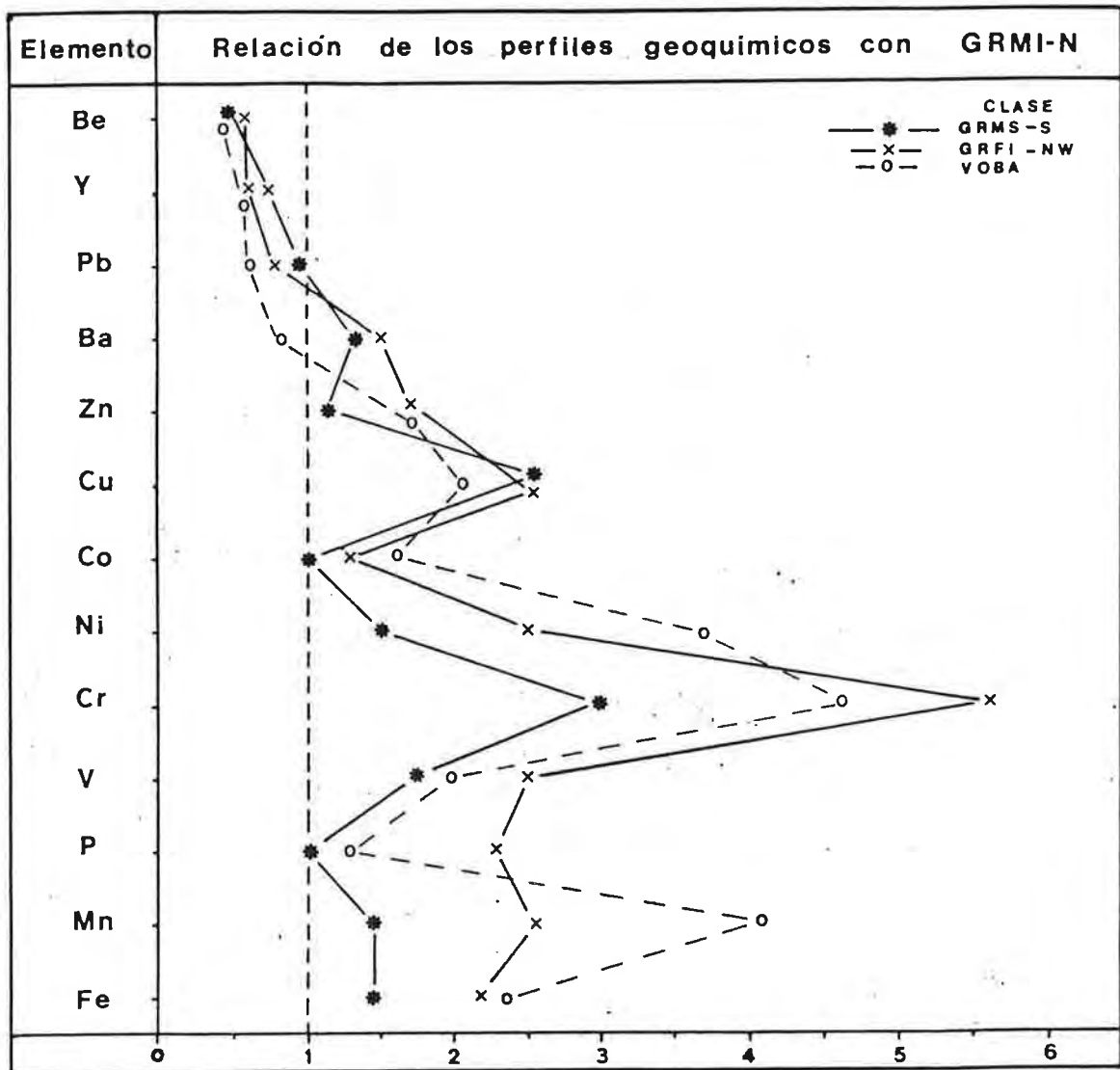


Figura 90: Relación de los tenores medios de los diferentes elementos en cada clase pedogeoquímica (GRMI-S, GRFI-NW y VOBA) respecto a la clase GRMI-N.

de muestras relacionadas con los granitoides (GRMI-N, GRMI-S y GRFI-NW) mediante un análisis de varianza y el test SNK para la comparación múltiple de las medias de los tenores log-transformados (tabla 61). De esta forma pudimos establecer el orden de los tenores medios de las tres clases de carácter granítico a un nivel de significación estadística de 0.05.

Para Fe, Mn, V, Cr, Ni y Zn advertimos la secuencia siguiente:

$GRMI-N < GRMI-S < GRFI-NW$,
mientras que para el P y Co observamos:

$GRMI-N = GRMI-S < GRFI-NW$,
y para el Ba y Cu:

$GRMI-N < GRMI-S = GRFI-NW$,

En lo que se refiere al Be e Y, la pedogeoquímica de la intrusión sur del granito de Minas es indistinguible de aquella de las granodioritas a grano fino del NW:

$GRMI-S = GRFI-NW < GRMI-N$.

Las diferencias de los tenores en Pb de los suelos desarrollados sobre los diferentes granitoides son triviales para un nivel de confianza del 95%.

En consecuencia, tanto los tenores medios líticos como pedológicos, patentizan que la intrusión sur del granito de Minas tiene un comportamiento geoquímico sustancialmente diferente al de la intrusión norte del granito homónimo. Esto podría estar indicando que el granito de Minas Sur o ha sufrido una distinta evolución magmática o, lo que es más plausible, se ha visto afectado por distintos procesos metasométicos postcristalinos que el granito de Minas Norte. Estas hipótesis explicarían la diferenciación geoquímica interzonal del granito de Minas.

Un estudio comparativo de las interdependencias entre

Elemento	Suma de cuadrados			F'	Conclusión del test SNK ($\alpha=0.05$)
	Total (60)	Granitos (2)	Residual (58)		
Fe ₂ O ₃ (%)	6.817	4.449	2.368	54.5 AS	GRMI-N < GRMI-S < GRFI-NW
Mn (ppm)	22.698	6.325	16.373	11.2 AS	GRMI-N < GRMI-S < GRFI-NW
Ba	3.242	1.600	1.642	28.3 AS	GRMI-N < GRMI-S = GRFI-NW
P	9.358	4.568	4.790	27.6 AS	GRMI-N = GRMI-S < GRFI-NW
V	10.117	7.675	2.443	91.1 AS	GRMI-N < GRMI-S < GRFI-NW
Pb	6.022	0.594	5.428	3.17PS	GRFI-NW = GRMI-S = GRMI-N
Zn	3.744	1.838	1.906	28.0 AS	GRMI-N < GRMI-S < GRFI-NW
Cu	13.761	11.354	2.406	136.8 AS	GRMI-N < GRMI-S = GRFI-NW
Ni	7.409	6.188	1.220	147.1 AS	GRMI-N < GRMI-S < GRFI-NW
Cr	30.016	26.904	3.112	250.7 AS	GRMI-N < GRMI-S < GRFI-NW
Co	0.585	0.364	0.222	47.6 AS	GRMI-N = GRMI-S < GRFI-NW
Be	9.819	6.061	3.758	46.8 AS	GRMI-S = GRMI-NW < GRMI-N
Y	10.708	2.060	8.648	6.9 S	GRFI-NW = GRMI-S < GRMI-N

Tabla 61: Resultados del análisis de varianza y del test de Student-Newman-Keuls (SNK) para la comparación múltiple de las medias de los tenores log-transformados de las clases pedogeoquímicas relacionadas a los granitoides. Entre paréntesis se indican los grados de libertad de cada fuente de variación. Los valores críticos de F para $n_1=2$ y $n_2=58$ grados de libertad son: $F_{0.05}=3.15$, $F_{0.01}=4.99$ y $F_{0.001}=7.79$.

NS: no significativo; PS: posiblemente significativo; S: significativo y AS: altamente significativo.

los elementos reveló un patrón de correlaciones bastante similar a nivel de las tres clases GRMI-N, GRMI-S y GRFI-NW. Efectivamente, en la intrusión sur del granito de Minas se observan relaciones entre los elementos de la primera serie de transición Fe-V ($r_L=0.98$), Fe-Cr ($r_L=0.57$) y Mn-Zn ($r_L=0.56$), significativas a un nivel de 0.05, y también entre Be-Pb ($r_L=0.62$) y Be-Y ($r_L=0.65$), análogas a las establecidas para la intrusión norte (tabla 49). En la clase GRFI-NW la asociación entre los metales máficos es más clara, Fe-V ($r_L=0.90$), Fe-Cr ($r_L=0.80$), Cr-V ($r_L=0.89$), Cu-Ni ($r_L=0.81$), Cu-Mn ($r_L=0.72$) y Cr-Ni ($r_L=0.71$), de acuerdo con su mayor carácter básico. El P se muestra correlacionado directamente al Zn ($r_L=0.083$) y Be ($r_L=0.79$), e inversamente al Co ($r_L=0.86$) e Y ($r_L=-0.68$), y este último muestra una relación significativa a un nivel de 0.01 con el Co ($r_L=0.78$). La relación inversa del Y con el P indicaría una preferencia del Y al sustituir al Ca en el esfeno frente al apatito, y también la posibilidad de fijarse en las plagioclasas y las micas. Parecería que, asimismo, a nivel de las relaciones interelementos la distribución de los elementos en los suelos sobre la granodiorita a grano fino del NW sería diferente a la correspondiente al granito de Minas.

Concluimos, finalmente, que el análisis discriminante en conjunción con la técnica de clasificación ascendente jerárquica han permitido establecer clases pedogeoquímicas homogéneas relacionadas directamente con las intrusiones graníticas del sector estudiado. Se pudo comprobar que la intrusión sur del granito de Minas exhibe un perfil geoquímico, tanto a nivel de rocas como de suelos, sensiblemente diferente al de la intrusión norte del granito homónimo. Esta distinción geoquímica zonal del granito de Minas probablemente está indicando diferencias a nivel genético (cristalización del magma) o en relación con los procesos de alteración postmagmática (¿metasomatismo?). Sería interesante continuar el estudio de estas intrusiones graníticas, que como veremos en la próxima sección parecen estar vinculadas a la anomalía Cu-V, por medio de investigaciones petrográficas

y litogeoquímicas detalladas.

3.2.4. Interpretación de la anomalía geoquímica

La anomalía estratégica fue confirmada por los resultados del estudio semitáctico en discusión. En los mapas de las figuras 24a y 24b, donde representamos mediante figuras de tamaño variable los tenores de Cu y V comprendidos entre diferentes límites críticos fijados a partir del estudio de sus distribuciones, advertimos una anomalía en Cu (50 a 220ppm) y V (150 a 313ppm) de una extensión aproximada de 4km×2km en dirección N130°-N140°. Las figuras 91 y 92 muestran estos mismos mapas a una escala de 1/20000, con sobreposición de la red hidrográfica y de los límites de las diferentes unidades litológicas. La anomalía pedogeoquímica no se reduce a un tipo litológico determinado, atravesando aparentemente diferentes términos sedimentarios entre las microgranodioritas del NW y la intrusión sur del granito de Minas. La zona de comportamiento atípico coincide arealmente con localidades enriquecidas en Fe (>10% Fe₂O₃).

La visualización de medias móviles por un procedimiento gráfico de sombreado variable demuestra también una imagen de la anomalía geoquímica, poniendo de manifiesto su excelente autocorrelación espacial (figura 36).

El examen de la repartición geográfica de los tenores en Cu y V por análisis de tendencia (figuras 31 y 32) evidenció que las superficies estimadas por polinomios de sexto grado delimitan la estructura de la anomalía geoquímica. Los residuales de las superficies séxticas para estos elementos manifiestan una zona a valores elevados con muy buena coherencia espacial, indicando aún más claramente la anomalía en estudio. Los trazados de los tenores observados y los estimados a partir de la superficie séxtica y los correspondientes residuales para el Cu y V a lo largo del corte DD', perpendicular a la dirección principal de la ano-

malía, se proporcionan en las figuras 93 y 94. El posicionamiento del corte DD' se señala en los mapas de las figuras 91 y 92. A título de referencia hemos indicado los tenores de fondo totales (medias geométricas) y los valores críticos superiores empleados en los mapas de anomalías (figuras 91 y 92). Ambos elementos muestran un comportamiento similar. La superficie parece describir los rasgos generales de las fluctuaciones de los tenores de fondo. Los coeficientes de determinación para estas superficies séxticas son bajos, de 28% para el Cu y 26% para el V, lo que sugiere una distorsión del tratamiento por parte de los tenores excepcionales. En efecto, observamos que se ha incurrido en una cierta sobrecorrección de los tenores, debido a la presencia de localidades con tenores anómalos en los elementos considerados. Es así, que la superficie predice tenores mayores que los observados a lo largo del perfil, describiendo parcialmente a la tendencia anómala. Un examen detallado de estos trazados pone en evidencia un desplazamiento del máximo de la tendencia hacia el SW, debido al agrupamiento mayor de muestras anómalas en dicha zona. La anomalía principal queda netamente definida por los residuales, y los valores secundarios se presentan sólo como una anomalía residual sutil (10ppm de Cu y 15ppm de V), que es trivial si consideramos los errores de la superficie ($s_{E,Cu}=20ppm$ y $s_{E,V}=30ppm$). El máximo principal es originado por la localidad 8017 sobre las calizas dolomíticas en contacto con las granodioritas del NW, con tenores de 224ppm de Cu y 313ppm de V, acompañado de 12.9% de Fe_2O_3 , 21 ppm de Ni y 58ppm de Cr. Los tenores en Cr y Ni resultan normales si consideramos los tenores medios de la clase correspondiente (tabla 60). Los tenores residuales para Cu y V son altamente significativos y superan en más de tres veces a las respectivas desviaciones estándares de error de las ecuaciones de las superficies.

El análisis de correlaciones respecto al Fe y Mn puso en evidencia que el Fe explica un 32% de la varianza composicional de este metal de base, mientras que el Mn no contribuye sus-

DNMG

MIE-DINAMIGE-DAPG

✱ ANOMALIAS DE COBRE ✱

ESC. 1/20000

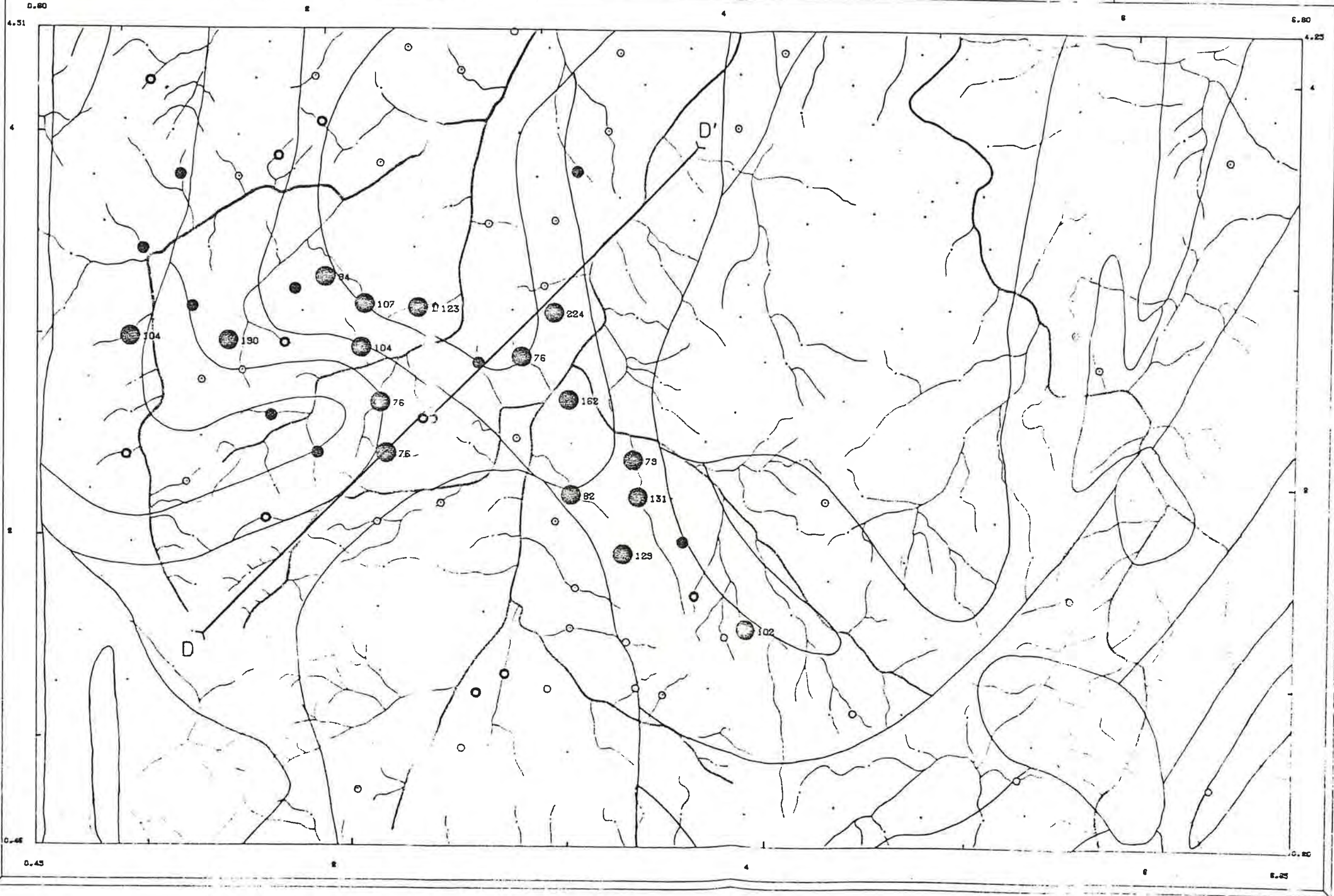
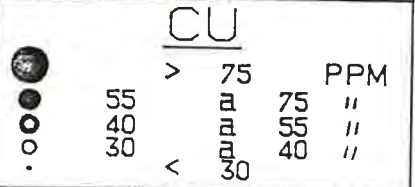


FIG. Nº 91

DNMG

MIE-DINAMIGE-DAPG

* ANOMALIAS DE VANADIO *

ESC. 1/20000

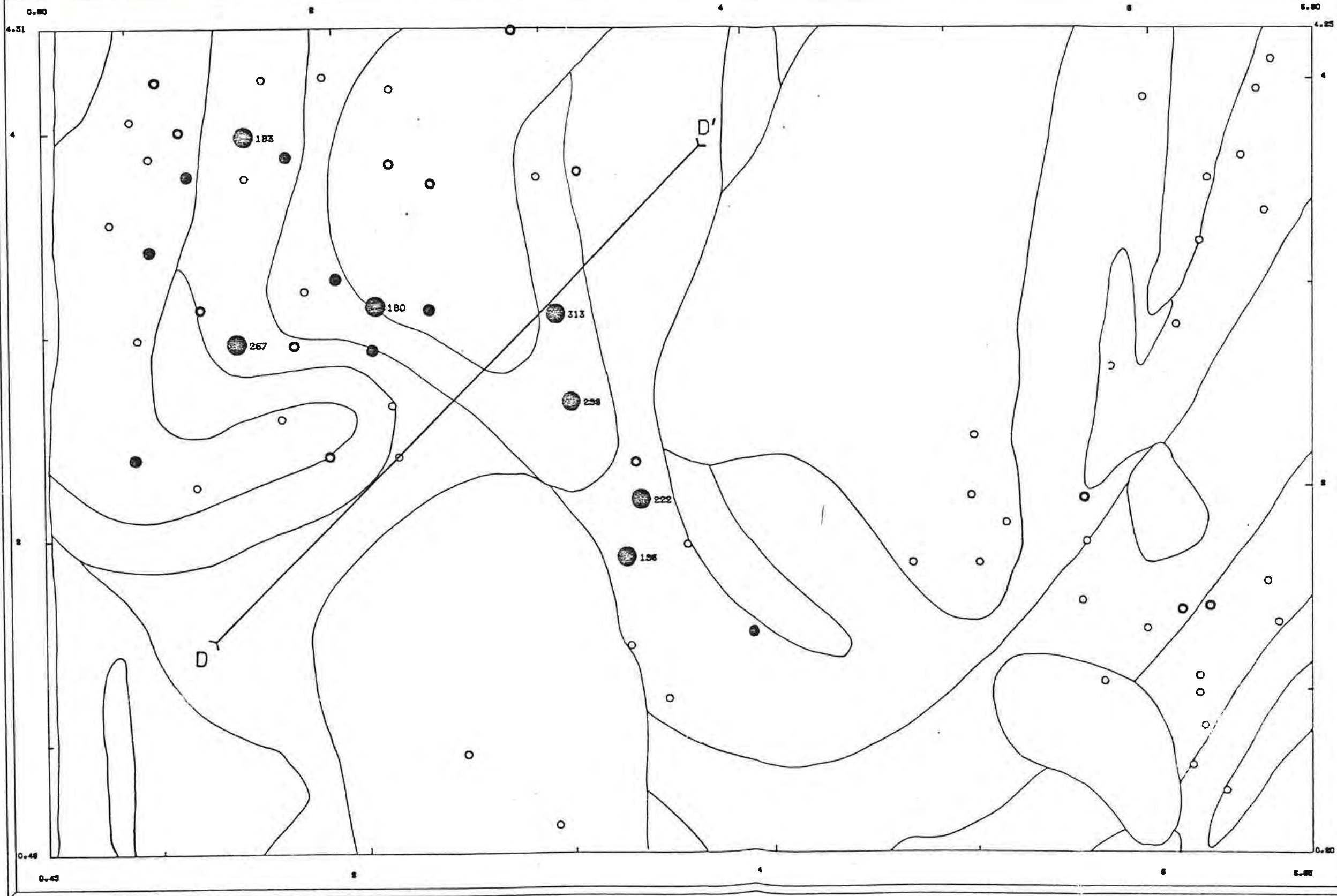
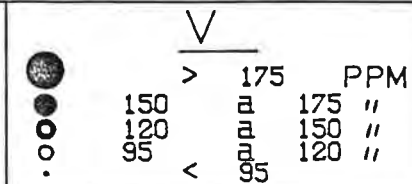


FIG. Nº 92

ANALISIS DE TENDENCIA: CU (CORTE D-D')

————— CU
 -x-x-x-x-x- EST.
 - - - - - RES.

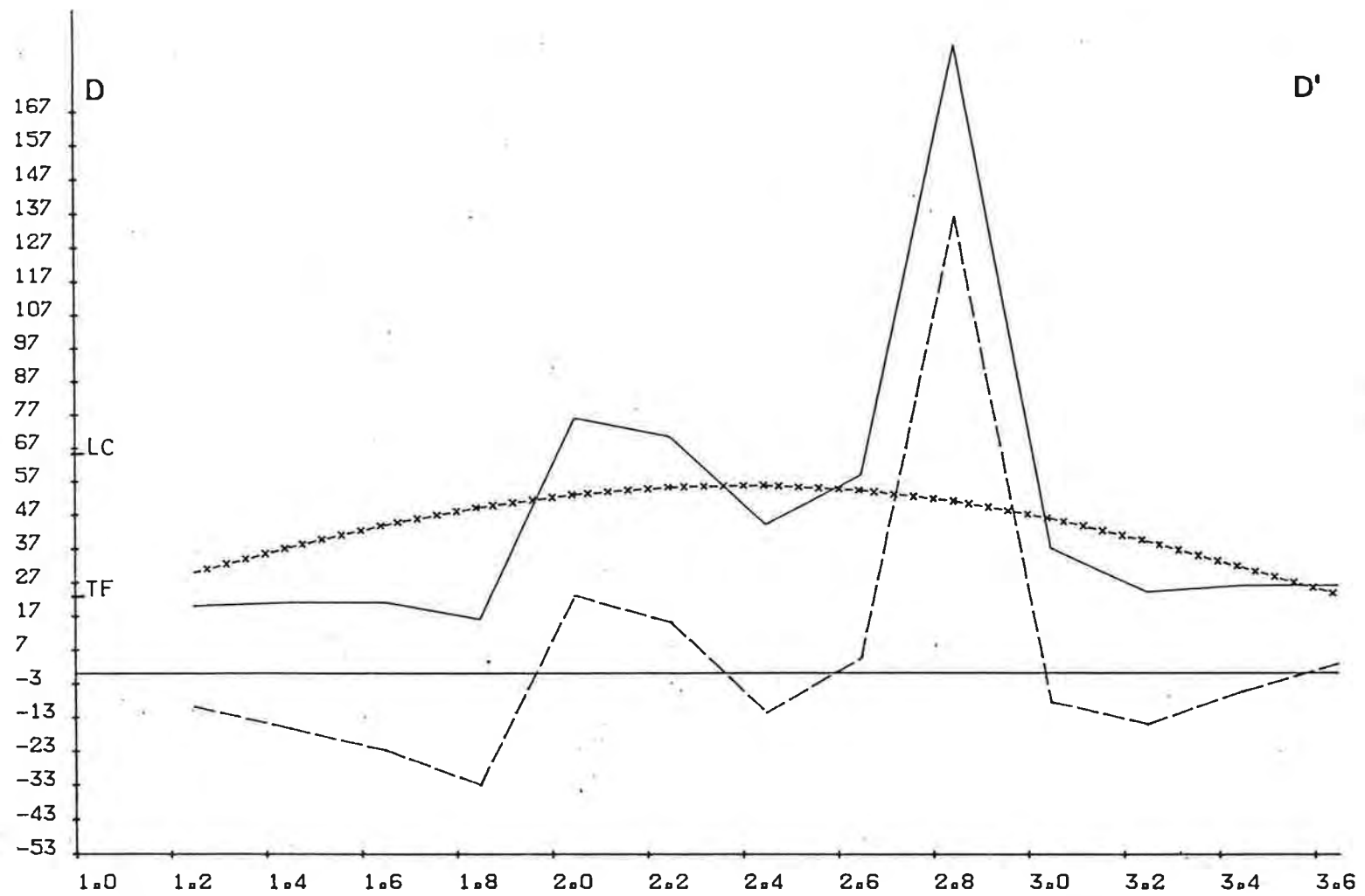


Figura 93 TF: tenor de fondo regional; LC: límite crítico superior

ANALISIS DE TENDENCIA: V (CORTE D-D')

————— V
 -x-x-x-x-x- EST.
 - - - - - RES.

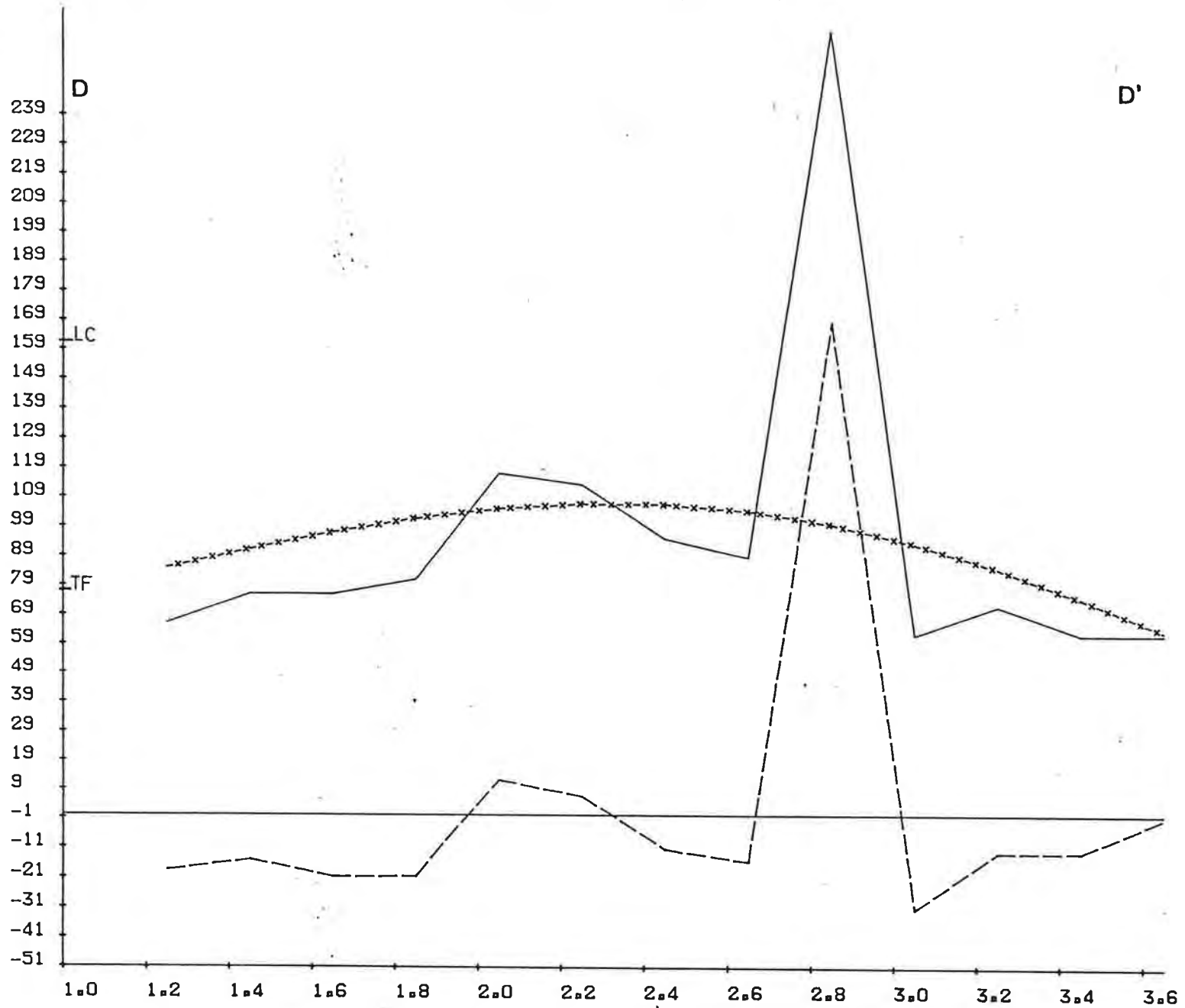


Figura 94 TF: tenor de fondo regional; LC: límite crítico superior

tancialmente. Los tenores residuales positivos muestran una zonación muy significativa sobre el área anómala (figura 55). La dependencia del Cu y el V con el Fe es explicable a nivel pedo-geoquímico por la fijación de estos metales en los óxidos e hidróxidos férricos, en ciertas arcillas, y por la presencia de minerales ferromagnesianos y óxidos de Fe-Ti heredados de la roca madre. La relación del Cu con el V ($r=0.71$) en el área en estudio es sumamente importante. El análisis en seis componentes principales patentizó esta interdependencia mediante una dirección factorial esencialmente saturada por ambos metales. Accesoriamente se correlacionan con este componente principal el Fe y el Cr. Esta asociación se puede apreciar en la representación de los tenores en Cu, V, Fe, Cr y Zn a lo largo del perfil DD' (figura 95). Parecería entonces, que los tenores anómalos en Cu y V están relacionados con un ambiente relativamente rico en minerales ferromagnesianos, lo que explicaría a nivel del material muestreado la disponibilidad de Fe, Cr, Ni, Co, ... En consecuencia, procedimos a ensayar diferentes modelos de regresión lineal sobre los tenores brutos, con el propósito de evaluar con mayor precisión la magnitud de la interdependencia del Cu con estos metales.

En una primera etapa efectuamos un cálculo de regresión múltiple clásica tomando como variables explicativas al V, Fe y Cr. La ecuación de regresión final es altamente significativa (relación de la varianza de regresión respecto a la residual $F' = s_R^2/s_E^2 = 246.6 > F_{0.001,3,305} = 5.56$):

$$Cu_{est} = -14.2 + 0.669V - 0.293Cr - 0.046Fe \quad ,$$

El coeficiente de determinación múltiple resulta apreciable, $R^2=70.8\%$, y la desviación estándar residual es de $s_E=13.6$ ppm en Cu. Al examinar si las estimaciones de los coeficientes de regresión difieren estadísticamente de cero comprobamos que los coeficientes del V y Cr únicamente son significativos a un nivel de 0.001, mientras que para el Fe no podemos rechazar la hipóte-

* CORTE LITOGEOQUIMICO D-D' *

————— CU
 -x-x-x-x-x- V
 - - - - - CR
 FE2X x 10.00
 ZN

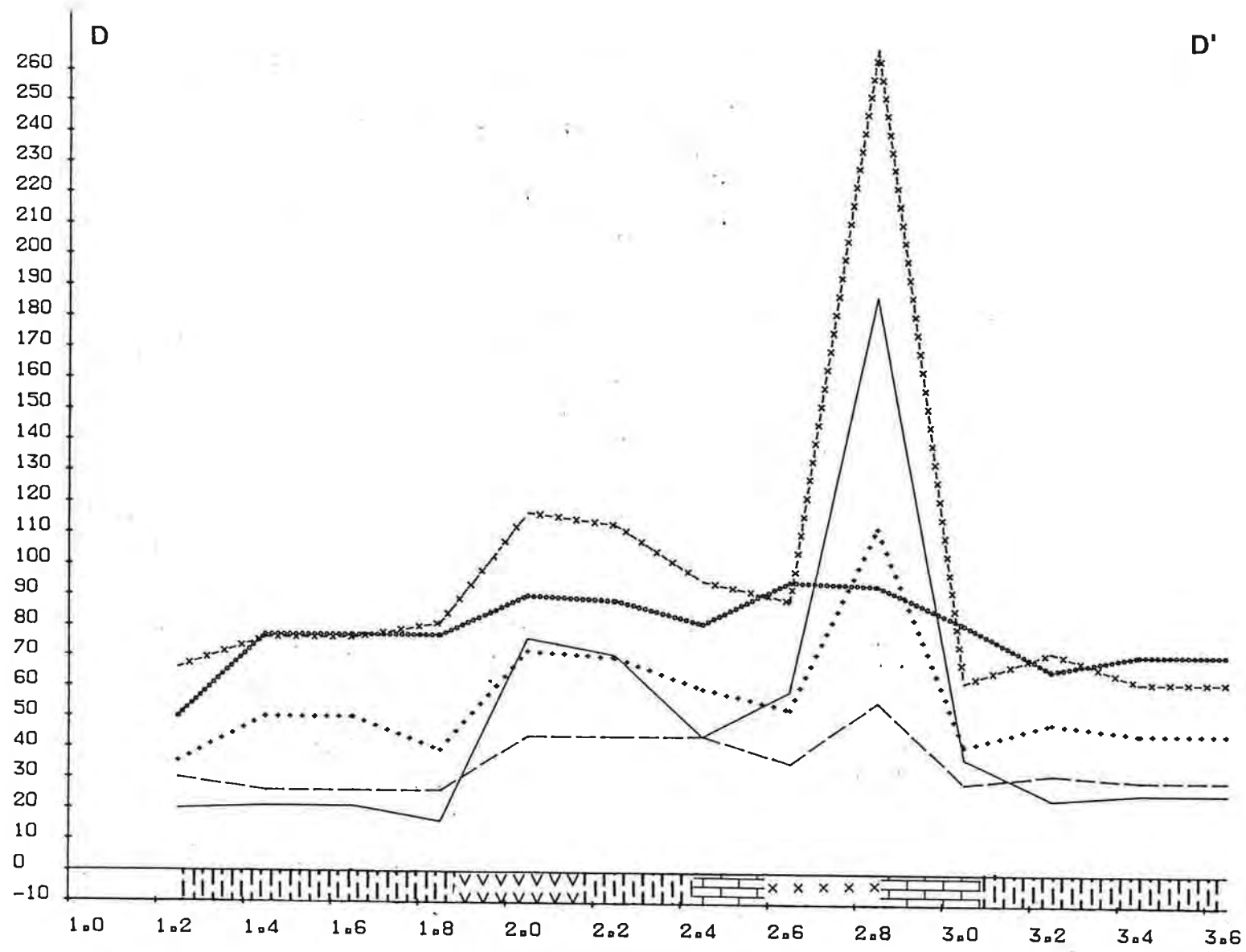


Figura 95

sis nula a un nivel de 0.05.

La cartografía de los residuales a escala 1/50000 (figura 96a) señala que los tenores han sido fuertemente atenuados y varios puntos anómalos eliminados, p. ej.: la muestra 8015 con 162ppm en Cu, 298ppm en V, 10.8% en Fe_2O_3 y 53ppm en Cr presenta un residual negativo. No obstante, los tenores residuales positivos altos siguen describiendo claramente a la anomalía geoquímica con valores aún superiores a $4s_E$.

Dado que el Fe no es estadísticamente significativo como regresor del Cu, efectuamos un análisis de regresión por un procedimiento paso a paso con un $\alpha=0.05$ para el ingreso de las variables del modelo y un nivel un poco más exigente, $\alpha=0.025$, para su exclusión. La ecuación resultante es:

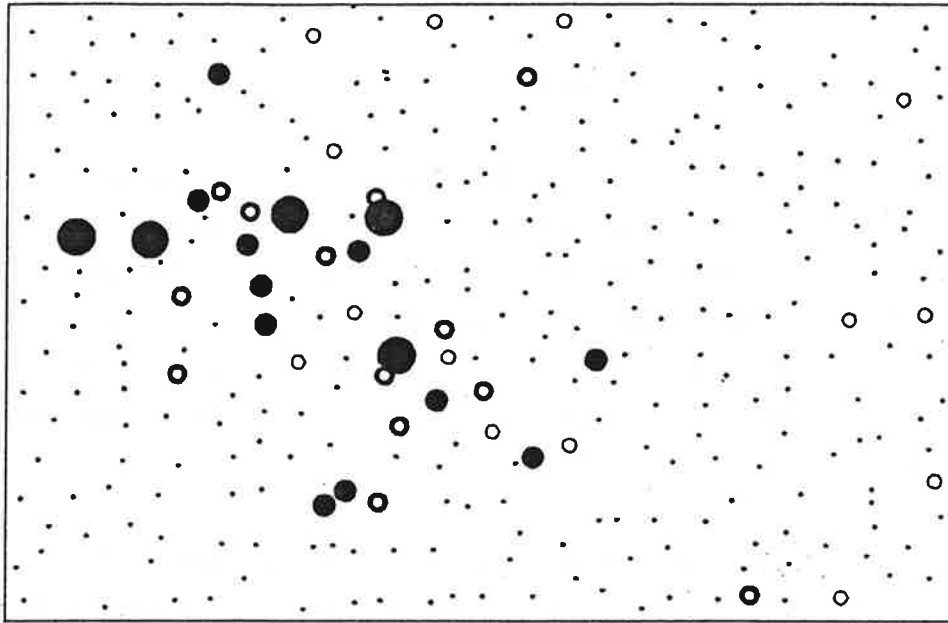
$$\text{Cu}_{\text{est}} = -14.3 + 0.668V - 0.295\text{Cr} \quad ,$$

muy similar a la del modelo anterior. En este modelo el V explica un 66.2% y el Cr un 4.6% de la variabilidad de las concentraciones de Cu. La repartición areal de los tenores residuales, como es de esperar, concuerda con la del análisis de regresión clásico (figura 96b).

Con el objetivo de ilustrar la aplicación del método de regresión con coacción ("ridge regression") regresamos al Cu en función de los férridos Fe, Cr, V, Co y Ni, sensiblemente correlacionados entre sí. En las figuras 97a-97c exponemos los respectivos diagramas ridge. El valor de este parámetro fue elegido de acuerdo con la fórmula propuesta por Hoerl A.E. et al (1975) y es de $K=0.01$. La ecuación de regresión derivada es:

$$\text{Cu}_{\text{est}} = -14.5 + 0.661V - 0.283\text{Cr} - 0.047\text{Fe} - 0.022\text{Ni} + 0.087\text{Co} \quad ,$$

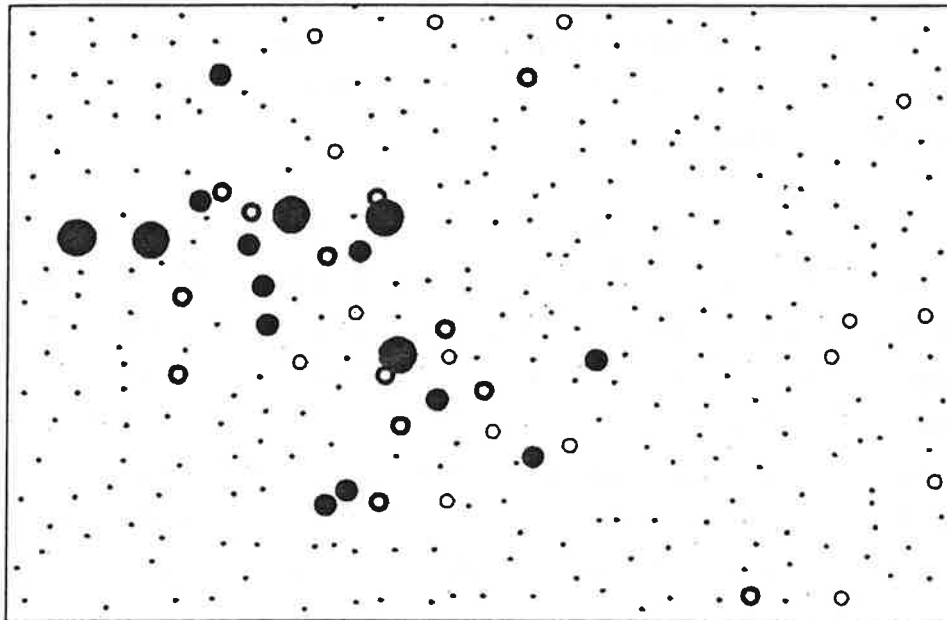
El test t para la comparación de los coeficientes de regresión con cero manifestó que los coeficientes del Fe, Ni y Co no defieren significativamente de cero para un nivel de confianza del 95%, y el modelo continúa determinado por el V y el



RES. □



Figura 96a: Residuales de la regresión:
 $Cu_{est} = -14.2 + 0.669V - 0.293Cr - 0.046Fe$



RES. □



Figura 96b: Residuales de la regresión paso a paso:
 $Cu_{est} = -14.3 + 0.668V - 0.295Cr$

Escala: 1/50000

* DIAGRAMA RIDGE : VANADIO *

* DIAGRAMA RIDGE : CROMO *

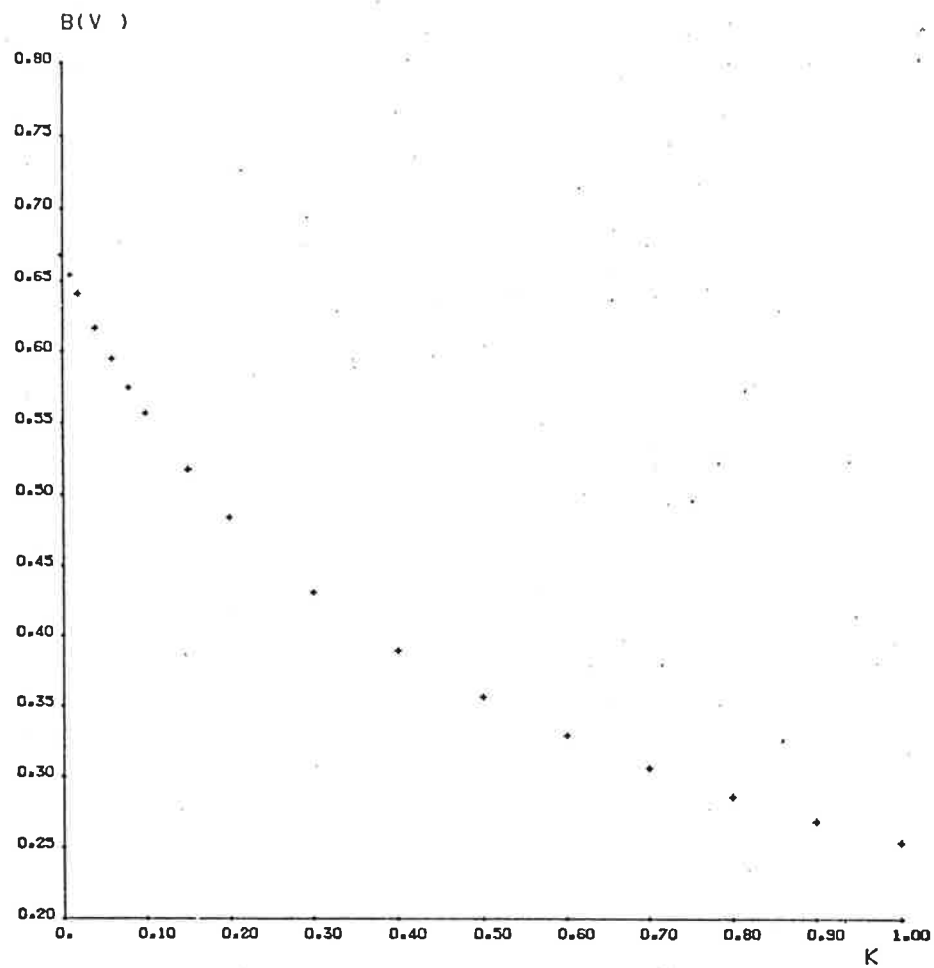


Figura 97a

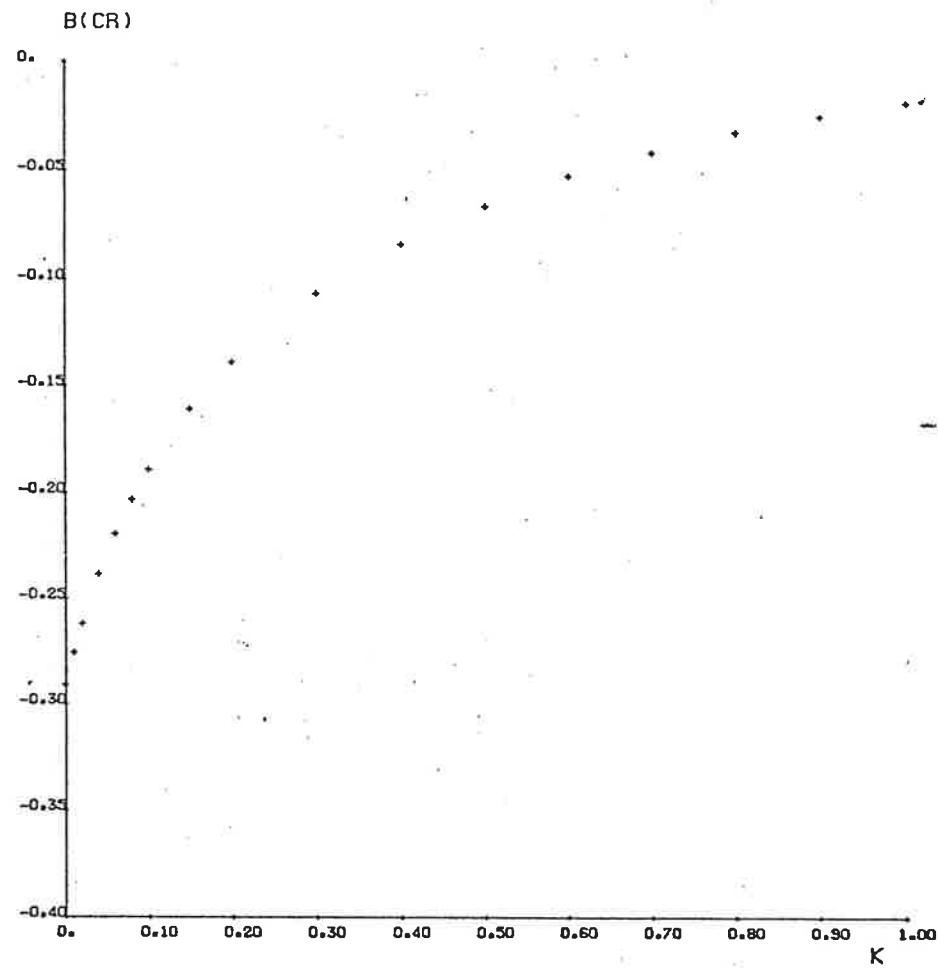


Figura 97b

* DIAGRAMA RIDGE : HIERRO *

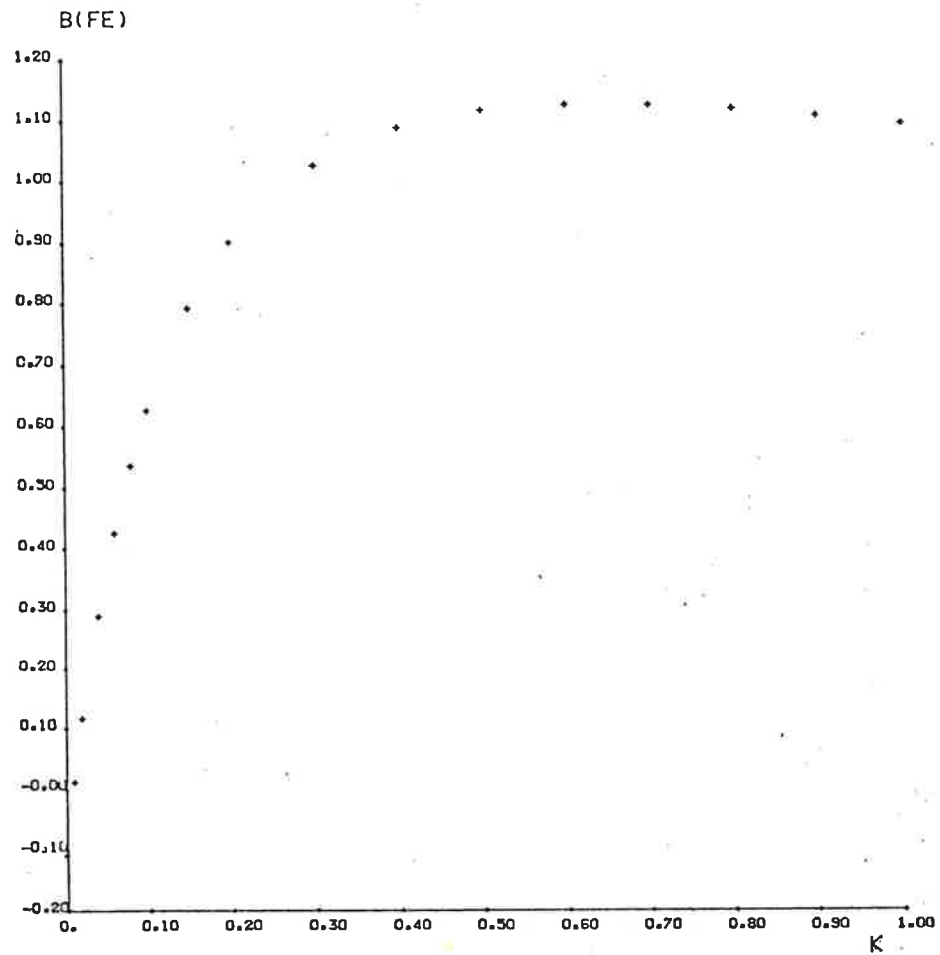


Figura 97c

* DIAGRAMA RIDGE : NIQUEL *

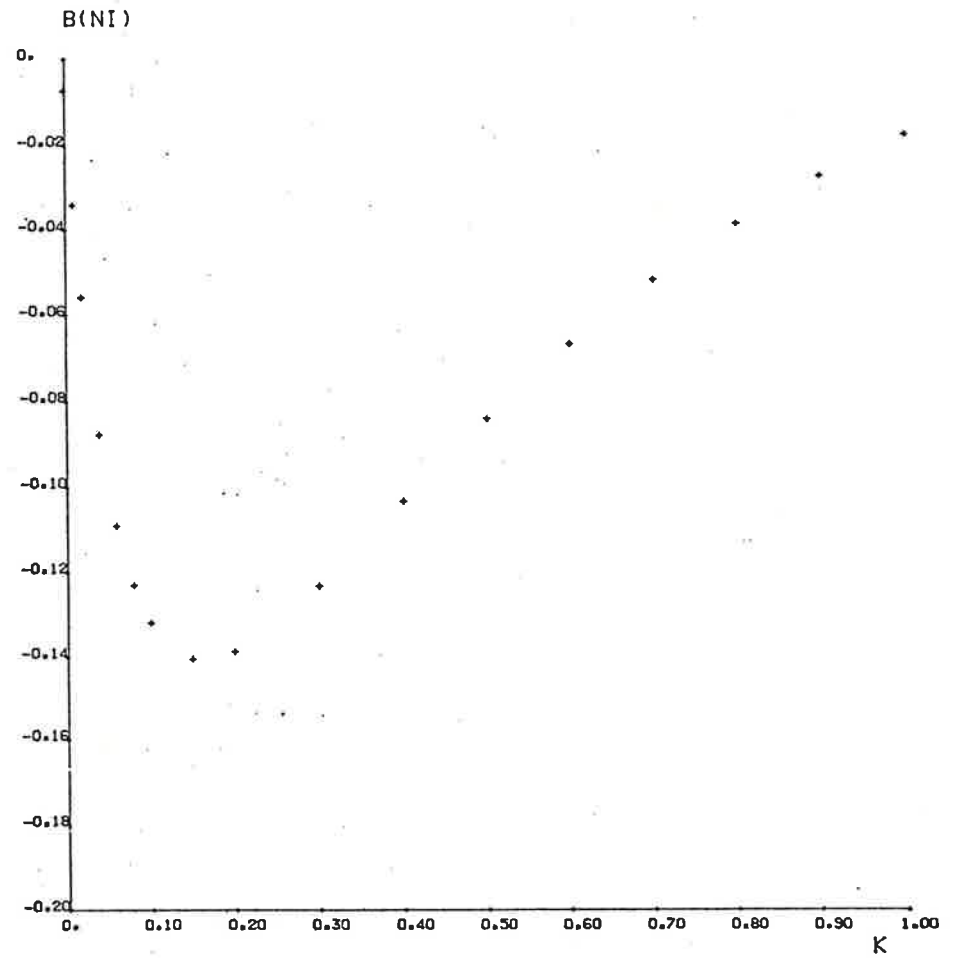


Figura 97d

* DIAGRAMA RIDGE : COBALTO *

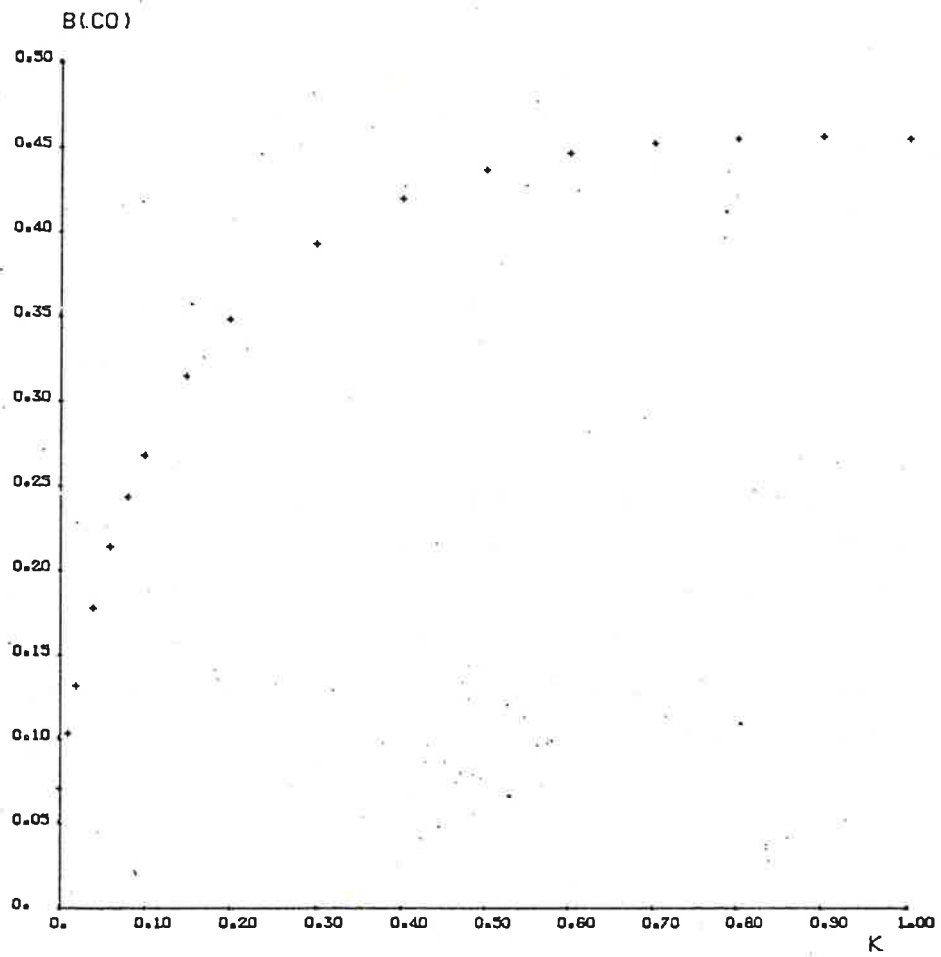


Figura 97e

Cr. La repartición geográfica de los tenores residuales se exhibe en el mapa de la figura 98 y no difiere sensiblemente de la de los dos modelos anteriores.

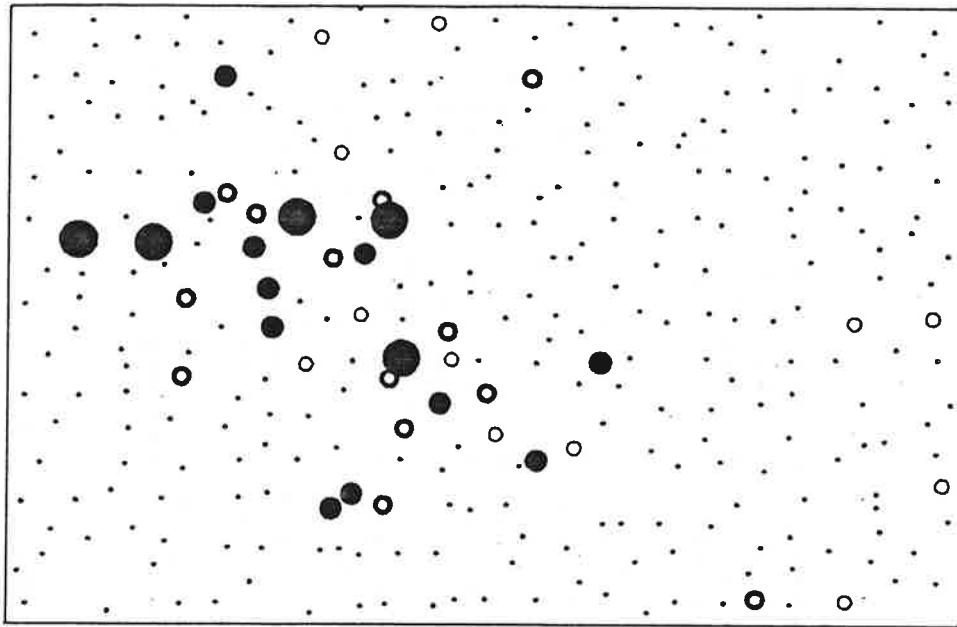
Finalmente, ensayamos una regresión factorial en función del primer eje principal -V-Cr-Fe-Ni-Co- obtenido mediante un ACP con seis direcciones factoriales, involucrando al Cu sólo para su representación en el subespacio factorial determinado por los demás elementos. Este componente principal explica un 25.2% de la inercia composicional total de las muestras, y está principalmente saturado por V, Cr y Fe, como es posible observar en la tabla de saturaciones (tabla 62).

Los tenores de Cu estimados a partir de esta regresión en componentes principales vienen dados por la ecuación:

$$Cu_{est} = 28.9 - 15.77F_1 ,$$

El coeficiente de determinación es de 39.2%, mucho menor que el de los modelos de regresión vistos anteriormente. En la figura 99 exponemos el mapa de los tenores residuales, donde quedan de manifiesto las diferencias sustanciales con las configuraciones de los residuales de las regresiones anteriores, p. ej.: la muestra 8016 presenta aquí un tenor residual de 75ppm en Cu.

La interpretación de los diferentes mapas de anomalías residuales no es simple. Al regresar al Cu en función de los elementos ferromagnesianos, buscamos corregir los tenores anómalos de este metal de base por las fluctuaciones de su tenor de fondo normal. Como ya dijimos, este elemento, al igual que la mayoría de los elementos de la primera serie de transición, se encuentra a nivel pedológico asociado a los óxidos e hidróxidos de Fe y Mn, la fracción arcillosa, materia orgánica y minerales heredados (ferromagnesianos, titanomagnetitas, ...). No obstante, la mineralización puede estar directamente relacionada con algún elemen-

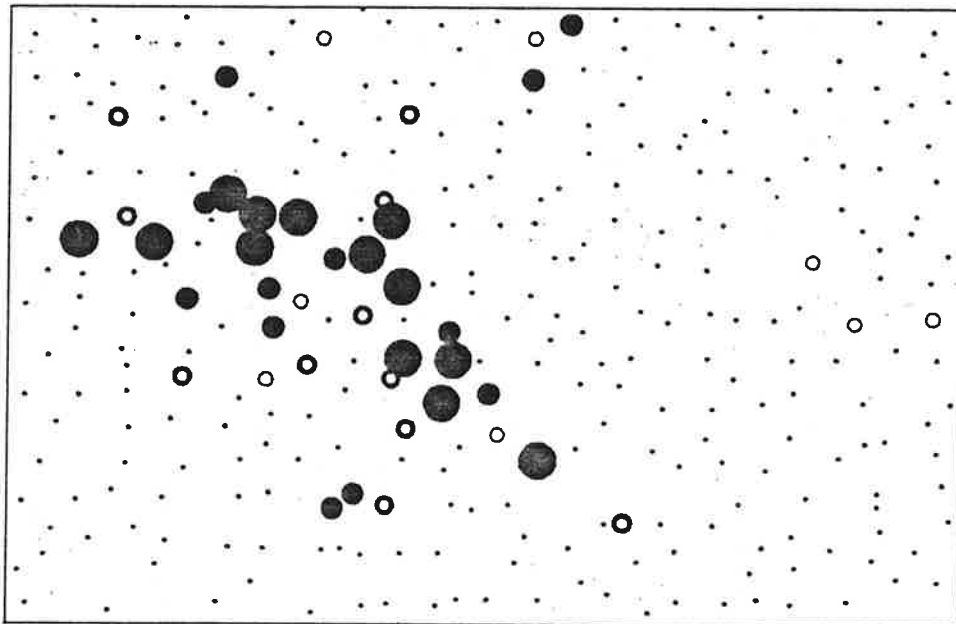


RES.



Figura 98: Residuales de la regresión con coacción:

$$Cu_{est} = -14.5 + 0.661V - 0.283Cr - 0.047Fe - 0.022Ni + 0.087Co$$



RES.



Figura 99: Residuales de la regresión factorial:

$$Cu_{est} = 28.9 - 15.77F_1$$

Escala: 1/50000

M	1	2	3	4	5	6
VALOR PROPI-O	3.023	1.574	1.073	1.043	2.432	1.029
PORCENTAJE	25.183	13.115	8.942	8.690	20.268	8.578

* TABLA DE SATURACION *

F(Fe2+)) *	0.723	-0.011	-0.115	-0.072	0.587	0.089
F(MN) *	0.076	-0.118	-0.158	-0.019	0.901	0.120
F(BA) *	-0.074	0.036	0.063	0.983	-0.063	-0.001
F(P) *	0.163	-0.135	0.006	-0.001	0.191	0.950
F(V) *	0.875	-0.014	-0.041	-0.137	0.043	0.062
F(PB) *	-0.126	0.120	0.954	0.007	-0.045	-0.000
F(ZN) *	0.322	-0.014	0.285	-0.035	0.667	0.193
F(CR) *	0.793	-0.219	-0.041	0.091	0.194	0.153
F(NI) *	0.697	-0.117	-0.094	-0.050	0.545	0.059
F(CO) *	0.572	0.043	-0.051	-0.090	0.626	-0.016
F(BE) *	-0.363	0.784	0.152	0.157	-0.240	0.055
F(Y) *	0.055	0.920	0.035	-0.057	0.060	-0.183
F(CU) *	0.625	0.090	0.046	-0.206	0.016	-0.018

Tabla 62: Saturaciones del ACP sobre los tenores brutos con Cu proyectado sobre los ejes determinados por los demás elementos (con rotación varimax).

to máfico. Tal sería el caso de una mineralización sulfurada esencialmente a pirita y accesoriamente con sulfuros del metal de base. Asimismo, en el ambiente primario la mineralización puede estar asociada a una roca rica en minerales ferromagnesianos. En el ambiente de dispersión secundaria la asociación del Cu con los metales del grupo férrico no puede, entonces, ser corregida por un simple cálculo de regresión.

En el mapa de la figura 100 representamos a escala 1/20000 los residuales del análisis de regresión paso a paso, señalando los límites de las unidades litológicas. Los tenores residuales elevados son acompañados puntualmente de algunos niveles en Ag de 0.5 a 0.6ppm (localidades 8015, 8016 y 8019), en Mo de 4 a 9ppm (localidades 8016, 8100 y 8149), Pb a casi 50ppm (localidades 8016 y 8019) y Zn (localidad 8016: 249ppm). En un reconocimiento rápido en el campo fueron descubiertos indicios de sulfuros, esencialmente pirita, y de oxidados de cobre (malaquita, azurita), en el borde sur de la microgranodiorita del NW. Estos sulfuros están asociados a una roca básica microcristica, posiblemente una microdiorita en ausencia de un estudio petrográfico adecuado. El análisis químico de muestras de esta roca indicó tenores medios en Cu de 270ppm, 310ppm en V, 14.5% en Fe_2O_3 , 1350ppm en Mn, 32ppm en Cr, 127ppm en Zn y 39ppm en Ni, y 18ppm en Co.

Una interpretación tentativa de la anomalía geoquímica se basaría en la presencia de una mineralización en pirita asociada a un facies básico, posiblemente en relación con las intrusiones graníticas (granito de Minas y granodiorita del NW.). La constancia y el nivel de los tenores en la zona anómala y la ausencia de contraste neto estarían de acuerdo con una mineralización dispersa, aparentemente con un bajo contenido en sulfuros de cobre.

A nivel pedológico los tenores en Cu, Fe y V quedarían

entonces explicados tanto por el carácter básico de la roca portadora como por la presencia de sulfuros. La meteorización de esta roca origina soluciones ricas en Fe, V, Cr, ... y también en metales de base, principalmente Cu y aparentemente en algunas localidades Pb y Zn. En presencia de las calizas dolomíticas que rodean a la granodiorita a grano fino del NW, el pH es óptimo para la precipitación de los vanadatos de estos metales (Rankama K. y Sahama Th.G., 1962), óxidos e hidróxidos férricos, ..., y la asociación Cu-V-(Fe-Cr) sería significativa desde un punto de vista geoquímico.

Por último, mencionamos que Beus A.A. y Grigorian S.Y. (1977, p.180) publican como ejemplo tipo el caso de una mineralización de pirita-Cu en un contexto de esquistos sericíticos y diabasas que origina un halo de dispersión geoquímica a Cu-V-Zn.

En el estado actual de los trabajos es difícil estimar el interés de la anomalía geoquímica confirmada. Un control litológico más detallado (escala 1/20000 o 1/10000), acompañado de estudios petrográficos y litogeoquímicos adecuados, se hace necesario para precisar el ambiente geológico del halo anómalo.

DNMG

MIE-DINAMIGE-DAPG

* RESIDUALES DE CU-F(V, CR) *

ESC. 1/20000

RES

●	>	40	PPM
●	a	40	//
○	a	25	//
○	a	15	//
○	<	10	//

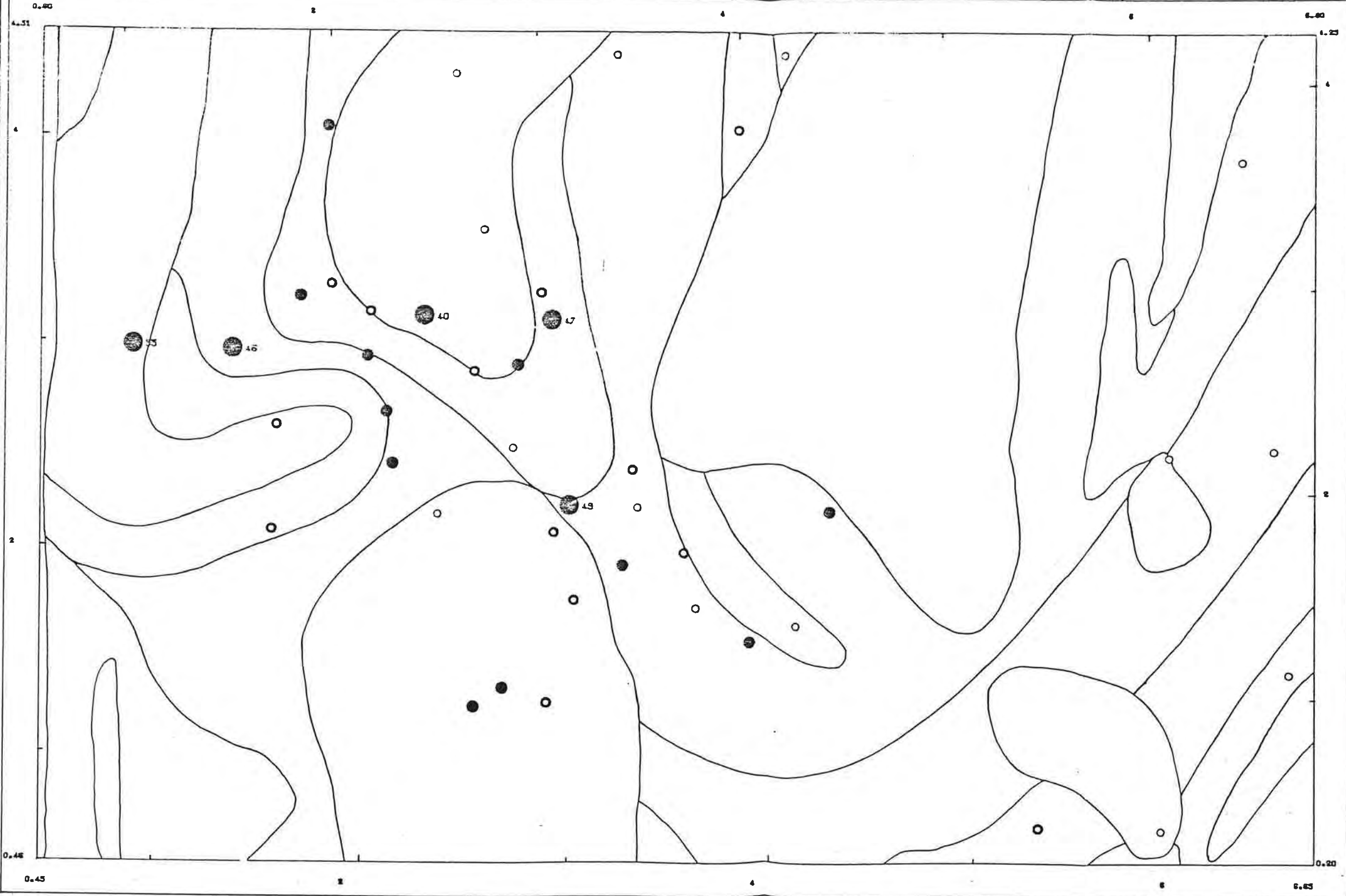


FIG. Nº 100

4. CONCLUSIONES

4. CONCLUSIONES

El presente trabajo desarrolla, aunque no de manera completa, la metodología del procesamiento estadístico y cartográfico de los datos de prospección geoquímica multielemento.

La aplicabilidad de las diferentes técnicas estadísticas y cartográficas fue evaluada empleando los resultados de un estudio semitáctico -12 muestras por cada km^2 - efectuado sobre una anomalía regional polimetálica.

El estudio de las distribuciones de los 22 elementos analizados puso de manifiesto su gran heterogeneidad para el conjunto general de muestras, mostrando distribuciones leptocúrticas y con asimetrías positivas sustanciales. No obstante, de 13 metales considerados únicamente 4 exhiben una distribución lognormal para un nivel de significación de 0.05, en oposición a la ley de lognormalidad establecida por Ahrens.

La elección de los niveles críticos de los elementos a partir de los parámetros estadísticos y de los histogramas de la población total no conduce a una correcta distinción entre los tenores anómalos y los de fondo normal. Queda en evidencia que las asimetrías positivas y, asimismo, las modas secundarias de las distribuciones son parcialmente explicables por la presencia de unidades litológicas con un contenido medio superior al fondo regional, al igual que por fluctuaciones del fondo geoquímico relacionadas a fenómenos pedogenéticos y no indican necesariamente la presencia de una ocurrencia mineral.

El análisis de correlación (coeficientes de correlación lineal de Pearson y cálculos de regresión múltiple) y el análisis factorial en componentes principales conjuntamente con una técnica de clasificación automática en modo R permiten estudiar las relaciones entre los elementos. Las asociaciones geoquímicas re-

veladas se interpretaron en término de los diferentes factores que rigen la variabilidad composicional de las muestras. Ensayamos varios modelos factoriales con y sin log-transformación de los datos, examinando los subespacios principales según su interpretabilidad en función de determinadas realidades geológicas. Los componentes principales caracterizan, en general, relaciones entre los elementos, ya sea de origen litológico (abundancia de minerales ferromagnesianos -Fe, Cr, Ni, Co, V, Zn, ...- y de feldespatos alcalinos -Be, Ba y Pb-), supergénico (fijación de metales trazas por óxidos e hidróxidos mangánicos y férricos -Mn, Fe, Zn, Co, ...-, y formación de fosfatos secundarios -P, Fe, Zn, Ni, ...-) o metalogénico (asociaciones polimetálicas -Cu-V, Pb-Zn, ...-).

El análisis de tendencia fue aplicada con superficies lineales hasta séxticas, ofreciendo una buena imagen de las variaciones zonales de los tenores de fondo para algunos elementos fuertemente regionalizados (Ni, Be, ...). Sin embargo, para la mayoría de los elementos (P, Mn, Pb, Zn, ...), las superficies polinomiales de bajo grado resultan demasiado rígidas para describir correctamente la configuración de sus tenores.

El empleo del método de medias móviles, como procedimiento de interpolación local, asociado a una técnica gráfica de sombreado variable origina buenas imágenes de las estructuras geoquímicas, facilitando su interpretación en base a la información geológica.

El análisis factorial discriminante sobre conjuntos de instrucción definidos por el contexto litológico posibilitó el establecimiento de clases pedogeoquímicas homogéneas. Los conjuntos geoquímicos relacionados a las intrusiones graníticas y metalavas básicas del sector concuerdan bien con las correspondientes unidades geológicas cartografiadas. Los términos sedimentarios parecen difícilmente diferenciables a nivel pedogeo-

químico por su contenido en metales trazas. Las subpoblaciones así definidas presentan distribuciones más regulares que las de la población total; y, asimismo, para algunas no es posible rechazar la hipótesis de normalidad a un nivel de 0.05.

La técnica de clasificación ascendente jerárquica en modo Q permitió afinar más las clases obtenidas por análisis discriminante relacionadas a los granitoides. El examen del espectro geoquímico de los diversos conjuntos de muestras denotó una diferenciación geoquímica zonal del granito de Minas, desapercibida durante el reconocimiento geológico regional del sector. La fuerte litodependencia de la señal pedogeoquímica pudo ser confirmada mediante el análisis de los perfiles geoquímicos de los diferentes granitoides y la consideración de la relación composicional rocas-suelos (-sedimentos).

El halo de dispersión secundaria anómalo en Cu-V-(Fe-Cr) con tenores relativamente elevados en Zn y Pb en algunas localidades estaría vinculado a una mineralización principalmente a pirita en una roca básica, si bien a partir de la cartografía regional (1/50000) no parece asociado a una formación litológica particular. Para precisar el interés prospectivo real de esta área se requeriría un control geológico más detallado del ambiente de la anomalía geoquímica.

Los métodos estadísticos y cartográficos empleados han demostrado ser, con diferente grado de eficiencia, de gran utilidad para la interpretación de los datos geoquímicos multielementos de un estudio de prospección. Particularmente, las técnicas estadísticas multivariantes originan representaciones sintéticas del gran volumen de datos contenido en la matriz de información espacial, facilitando la aprehensión de las relaciones entre las variables geoquímicas, al igual que entre las localidades de observación.

En consecuencia, las técnicas de análisis de datos re-

sultan de gran valor, ya que permiten profundizar el conocimiento de las realidades geoquímicas en las áreas prospectadas.

APENDICE I: EVALUACION DE LA VARIABILIDAD ANALITICA

EN PROSPECCION GEOQUIMICA

EVALUACION DE LA VARIABILIDAD ANALITICA
EN
PROSPECCION GEOQUIMICA

1. Generalidades

En el cuadro de la prospección geoquímica semitáctica efectuada en el área en estudio no fue empleado ningún tipo de diseño jerárquico de muestreo, que permitiera la estimación de la variabilidad composicional debida a las operaciones de recolección y análisis químico de las muestras. En consecuencia, sólo pudimos evaluar los errores analíticos que afectan la información geoquímica procesada.

Veinte muestras (6.5% de la totalidad) seleccionadas por un procedimiento estadístico semialeatorio fueron sometidas a un segundo análisis, en el cual se llevaron a cabo dos medidas instrumentales sobre la misma disolución, para así poder determinar la precisión puramente instrumental. Las dos lecturas se efectuaron buscando tomar en cuenta las fluctuaciones de las condiciones espectrométricas. El doble analítico posibilitaría entonces, el examen de los errores de manipulación implícitos en la dosificación de los elementos: errores de toma analítica, puesta en solución y lectura en el espectrómetro de emisión plasma.

Para poder comparar la variación analítica con la geoquímica, en la que incluimos los errores de muestreo, consideramos un diseño anidado desbalanceado. Específicamente, involucramos los resultados correspondientes a 60 localidades elegidas al azar, dando lugar a la estructura de la figura A1.

El análisis de varianza (ANVA) permite determinar los componentes de varianza y examinar una serie de hipótesis respec-

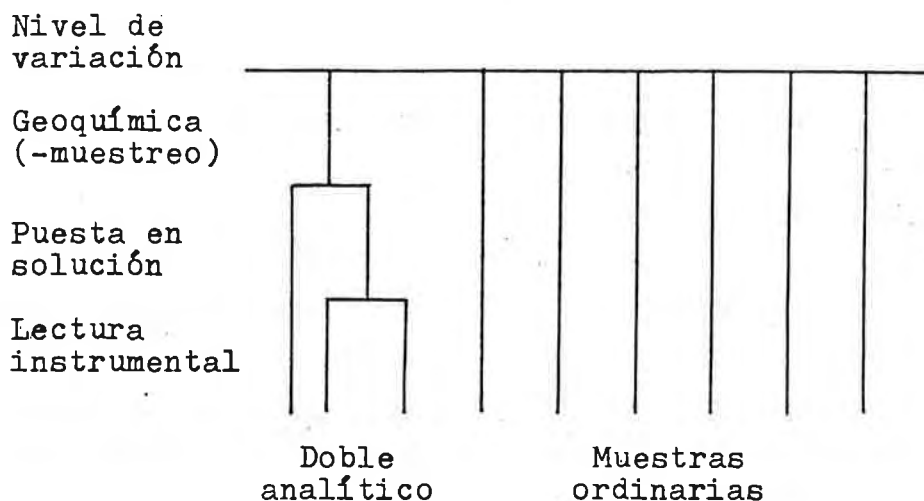


Figura A1: Estructura de los datos empleados para evaluar los diferentes componentes de la precisión analítica.

to a la variabilidad total de los datos procesados. En nuestro caso particular empleamos el ANVA para particionar la varianza global de los datos en tres componentes: geoquímico (incluido la operación de muestreo) y analíticos relacionados con la puesta en solución y lectura instrumental.

El modelo lineal es:

$$X_{klm} = \mu + a_k + b_{l(k)} + e_{m(kl)} \quad ,$$

donde:

- X_{klm} - representa una lectura instrumental individual, m , de la solución l de la muestra de la localidad k ;
- μ - es la media poblacional del elemento;
- a_k - da la desviación entre el tenor medio de la muestra k y la media poblacional, μ ;
- $b_{l(k)}$ - representa la desviación de la media de la puesta en solución l de la muestra k respecto a la media de la muestra k ; y
- $e_{m(kl)}$ - representa la desviación de la medida instrumental m de la puesta en solución l de la muestra k respecto de la

media de la puesta en solución \bar{y}_k de la muestra k .

Vamos a asumir que a_k , $b_{l(k)}$ y $e_{m(kl)}$ son efectos aleatorios, mutuamente independientes, distribuidos normalmente, con media cero y varianza constante para un nivel particular del diseño.

La tabla A1 expone los cálculos del ANVA de un diseño con tres niveles de variación empleado para determinar la magnitud de los diferentes componentes de varianza. La variabilidad total se separa en cuadrados medios para cada nivel, e igualando los cuadrados medios teóricos con los calculados establecemos un sistema de ecuaciones que es resuelto para obtener las estimatrices de los componentes de varianza s_a^2 , geoquímica y de muestreo; s_b^2 , de puesta en solución y s_e^2 , de lectura instrumental.

En este caso, tratándose de un modelo desbalanceado, únicamente es posible llevar a cabo un test de Fisher aproximado, para examinar si los componentes de varianza son significativamente diferentes de cero. Los grados de libertad se determinan por la fórmula de Satterthwaite F.E. (1946), y el procedimiento general es discutido por Garrett R.G. y Goss T.I. (1978) y Goss T.I. et al (1978), que desarrollan un diseño desbalanceado con cuatro niveles para la evaluación de los errores de muestreo y análisis químico en prospecciones geoquímicas.

Hemos instalado en la D.A.P.G. el programa 'UANOVA' publicado por Garrett R.G. y Goss T.I. (1980), que posibilita el cálculo del ANVA de un diseño desbalanceado (o balanceado) con hasta nueve niveles de variación.

También determinamos los coeficientes de correlación lineal de Pearson para estimar la varianza explicada por una única lectura instrumental.

Variación entre	Suma de cuadrados	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios	Cuadrados medios esperados
Muestras	$\sum_k n_{k\cdot} (x_{k\cdot\cdot} - x_{\cdot\cdot\cdot})^2 = A$	$n - 1$	$A/GL(A)$	$s_e^2 + (\sum_{k1} n_{k1}^2 f_k) s_b^2 + (\sum_k n_{k\cdot}^2 f_k) s_a^2$
Disoluciones	$\sum_{k1} n_{k1} (x_{k1\cdot} - x_{k\cdot\cdot})^2 = B$	$\sum_k n_k - n$	$B/GL(B)$	$s_e^2 + (\sum_{k1} n_{k1}^2 f_{k1}) s_b^2$
Lecturas	$\sum_{k1m} (x_{k1m} - x_{k1\cdot})^2 = E$	$\sum_{k1} n_{k1} - \sum_k n_k$	$E/GL(E)$	s_e^2
Total	$\sum_{k1m} (x_{k1m} - x_{\cdot\cdot\cdot})^2$	$\sum_{k1} n_{k1} - 1$		

Tabla A1: Análisis de varianza de un modelo anidado con tres niveles de variación. En la notación empleada el punto señala sumatoria sobre dicho índice:

$$n_{\cdot\cdot} = \sum_{k1} n_{k1} = n^{\circ} \text{ total de lecturas (120)}$$

$$n_{k\cdot} = \sum_1 n_{k1} = n^{\circ} \text{ total de lecturas en la muestra } k \text{ (3)}$$

$$x_{\cdot\cdot\cdot} = \sum_{k1m} x_{k1m} / n_{\cdot\cdot\cdot}$$

$$f_k = (1/n_{k\cdot} - 1/n_{\cdot\cdot}) / GL(A)$$

$$f_{k1} = (1/n_{k1} - 1/n_{k\cdot}) / GL(B)$$

2. Resultados obtenidos

Los resultados del análisis por EEP de las 20 muestras fueron almacenados en un archivo informático, cuya edición completa se adjunta al final de este anexo. Las variables FE2X, MN, BA, ... corresponden al análisis ordinario de dichas muestras, y los FE 1, MN 1, BA 1, ... y FE 2, MN 2, BA 2, ... señalan los resultados de las dos lecturas instrumentales efectuadas sobre la solución originada por la segunda disgregación de las muestras.

2.1. Parámetros estadísticos elementales

Los parámetros estadísticos elementales de los diferentes resultados analíticos del conjunto de las muestras controladas se presentan en las tablas A2a y A2b.

El Nb, As, Sb, Sn, W y Cd no sobrepasan el límite de dosificación en ningún análisis y, por consiguiente, no fueron tabulados.

Los caracteres estadísticos concuerdan bien en las tres series de datos. Sólo para la Ag y el Mo los coeficientes de variación manifiestan diferentes dispersiones en las distribuciones. Para la Ag esto es explicable por la muestra de la localidad 8015 con 0.5ppm, que en el segundo análisis no sobrepasa el límite de detección. Asimismo, hemos podido comprobar que el límite inferior de dosificación de la Ag, para las condiciones analíticas empleadas, seguramente no es inferior a 0.6ppm (Spangenberg J., 1983). El caso del Mo es similar, puesto que la mayoría de las muestras exhiben tenores en este metal próximos al límite de detección donde la imprecisión analítica es máxima.

2.2. Diagramas binarios. Coeficientes de correlación

En las figuras A2 a A14 ofrecemos los diagramas de re-

partición para aquellos elementos cuyos tenores varían considerablemente por encima del límite de dosificación. Representamos en ellos las 20 muestras según los tenores obtenidos en las dos lecturas (FE 1, MN 1, BA 1, ... y FE 2, MN 2, BA 2, ...).

En el caso teórico de una reproductibilidad perfecta, los puntos deberían alinearse sobre la diagonal principal del diagrama. La dispersión de los puntos alrededor de esta recta es una medida de la precisión estrictamente instrumental.

El Fe, Mn, P, Ba y Zn son medidos con muy buena reproductibilidad y sólo para el Pb, Y y Ni apreciamos una dispersión sustancial. Los diagramas del Cu, V, Be, Ni y Pb manifiestan una tendencia de la segunda lectura a ser más elevada que la primera (lectura). Esto sería explicable por las diferentes condiciones de estabilidad del espectrómetro de emisión plasma en una y otra medida.

Los coeficientes de correlación lineal fueron calculados sobre los tenores brutos y los log-transformados de las cuplas de lecturas realizadas sobre la misma solución. A excepción del Be e Y todos son mayores que 0.95 (tabla A3).

2.3. Análisis de varianza

Efectuamos el análisis de varianza sobre los datos transformados logarítmicamente, con el doble propósito de minimizar la relación entre la media y la varianza, y simetrizar las distribuciones de los datos.

La figura A15 exhibe, a título ilustrativo, parte de la salida impresa del programa 'UANOVA' con los resultados del ANVA para el Fe. La columna del tamaño de la unidad (tam-uni.) indica el número de unidades a cada nivel del diseño: 80 localidades de muestreo (60 ordinarias y 20 controladas para la precisión analí-

tica), 100 puestas en solución y 120 lecturas instrumentales.

Los cuadrados medios sintetizados y los correspondientes grados de libertad calculados por la aproximación de Satterthwaite F.E. (1946), que nos permite efectuar el test F aproximado para examinar la significación de las hipótesis nulas $s_a^2 = 0$ y $s_b^2 = 0$ (Snee R.P., 1974).

El programa también calcula los límites de confianza de 95% para la media global y los componentes de varianza de cada nivel del diseño.

En el caso del Fe, el 98.6% de la varianza observada corresponde a la variabilidad geoquímica y de muestreo entre las localidades, un 1.1% la operación de puesta en solución y finalmente sólo un 0.3% a la lectura instrumental.

La tabla A4 muestra la varianza total de los datos log-transformados, los componentes de varianza de los tres niveles considerados, un cociente de varianza que mide la eficiencia del análisis químico y, finalmente, la media geométrica y sus límites de confianza estimados sobre las 80 localidades de muestreo involucradas en el tratamiento.

Para el Fe, Ba y P el componente de varianza debido a la puesta en solución de las muestras pedogeoquímicas difiere significativamente de cero a un nivel de 0.001. La contribución de los errores de puesta en solución a la variabilidad total de los tenores de los demás elementos es trivial a un nivel de significación del 5%. El componente de error asociado a la disolución de las muestras es, entonces, mayor que el componente de error instrumental para el Fe, Ba y P. Los intervalos de confianza correspondientes ponen de manifiesto que dichas diferencias son estadísticamente importantes (tabla A5). La dispersión de los resultados de las dosificaciones de Fe, Ba y P originada en la fa-

se de puesta en solución queda de manifiesto en los diagramas binarios de las figuras A16 a A18, donde se han proyectado los 20 puntos-muestras en el plano determinado por la determinación ordinaria de estos elementos (Fe, Ba, P) y por la media de las dos medidas espectrométricas efectuadas sobre la segunda disolución de las muestras (Fe', BA', P').

Elemento	Límites de 95% de confianza para s_b^2			Límites de 95% de confianza para s_e^2		
	Inferior	Central	Superior	Inferior	Central	Superior
Fe ₂ O ₃ (%)	0.166E-3	0.323E-3	0.881E-3	0.500E-4	0.854E-4	0.178E-3
Ba (ppm)	0.137E-2	0.244E-2	0.547E-2	0.857E-4	0.146E-3	0.306E-3
P (ppm)	0.324E-3	0.568E-3	0.124E-2	0.371E-4	0.656E-4	0.134E-3

Tabla A5: Límites de 95% de confianza alrededor de los componentes de varianza de puesta en solución, s_b^2 , y lectura instrumental, s_e^2 , para el Fe, Ba y P.

El caso más notorio es el del Ba, para el cual un 13.5% de la variabilidad se origina a nivel de la puesta en solución de las muestras y tan sólo un 0.8% es explicable por la imprecisión de la lectura instrumental. Esta situación no es infrecuente en química analítica, donde generalmente se pueden regular las condiciones de puesta en solución del analito para así minimizar el componente de error analítico debido a esta operación, en comparación con el de la lectura instrumental.

Los tres elementos (Fe, P y Ba) cuyo error de disolución es mayor que el espectrométrico son constituyentes relativamente abundantes en las muestras. La solubilidad de estos elementos queda determinada por su forma de presentación, en los especímenes pedogeoquímicos, ya sea formando minerales independientes, sustituyendo a otros elementos en la red cristalina de ciertos minerales, llenando fisuras, adsorbiéndose sobre otros constituyentes, ..., la mezcla disgregante empleada y los demás parámetros de la

disolución (temperatura, tiempo, ...).

Actualmente se llevan a cabo una serie de controles en los laboratorios de la D.A.P.G. con el objetivo de erradicar las fuentes de error en la puesta en solución del Ba.

Para el Fe, Mn, P, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr y Co la varianza analítica (puesta en solución y lectura instrumental) es menor o próxima al 6% de las respectivas inercias composicionales. Apreciamos para el Y una varianza analítica del 6.8%, del 7.9% para el V, 12.6% para el Be y, finalmente, 14.3% para el Ba.

En la columna de relación de varianzas, v , presentamos el cociente de la variabilidad interlocalidades, s_a^2 , y la suma de las varianzas de los errores analíticos, $s_b^2 + s_e^2$:

$$v = \frac{s_a^2}{s_b^2 + s_e^2}$$

Resulta deseable que v sea muy superior a 1, que es la situación más frecuente en geoquímica, donde la precisión analítica es despreciable frente a la variabilidad geoquímica total.

En nuestro caso todos los cocientes exceden la unidad y los valores más pequeños se observan para el Ba, Be, V e Y. La eficiencia analítica, definida en forma análoga a la eficiencia de muestreo de Miesch A.T. (1976), es entonces relativamente baja para estos cuatro elementos.

ESTUDIO DE PRECISIÓN ANALÍTICA

* ELEMENTO *	* NÚMERO DE * * MUESTRAS *	* VALOR * * MÍNIMO *	* VALOR * * MÁXIMO *	* MEDIA * * ARITM. *	* DESVIACIÓN * * ESTANDAR *	* COEFICIENTE * * VARIACION *	* MEDIA * * GEOMÉTRICA *	* DESVIACIÓN * * GEOMÉTRICA *
* FE2X *	* 20 *	* 3.43 *	* 12.88 *	* 6.67 *	* 2.57 *	* 0.39 *	* 6.23 *	* 1.76 *
* FE 1 *	* 20 *	* 3.13 *	* 13.03 *	* 6.45 *	* 2.75 *	* 0.43 *	* 5.94 *	* 1.95 *
* FE 2 *	* 20 *	* 3.27 *	* 12.90 *	* 6.52 *	* 2.65 *	* 0.41 *	* 6.05 *	* 1.60 *
* MN *	* 20 *	* 229.00 *	* 14040.00 *	* 2066.00 *	* 3051.35 *	* 1.48 *	* 1207.84 *	* 2.70 *
* MN 1 *	* 20 *	* 204.00 *	* 13512.00 *	* 1989.65 *	* 2955.15 *	* 1.49 *	* 1167.62 *	* 2.74 *
* MN 2 *	* 20 *	* 224.00 *	* 13775.00 *	* 2002.85 *	* 2979.45 *	* 1.49 *	* 1193.33 *	* 2.76 *
* P *	* 20 *	* 205.00 *	* 742.00 *	* 398.55 *	* 120.21 *	* 0.30 *	* 381.50 *	* 1.54 *
* P 1 *	* 20 *	* 208.00 *	* 815.00 *	* 418.25 *	* 138.96 *	* 0.33 *	* 396.79 *	* 1.46 *
* P 2 *	* 20 *	* 223.00 *	* 850.00 *	* 422.05 *	* 141.12 *	* 0.33 *	* 400.97 *	* 1.68 *
* BA *	* 20 *	* 259.00 *	* 939.00 *	* 432.20 *	* 151.81 *	* 0.35 *	* 412.23 *	* 1.77 *
* BA 1 *	* 20 *	* 212.00 *	* 789.00 *	* 395.15 *	* 133.07 *	* 0.34 *	* 376.43 *	* 1.74 *
* BA 2 *	* 20 *	* 219.00 *	* 749.00 *	* 381.80 *	* 123.87 *	* 0.32 *	* 365.06 *	* 1.55 *
* CJ *	* 20 *	* 10.00 *	* 224.00 *	* 47.55 *	* 54.67 *	* 1.15 *	* 31.55 *	* 2.72 *
* CJ 1 *	* 20 *	* 10.00 *	* 231.00 *	* 48.30 *	* 56.65 *	* 1.17 *	* 31.00 *	* 2.64 *
* CJ 2 *	* 20 *	* 10.00 *	* 207.00 *	* 43.90 *	* 50.70 *	* 1.15 *	* 29.11 *	* 2.69 *
* CR *	* 20 *	* 15.00 *	* 65.00 *	* 37.80 *	* 13.76 *	* 0.36 *	* 35.21 *	* 1.88 *
* CR 1 *	* 20 *	* 14.00 *	* 64.00 *	* 40.60 *	* 13.64 *	* 0.34 *	* 38.05 *	* 1.92 *
* CR 2 *	* 20 *	* 13.00 *	* 66.00 *	* 36.50 *	* 13.62 *	* 0.37 *	* 33.87 *	* 1.88 *
* AG *	* 20 *	* 0.20 *	* 0.50 *	* 0.23 *	* 0.11 *	* 0.47 *	* 0.22 *	* 1.68 *
* AG 1 *	* 20 *	* 0.20 *	* 0.50 *	* 0.21 *	* 0.23 *	* 1.07 *	* 0.21 *	* 1.38 *
* AG 2 *	* 20 *	* 0.20 *	* 0.50 *	* 0.22 *	* 0.08 *	* 0.37 *	* 0.22 *	* 1.71 *
* MO *	* 20 *	* 2.00 *	* 5.00 *	* 2.20 *	* 0.73 *	* 0.33 *	* 2.14 *	* 1.37 *
* MU 1 *	* 20 *	* 2.00 *	* 8.00 *	* 2.35 *	* 1.36 *	* 0.58 *	* 2.19 *	* 1.54 *
* MU 2 *	* 20 *	* 2.00 *	* 6.00 *	* 2.20 *	* 0.92 *	* 0.42 *	* 2.11 *	* 1.35 *

ESTUDIO DE PRECISION ANALITICA

* ELEMENTO *	* NUMERO DE * * MUESTRAS *	* VALOR * * MINIMO *	* VALOR * * MAXIMO *	* MEDIA * * ARITM. *	* DESVIACION * * ESTANDAR *	* COEFICIENTE * * VARIACION *	* MEDIA * * GEOMETRICA *	* DESVIACION * * GEOMETRICA *
*	*	*	I	*	I	*	*	I
B	20	10.00	28.00	12.10	4.40	0.36	11.59	1.66
B 1	20	10.00	28.00	13.15	4.25	0.32	12.65	1.48
B 2	20	10.00	28.00	12.10	4.17	0.34	11.65	1.69
ZN	20	56.00	153.00	86.80	25.28	0.29	83.57	1.78
ZN 1	20	55.00	156.00	87.20	27.94	0.32	83.26	1.75
ZN 2	20	58.00	151.00	89.60	25.46	0.30	86.09	1.79
PB	20	10.00	56.00	18.35	13.20	0.72	15.46	1.86
PB 1	20	10.00	56.00	19.05	13.69	0.72	16.13	1.80
PB 2	20	10.00	61.00	17.80	13.13	0.74	15.18	2.06
NI	20	10.00	46.00	21.70	9.88	0.46	19.74	1.82
NI 1	20	10.00	44.00	22.35	9.33	0.42	20.53	1.75
NI 2	20	10.00	44.00	20.85	9.33	0.45	18.95	1.87
V	20	46.00	313.00	101.95	73.57	0.72	87.20	1.82
V 1	20	48.00	345.00	109.35	75.99	0.69	94.58	1.69
V 2	20	38.00	294.00	95.50	68.09	0.71	81.58	1.74
BE	20	1.00	7.00	2.80	1.75	0.62	2.42	2.09
BE 1	20	1.00	7.00	2.80	1.62	0.58	2.45	1.69
BE 2	20	1.00	7.00	2.65	1.64	0.62	2.29	1.96
Y	20	16.00	47.00	25.45	9.37	0.35	24.18	1.53
Y 1	20	16.00	53.00	26.60	9.41	0.35	25.22	1.55
Y 2	20	16.00	43.00	25.55	8.49	0.33	24.30	1.59
CO	20	10.00	27.00	13.20	5.07	0.38	12.50	1.42
CO 1	20	10.00	27.00	12.55	4.45	0.35	12.01	1.50
CO 2	20	10.00	26.00	13.00	4.36	0.34	12.45	1.82

Elemento	Efectivo	r	r _L
Fe ₂ O ₃ (%)	20	1.00	1.00
Mn (ppm)	20	1.00	0.99
Ba	20	1.00	0.99
P	20	1.00	1.00
V	20	0.99	0.98
Pb	20	0.96	0.96
Zn	20	0.99	0.99
Cu	20	1.00	0.99
Ni	20	0.98	0.97
Cr	20	0.97	0.98
Co	20	0.96	0.96
Be	20	0.97	0.94
Y	20	0.90	0.90

Tabla A3: Coeficientes de correlación lineal calculados en valores naturales, r, y logarítmicos, r_L, de los tenores de las lecturas dobles.

Elemento	Varianza total ₂ (log ₁₀ s ²)	Componentes de varianza (%)			Relación varianzas v	G	Límites de 95% de confianza de G	
		Geoquímica	Disolución	Instrumental				
Fe ₂ O ₃ (%)	0.03000	98.6	1.1 AS	0.3	72.5	5.71	5.16 -	6.33
Mn (ppm)	0.14246	99.3	0.0 NS	0.7	144.9	1024	819 -	1280
Ba	0.01998	85.7	13.5 AS	0.8	6.0	393	363 -	424
P	0.02289	97.0	2.6 AS	0.4	32.8	420	385 -	460
V	0.04053	92.1	0.0 NS	7.9	11.7	83	74 -	93
Pb	0.04585	94.1	0.4 NS	5.5	15.9	14	12 -	16
Zn	0.01432	97.6	0.7 NS	1.7	40.5	79	74 -	85
Cu	0.10709	98.9	0.0 NS	1.1	89.4	29	24 -	36
Ni	0.03475	95.1	0.0 NS	4.9	19.5	19	17 -	21
Cr	0.03608	94.8	0.0 NS	5.2	18.2	36	32 -	40
Co	0.01345	94.6	0.0 NS	5.4	17.5	12	11 -	13
Be	0.04476	87.4	4.9 NS	7.7	6.9	2.4	2.1 -	2.6
Y	0.02757	93.2	0.0 NS	6.8	13.6	23	21 -	25

Tabla A4: Resultados del estudio de los componentes de varianza geoquímica (incluido el error de muestreo) y analíticos: puesta en solución y medida instrumental (EEP). v es una relación de varianzas que mide la eficiencia analítica. Adjuntamos la media geométrica con su intervalo de 95% de confianza para cada elemento estimada sobre las 80 muestras involucradas en el tratamiento.

* CONTROL EEP : HIERRO *

* CONTROL EEP : MANGANESO *

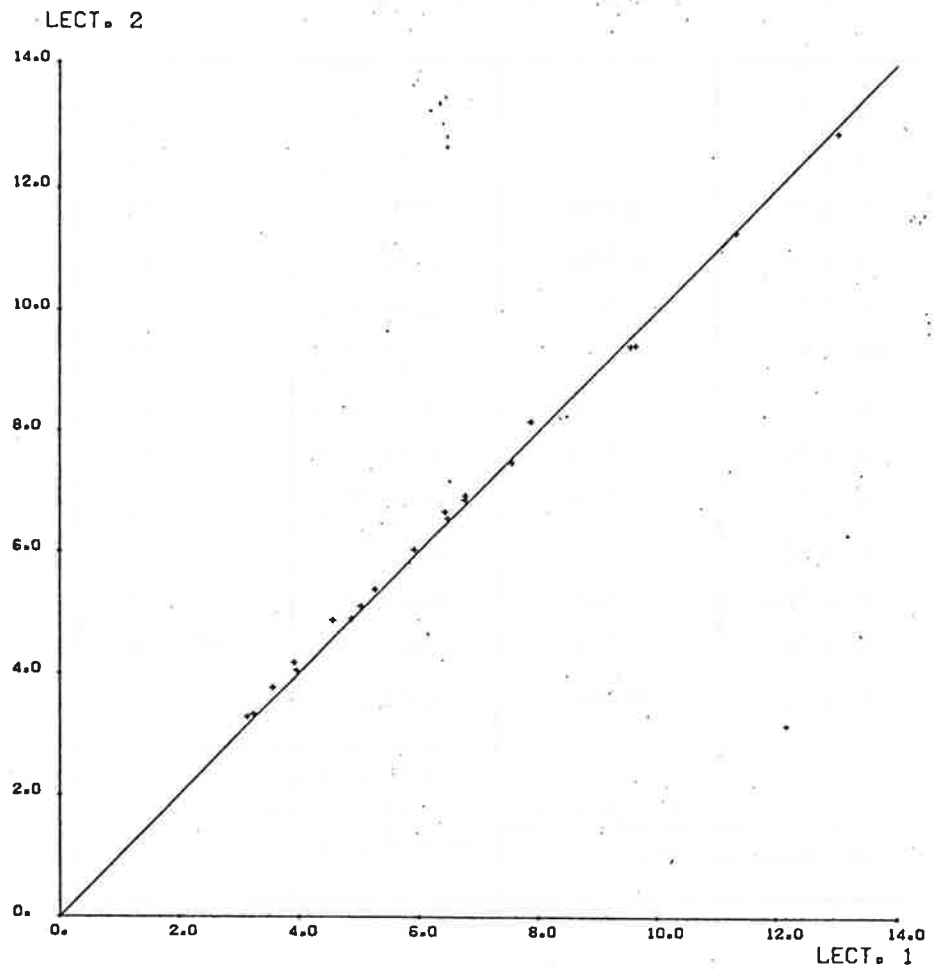


Figura A2

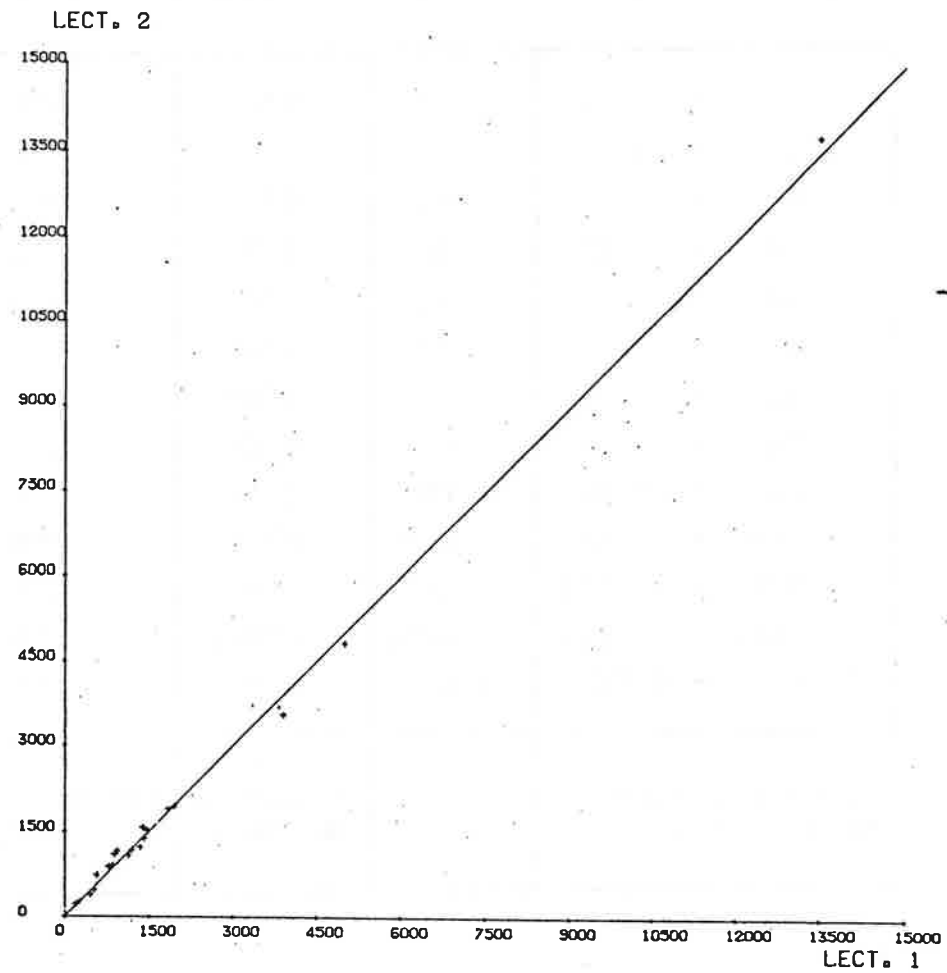


Figura A3

* CONTROL EEP : BARIO *

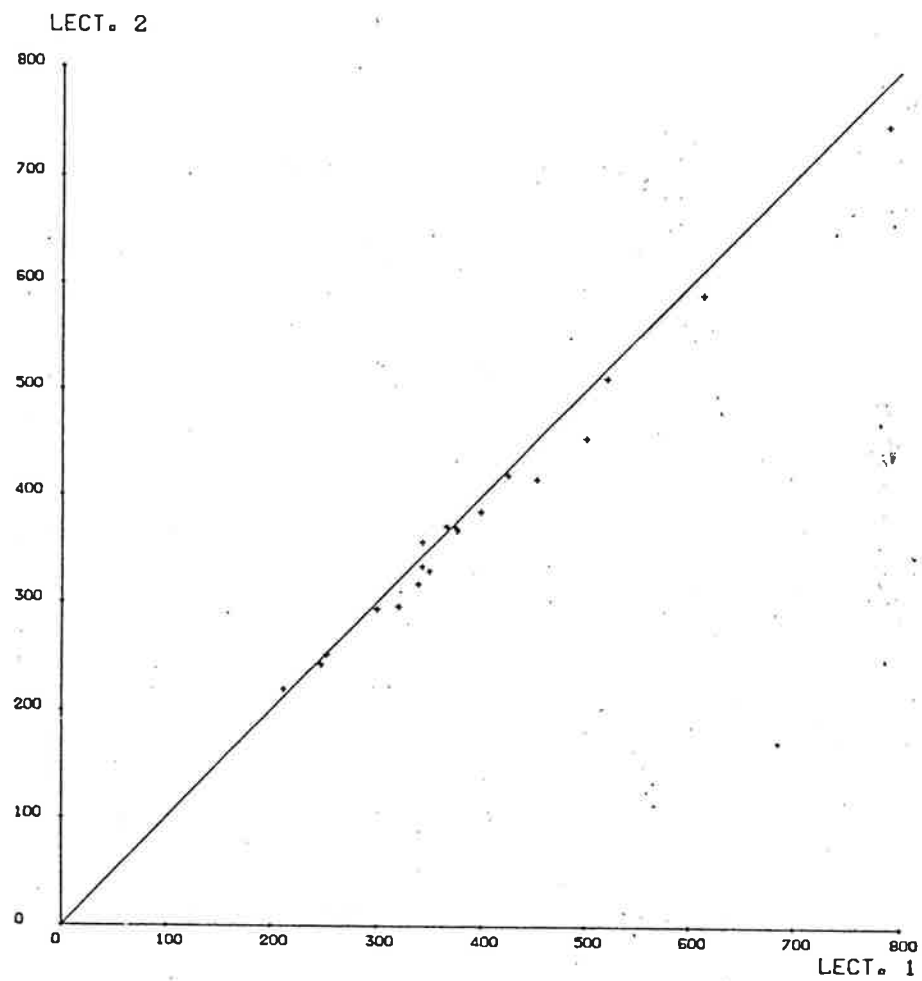


Figura A4

* CONTROL EEP : FOSFORO *

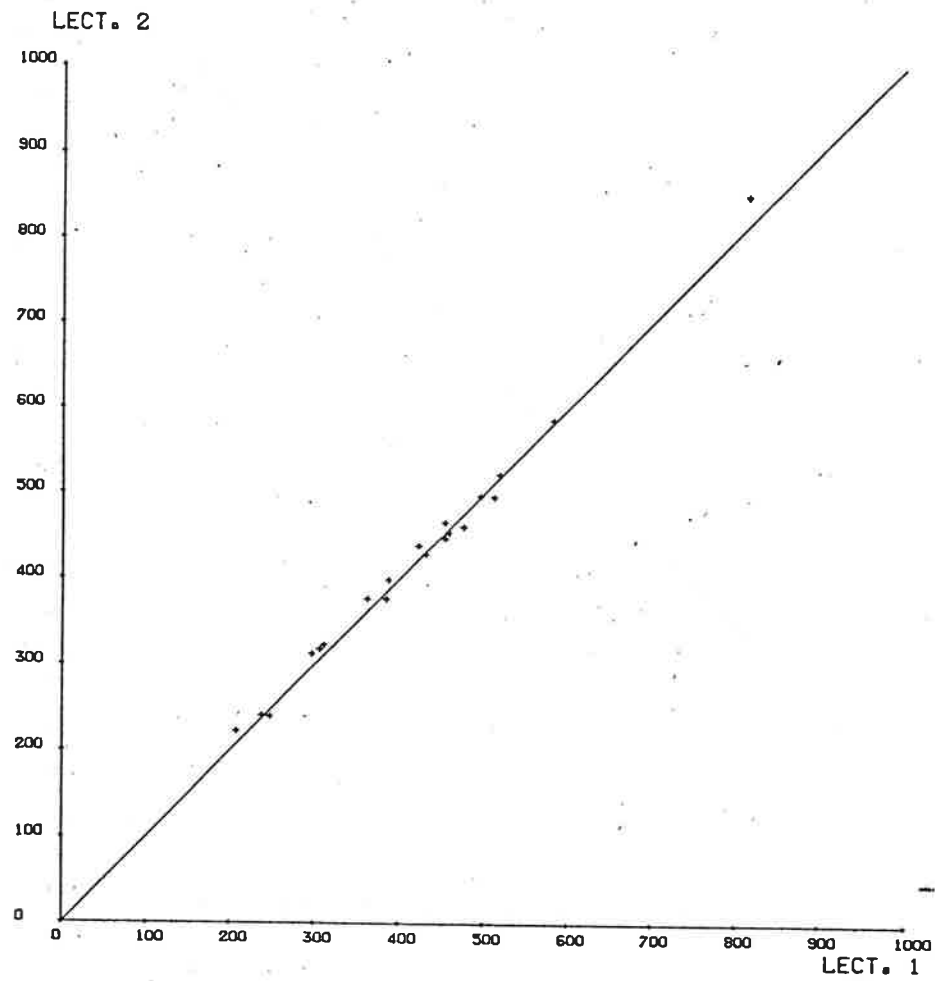


Figura A5

* CONTROL EEP : VANADIO *

* CONTROL EEP : PLOMO *

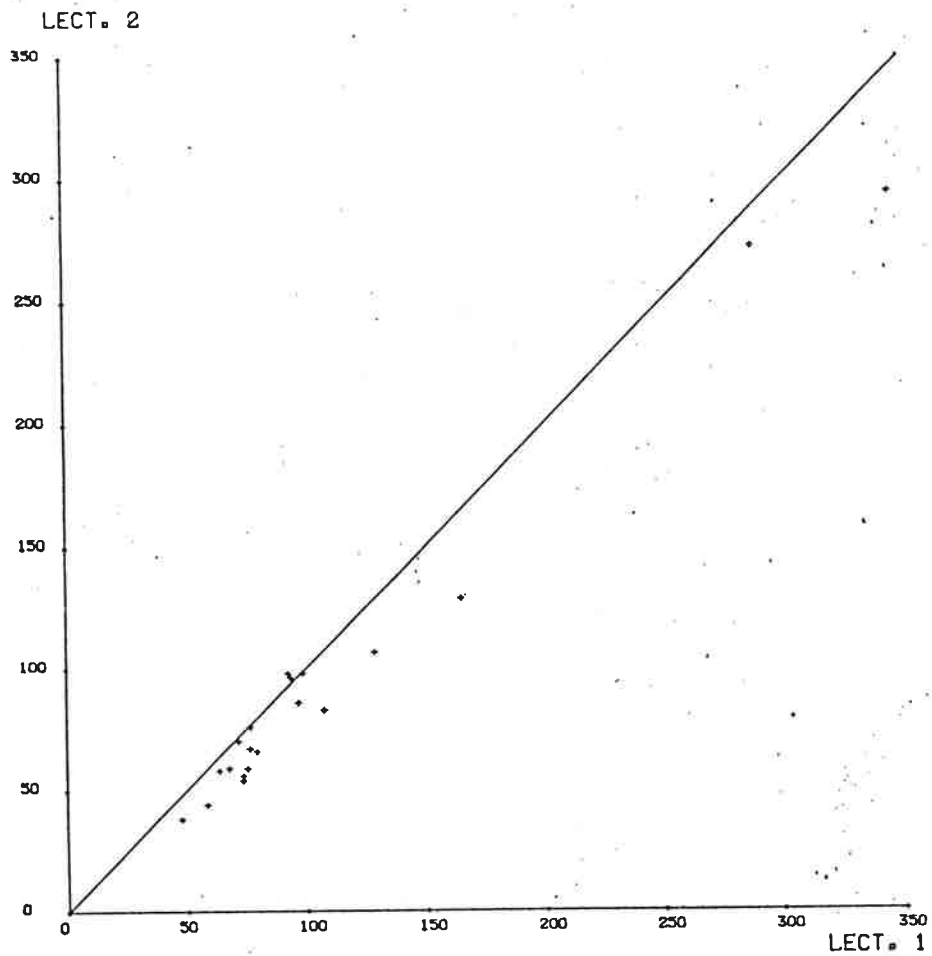


Figura A6

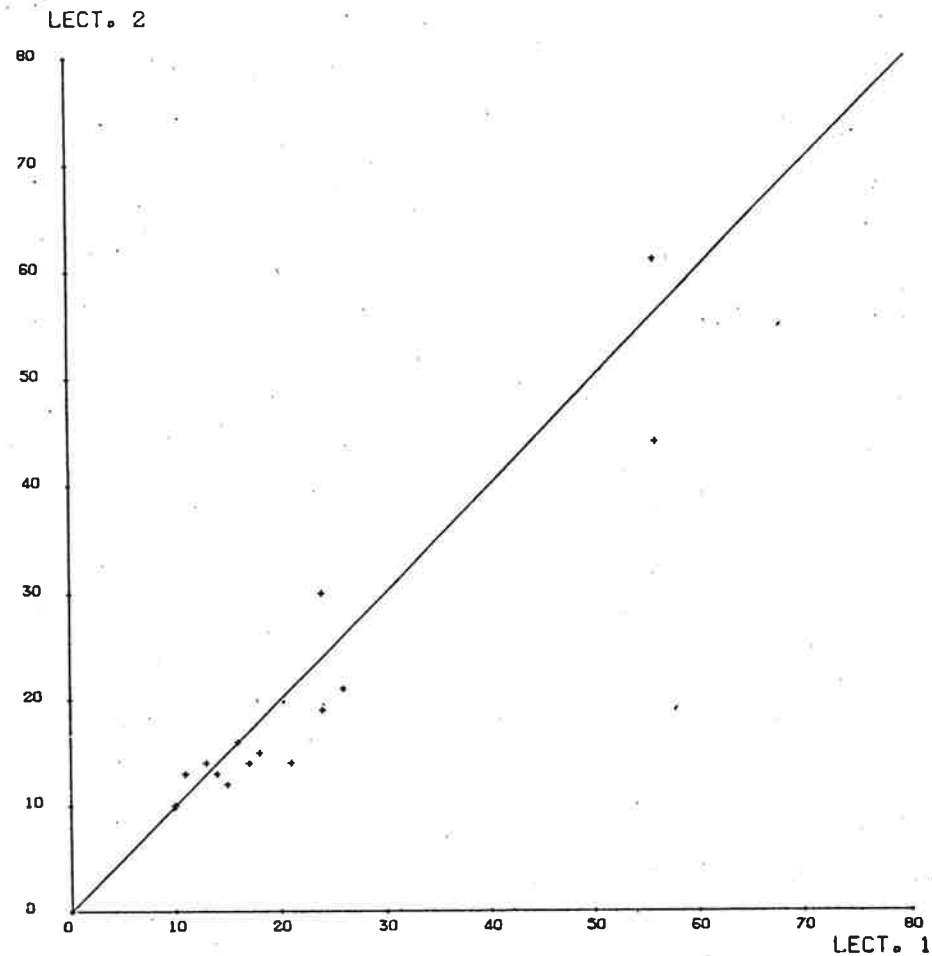


Figura A7

* CONTROL EEP : ZINC *

* CONTROL EEP : COBRE *

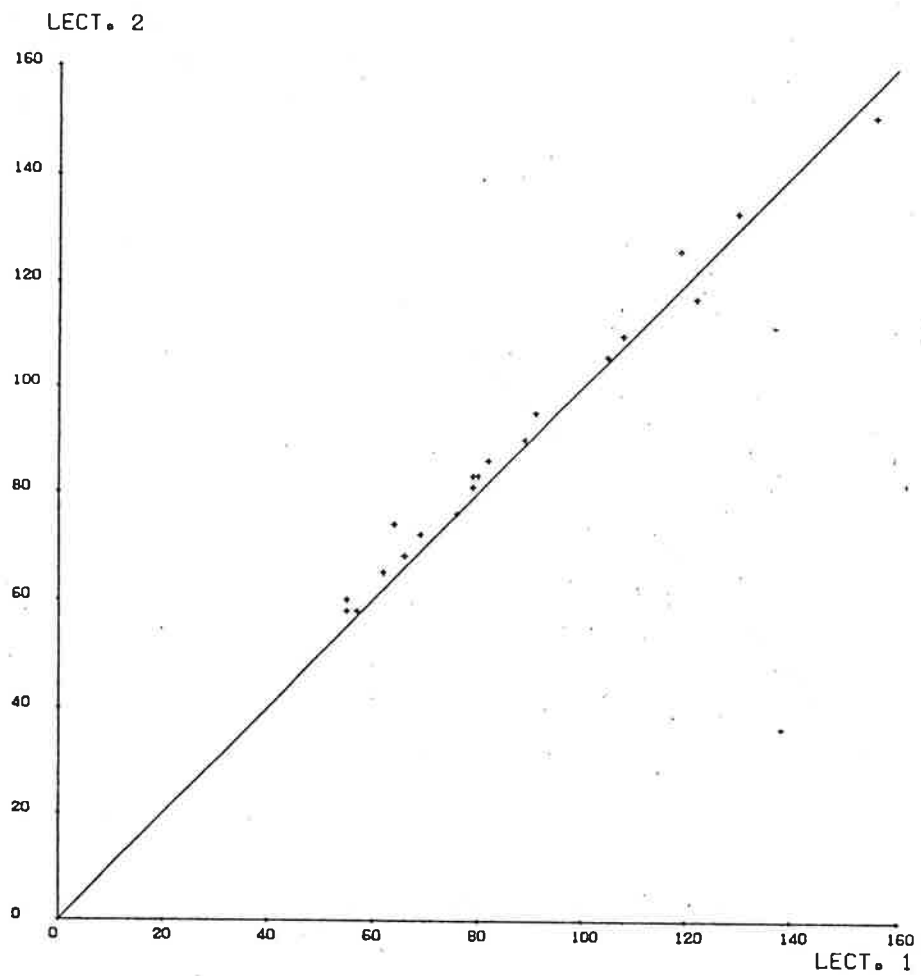


Figura A8

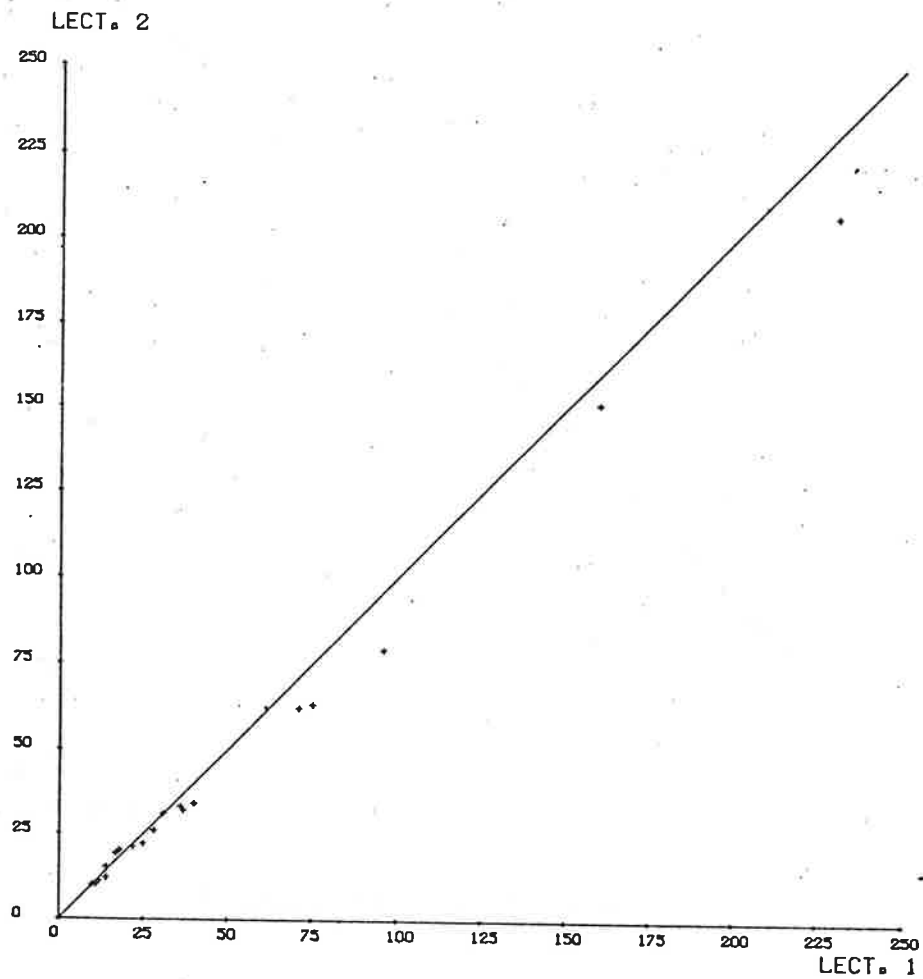


Figura A9

* CONTROL EEP : NIQUEL *

* CONTROL EEP : CROMO *

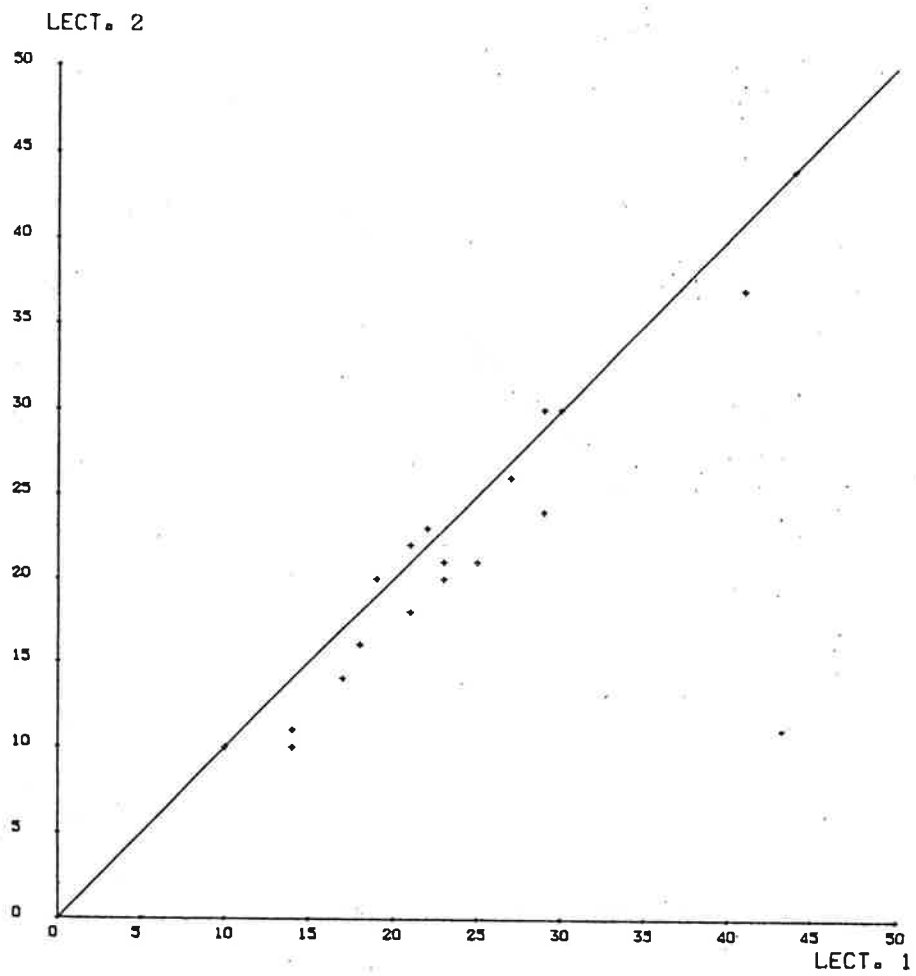


Figura A10

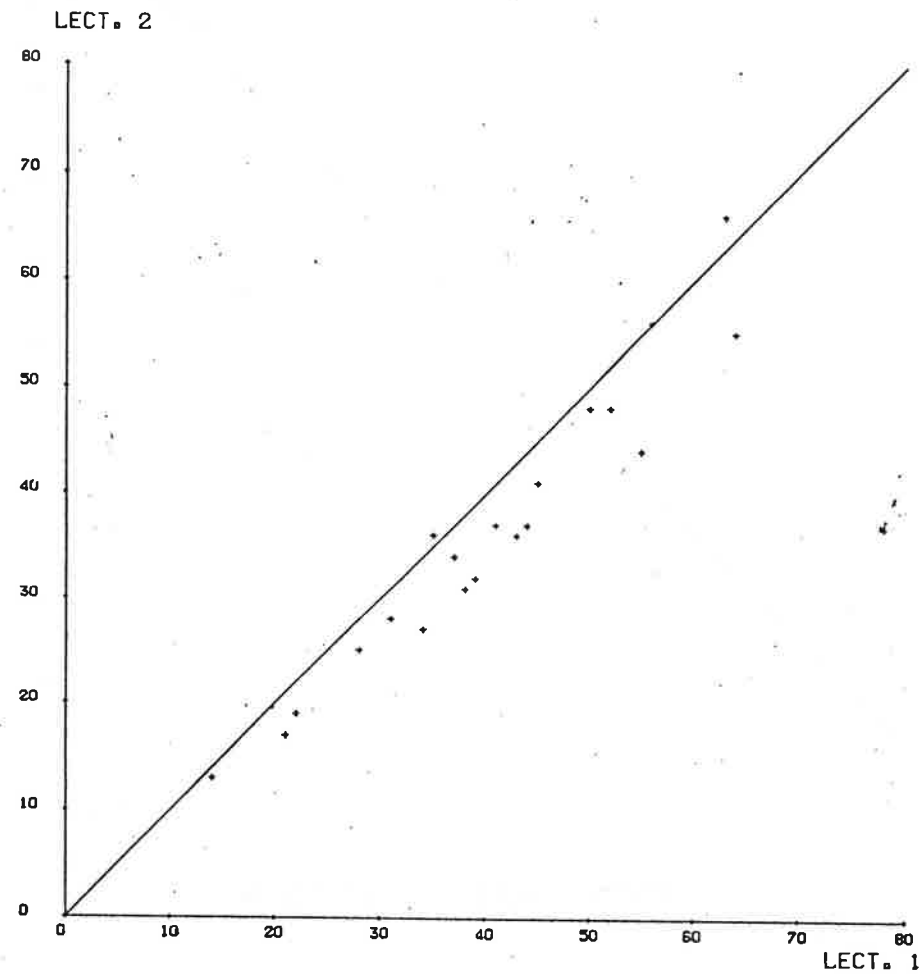


Figura A11

* CONTROL EEP : BERILIO *

* CONTROL EEP : COBALTO *

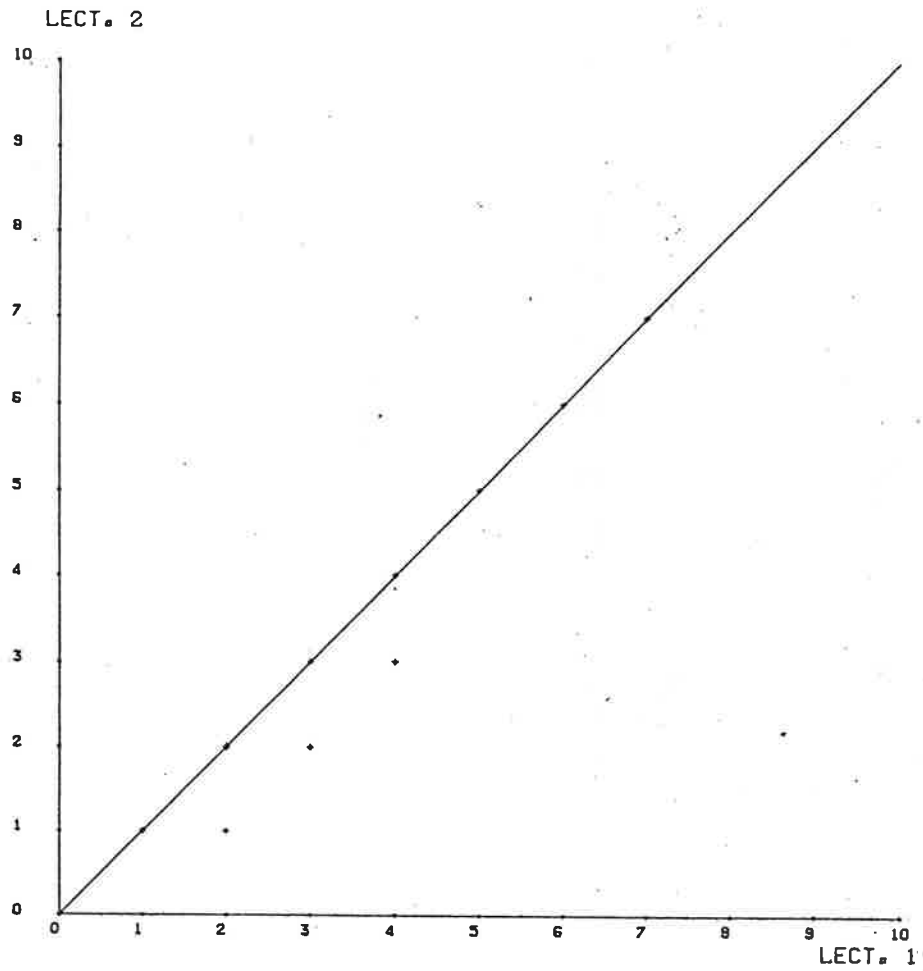


Figura A12

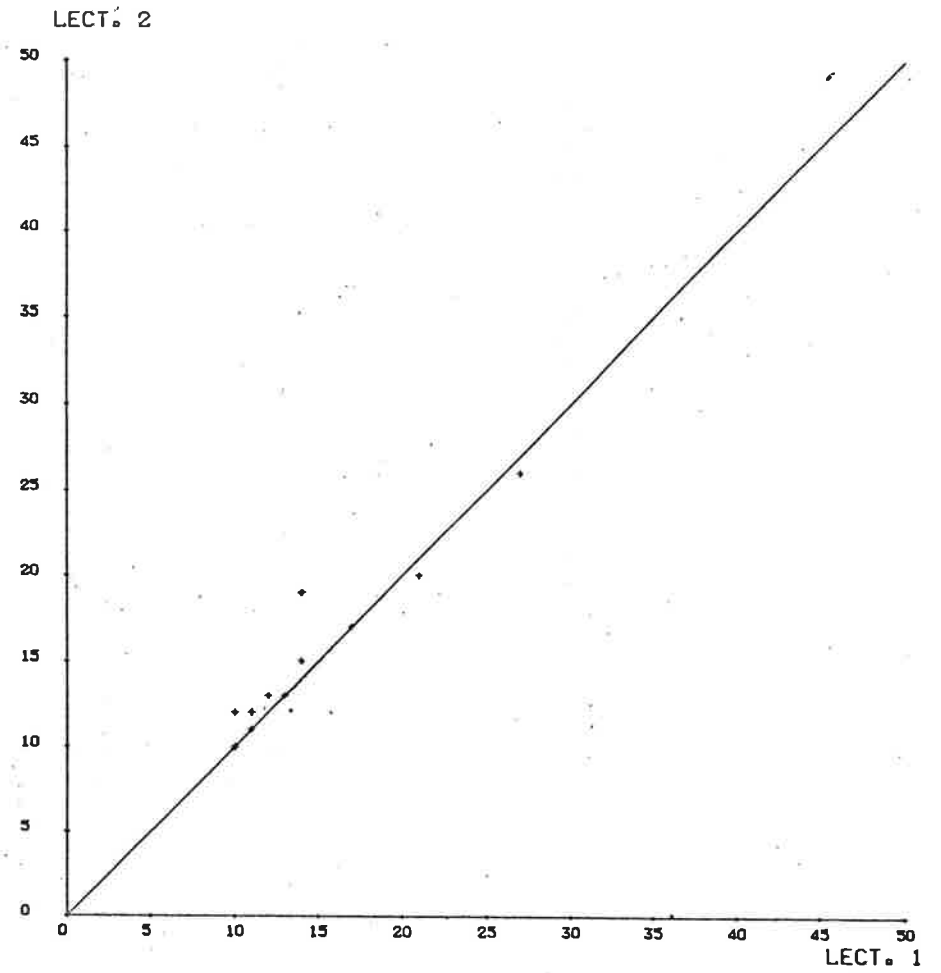


Figura A13

* CONTROL EEP : YTRIO *

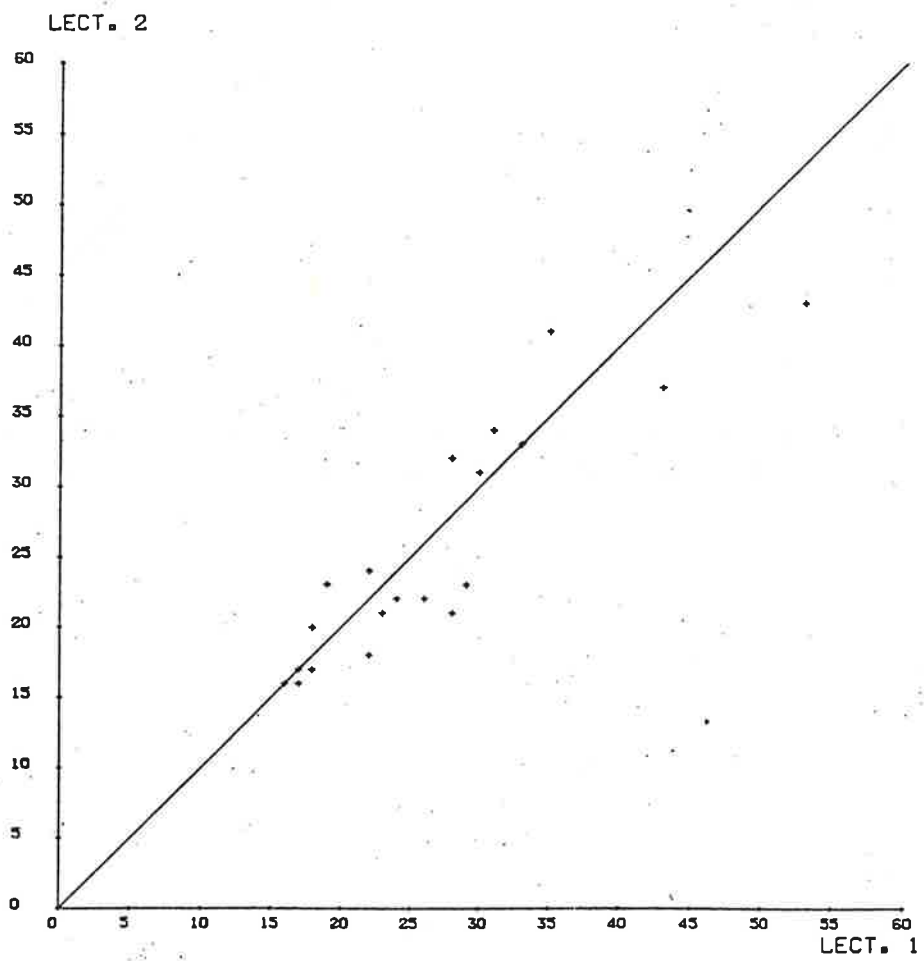


Figura A14

ESTUDIO DE LA PRECISION DE LOS DATOS GEOQUIMICOS. ANALISIS DE UN DISEÑO ANIDADO DESBALANCEADO CON 3 NIV. VARIACION = HIERRO

ANALISIS DE VARIANZA PARA FE2O3. DATOS TRANSFORMADOS - LOG1				ESTIMACION DE COMPONENTES DE VARIANZA					TEST DE HIPOTESIS NO.1 (COMPONENTES DE VARIANZA = 0)			
NIV	VARIACION ENTRE	SUMA DE CUADRADOS	GDL	CUADRADOS MEDIOS	TAM. COMPONENTES UNI. DE VARIANZA	PERCENT. TOTAL	CUAD. MEDIOS SINTETIZADOS	GDL CALC.	F APROX.	PROBA- BILIDAD	SIGNIFI- CACION(1)	
3	MUESTRAS	3.5337	79	0.44731E-01	80	0.29638E-01	98.64	0.46194E-03	20.96(2)	96.83	1.0000	***
2	DISOLUC.	0.10330E-01	20	0.51651E-03	100	0.32329E-03	1.08	.85449E-04	20.00	6.04	0.9999	***
1	LECTURAS	0.17090E-02	20	0.85449E-04	120	0.85449E-04	0.28					
TOTALES		3.5458	119			0.30046E-01						

- (1) NS = NO SIGNIFICATIVO, F .LE. 0.95
 * = F .GT. 0.95 PERU .LE. 0.99
 ** = F .GT. 0.99 PERU .LE. 0.999
 *** = F .GT. 0.999

(2) CUADRADOS MEDIOS SINTETIZADOS Y GRADOS DE LIBERTAD CALCULADOS POR LA APROXIMACION DE SATTERTHWAITE

FORMULA PARA LOS CUADRADOS MEDIOS

E(MS(3)) =	1.0000	1.1646	1.4937
E(MS(2)) =	1.0000	1.3333	
E(MS(1)) =	1.0000		

Figura A15

* CONTROL DISOLUCION: HIERRO *

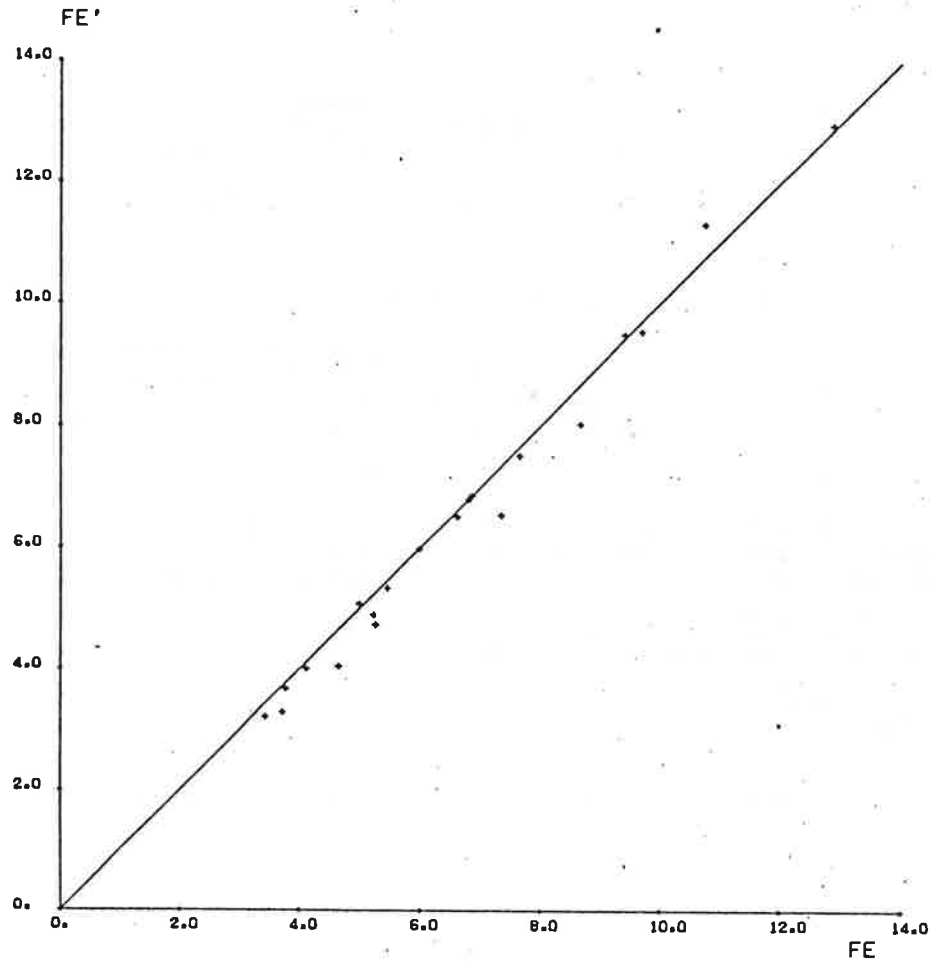


Figura A16

* CONTROL DISOLUCION: BARIO *

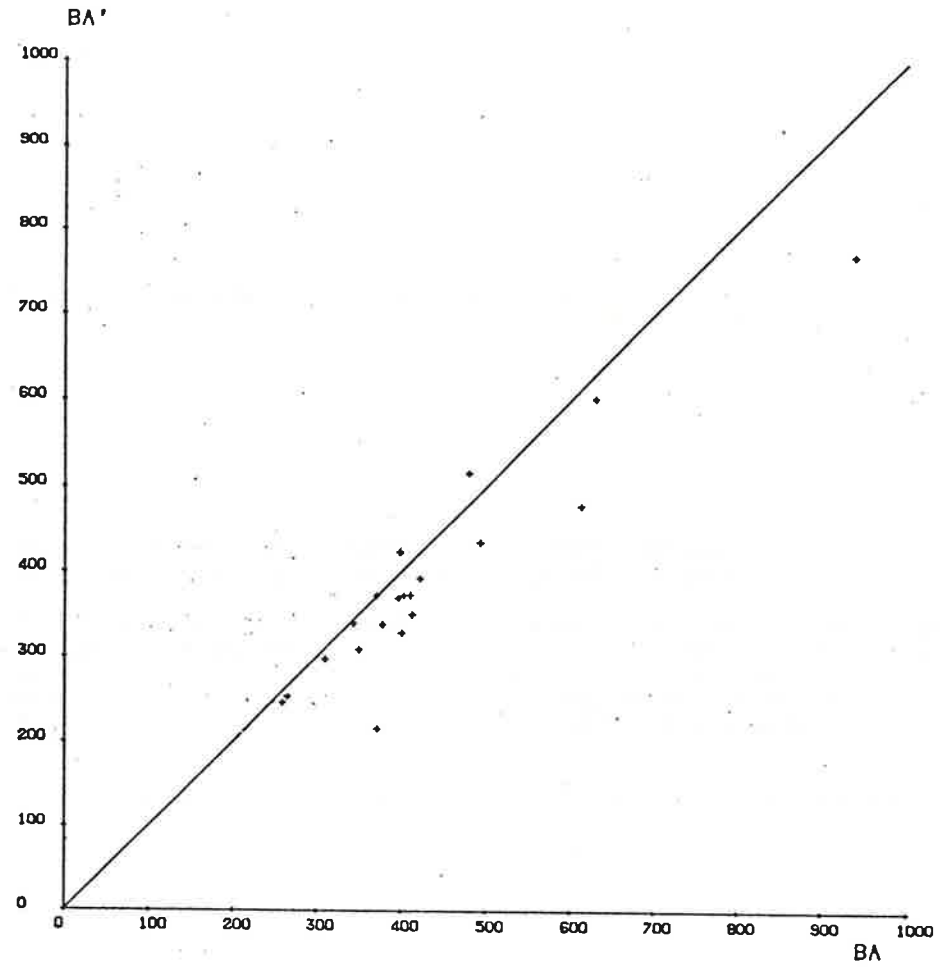


Figura A17

* CONTROL DISOLUCION: FOSFORO *

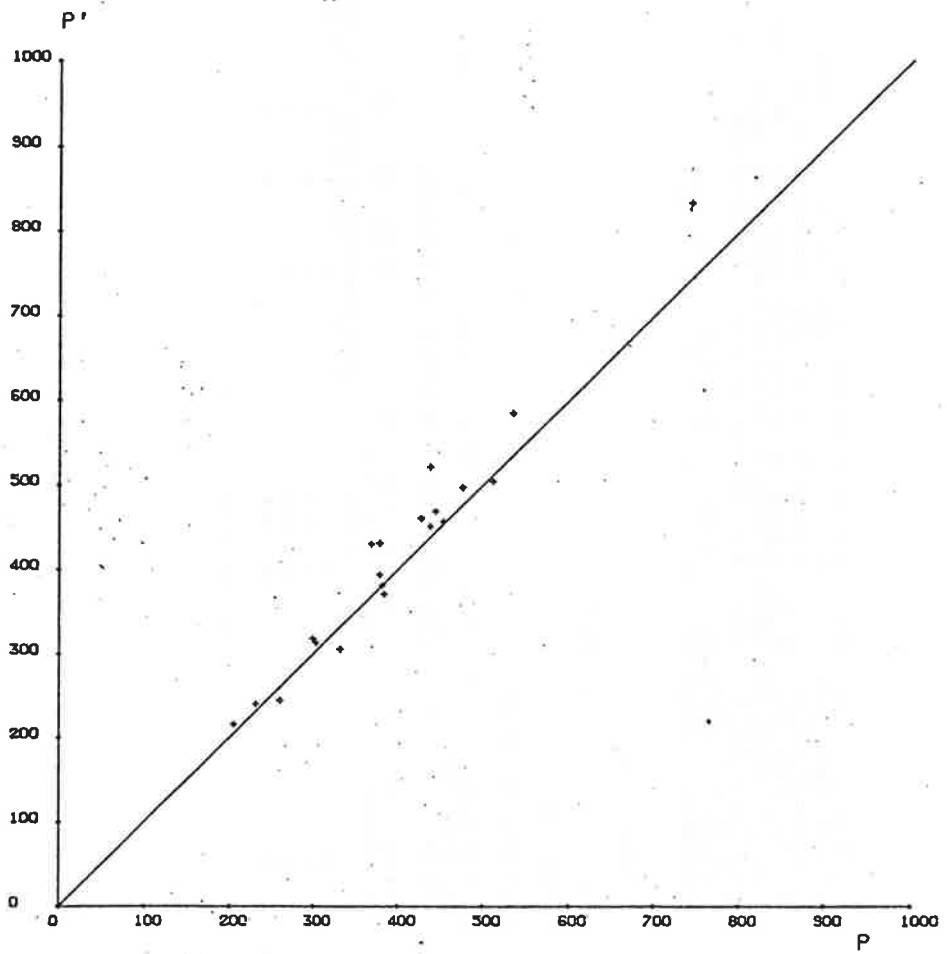


Figura A18

* ESTE ARCHIVO CONTIENE LOS RESULTADOS DEL ANALISIS POR FEP DE UN GRUPO DE MUESTRAS QUE FUE ANALIZADO 'EN DOBLE' (DOS PUESTAS EN SOLUCION). EN EL SEGUNDO ANALISIS SE REALIZARON DOS MEDIDAS DE LA MISMA SOLUCION. PARA EL PRIMER ANALISIS SE CONSERVO LA NOMENCLATURA USUAL (FE2X, MN, ...), Y SON LOS VALORES QUE FUERON PROCESADOS CON LA TOTALIDAD DE LOS DATOS. LAS DOS LECTURAS EFECTUADAS EN EL SEGUNDO ANALISIS SE PRESENTAN COMO FE 1, FE 2, MN 1, MN 2, ...
 TODOS LOS ANALISIS INCLUIDOS EN ESTE ARCHIVO FUERON REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO QUIMICO ANALITICO DE LA D.A.P.G. (O.I.N.A.M.I.G.E.).

* PRIMERA PARTE DE LA EDICION *

* ARCHIVO DE ANALISIS 'DOBLES' *

COMENTARIOS

IND. = NRO. DE MUESTRA

UN VALOR IGUAL AL LIMITE INFERIOR DE DJSIFICACION DEBE SER CONSIDERADO COMO IGUAL O INFERIOR A DICHO VALOR.

UN VALOR IGUAL A ***** DEBE SER CONSIDERADO COMO NO DETERMINADO.

SIMBULO DE LOS ELEMENTOS	LIMITE INFERIORES DE DJSIFICACION	METODO ANALITICO
FE2X = FE203	0.1 0/0	ESPECTROMETRIA DE EMISION PLASMA
MN	10. G/T	• • • • •
BA	10. G/T	• • • • •
P	10. G/T	• • • • •
CU	10. G/T	• • • • •

* IND.	N. MO	FE 1	FE 2	MN	MN 1	MN 2	BA	BA 1	BA 2	P	P 1	P 2	CU	CU 1	CU 2 *	
8015	282	10.73	11.33	11.30	1652	1429	1381	265	253	251	511	512	495	162	150	151
8017	282	12.89	13.03	12.90	1491	1495	1516	259	248	242	534	583	585	224	231	207
8019	282	4.12	3.96	4.05	1027	869	910	493	453	415	249	311	323	37	40	39
8051	232	6.32	6.76	6.85	832	788	887	350	321	296	377	423	437	73	75	61
8055	232	5.23	4.88	4.39	783	901	1097	378	343	333	437	519	521	29	29	26
8069	232	5.46	5.28	5.38	565	536	735	344	350	329	302	306	318	67	71	52
8081	232	6.62	6.48	6.54	14040	13512	13775	939	789	749	377	388	398	15	14	15
8100	232	5.99	5.92	6.02	974	940	1155	613	501	454	205	208	223	82	96	73
8128	282	7.33	6.43	6.65	2008	1961	1940	400	339	317	331	297	312	32	36	33
8152	232	3.73	3.56	3.76	1107	1142	1084	371	212	219	426	454	465	26	22	21
8163	282	3.72	3.23	3.32	229	262	257	422	399	385	383	363	376	10	10	10
8174	282	6.83	5.78	6.92	3869	3916	3546	371	375	370	475	496	496	35	37	32
8186	232	4.65	3.72	4.18	429	455	391	403	376	367	231	238	241	15	14	12
8198	232	3.43	3.13	3.27	237	204	224	412	343	356	367	431	427	11	11	10
8209	232	8.67	7.38	8.15	5160	5012	4812	630	613	590	742	815	850	28	25	22
8223	232	5.26	4.38	4.36	1863	1393	1576	376	366	371	360	384	376	12	12	11
8227	232	7.53	7.55	7.46	1199	1202	1173	398	425	419	260	248	240	20	14	20
8256	202	4.99	5.03	5.11	507	524	471	310	300	294	437	454	446	34	31	31
8269	282	9.73	7.64	9.41	1811	1851	1898	430	521	511	453	459	452	21	18	20
8272	232	9.41	7.55	9.40	1337	1346	1229	410	376	368	444	476	460	18	17	17

* SEGUNDA PARTE DE LA EDICION *

* ARCHIVO DE ANALISIS 'DOBLES' *

COMENTARIOS

IND. * NRO. DE MUESTRA

UN VALOR IGUAL AL LIMITE INFERIOR DE DOSIFICACION DEBE SER CONSIDERADO COMO IGUAL O INFERIOR A DICHO VALOR.

UN VALOR IGUAL A ***** DEBE SER CONSIDERADO COMO NO DETERMINADO.

SIMBLO DE LOS ELEMENTOS	LIMITE INFERIORES DE DOSIFICACION	METODO ANALITICO
CR	10. G/T	ESPECTROMETRIA DE EMISION PLASMA
AG	0.2 G/T	
B	20. G/T	
ZN	10. G/T	
SB	20. G/T	
PB	10. G/T	

* IND.	CR	CR 1	CR 2	AG	AG 1	AG 2	B	A	Z	A	Z	ZN	ZN 1	ZN 2	SR	SR 1	SH	PA	PA 1	PA 2 *
8015	53	52	43	0.5	0.2	0.20	10	10	10	104	105	106	20	20	20	20	10	10	10	
8017	59	64	55	0.2	0.2	0.20	10	10	10	104	108	110	20	20	20	20	10	10	10	
8019	29	34	27	0.5	0.5	0.50	10	11	11	81	82	86	20	20	20	20	10	10	10	
8051	47	55	44	0.2	0.2	0.20	11	14	14	85	91	95	20	20	20	20	48	50	44	
8055	34	39	32	0.2	0.2	0.20	12	14	14	85	89	90	20	20	20	20	13	10	10	
8069	37	43	36	0.2	0.2	0.20	10	12	12	65	62	65	20	20	20	20	10	16	16	
8081	48	50	43	0.2	0.2	0.20	28	28	28	79	80	83	20	20	20	20	10	10	10	
8100	31	38	31	0.2	0.2	0.20	16	10	10	63	64	74	20	20	20	20	56	56	61	
8128	30	37	34	0.2	0.2	0.20	11	16	16	91	79	83	20	20	20	20	15	21	14	
8152	32	28	25	0.2	0.2	0.20	10	12	12	62	66	68	20	20	20	20	15	15	12	
8163	15	14	13	0.2	0.2	0.20	10	10	10	61	55	60	20	20	20	20	25	26	21	
8174	38	44	17	0.2	0.2	0.20	10	10	10	79	79	81	20	20	20	20	15	13	15	
8186	20	22	19	0.2	0.2	0.20	11	10	10	60	55	58	20	20	20	20	14	17	14	
8198	16	21	17	0.2	0.2	0.20	10	10	10	56	57	58	20	20	20	20	22	24	19	
8200	42	41	37	0.2	0.2	0.20	10	10	10	119	119	126	20	20	20	20	10	10	10	
8223	37	45	41	0.2	0.2	0.20	10	11	11	76	69	72	20	20	20	20	10	11	11	
8227	65	63	66	0.2	0.2	0.20	10	10	10	74	76	76	20	20	20	20	10	10	10	
8256	31	31	28	0.2	0.2	0.20	15	14	14	123	130	133	20	20	20	20	34	24	30	
8269	35	35	36	0.2	0.2	0.20	10	10	10	111	122	117	20	20	20	20	10	14	13	
8272	57	56	56	0.2	0.2	0.20	10	10	10	153	156	151	20	20	20	20	10	10	10	

* TERCERA PARTE DE LA EDICION *

* ARCHIVO DE ANALISIS *DOLLES* *

COMENTARIOS

IND. = NRO. DE MUESTRA

UN VALOR IGUAL AL LIMITE INFERIOR DE DOSIFICACION DEBE SER CONSIDERADO COMO IGUAL O INFERIOR A DICHO VALOR.

UN VALOR IGUAL A ***** DEBE SER CONSIDERADO COMO NO DETERMINADO.

SIMBOLO DE LOS ELEMENTOS	LIMITE INFERIOR DE DOSIFICACION	METODO ANALITICO
SN	20. G/T	ESPECTROMETRIA DE EMISION PLASMA
NI	10. G/T	
V	10. G/T	
BE	1. G/T	
CO	2. G/T	
AS	20. G/T	

* INO.	SN	SN 1	SN 2	NI	NI 1	NI 2	V	V 1	V 2	BE	BE 1	BE 2	MO	MO 1	MO 2	AS	AS 1	AS 2 *
8015	20	20	20	32	30	30	298	288	272	1	1	1	2	2	2	20	20	20
8017	20	20	20	41	41	37	313	345	294	1	2	1	2	2	2	20	20	20
8019	20	20	20	12	14	11	62	74	56	4	4	4	2	3	2	20	20	20
8051	20	20	20	27	29	24	152	165	129	2	2	2	2	2	2	20	20	20
8055	20	20	20	18	18	16	72	80	66	2	2	2	2	2	2	20	20	20
8069	20	20	20	19	21	18	109	129	107	2	1	1	2	2	2	20	20	20
8081	20	20	20	27	27	26	70	72	70	2	3	2	2	2	2	20	20	20
8100	20	20	20	15	17	14	84	108	83	4	4	3	2	2	2	20	20	20
8128	20	20	20	10	23	21	77	97	36	2	2	3	5	8	6	20	20	20
8152	20	20	20	14	14	10	92	77	67	2	2	2	2	2	2	20	20	20
8163	20	20	20	10	10	10	46	48	38	7	6	6	2	2	2	20	20	20
8174	20	20	20	21	25	21	62	76	59	2	2	2	2	2	2	20	20	20
8186	20	20	20	10	10	10	66	74	54	5	5	5	2	2	2	20	20	20
8198	20	20	20	10	10	10	50	59	44	7	7	7	3	2	2	20	20	20
8200	20	20	20	24	23	20	68	68	59	2	2	2	2	2	2	20	20	20
8223	20	20	20	19	21	22	52	64	58	2	3	3	2	2	2	20	20	20
8227	20	20	20	30	29	30	89	93	98	2	2	3	2	2	2	20	20	20
8256	20	20	20	20	19	20	81	77	76	3	2	2	2	2	2	20	20	20
8269	20	20	20	21	22	23	94	94	46	2	2	2	2	2	2	20	20	20
8272	20	20	20	46	44	44	102	99	98	2	2	2	2	2	2	20	20	20

* CUARTA PARTE DE LA EDICION *

* ARCHIVO DE ANALISIS DOBLES *

COMENTARIOS

IND. = NRO. DE MUESTRA

UN VALOR IGUAL AL LIMITE INFERIOR DE DOSIFICACION DEBE SER CONSIDERADO COMO IGUAL O INFERIOR A DICHO VALOR.

UN VALOR IGUAL A ***** DEBE SER CONSIDERADO COMO NO DETERMINADO.

SÍMBOLO DE LOS ELEMENTOS	LIMITES INFERIORES DE DOSIFICACION	METODO ANALITICO
W	10. G/T	ESPECTROMETRIA DE EMISION PLASMA
CO	10. G/T	
Y	5. G/T	
CO	1. G/T	
NB	10. G/T	

IND.	W	W 1	W 2	CO	CO 1	CO 2	Y	Y 1	Y 2	CD	CD 1	CD 2	NR	NR 1	NR 2
8015	11	10	10	25	21	20	19	19	23	1	1	1	10	10	10
8017	10	10	10	27	27	26	29	28	32	1	1	1	10	10	10
8019	10	10	11	10	10	10	31	30	31	1	1	1	10	10	10
8051	10	10	10	11	12	13	21	23	21	1	1	1	10	10	10
8055	10	10	10	10	10	10	21	24	22	1	1	1	10	10	10
8069	10	10	10	10	10	10	21	26	22	1	1	1	10	10	10
8081	10	10	10	18	14	19	17	22	18	1	1	1	10	10	10
8100	10	10	10	10	10	10	35	43	37	1	1	1	10	10	10
8120	10	10	10	13	11	12	23	13	17	1	1	1	10	10	10
8152	10	10	10	10	10	10	20	17	17	1	1	1	10	10	10
8163	10	10	10	10	10	10	29	31	34	1	1	1	10	10	10
8174	10	10	10	15	14	15	20	13	20	1	1	1	10	10	10
8186	10	10	10	10	10	10	43	35	41	1	1	1	10	10	10
8198	10	10	10	10	10	10	47	53	43	1	1	1	10	10	10
8200	10	10	10	11	11	11	23	29	23	1	1	1	10	10	10
8223	10	10	10	12	10	12	20	28	21	1	1	1	10	10	10
8227	10	10	10	13	13	13	16	17	16	1	1	1	10	10	10
8256	10	10	10	10	10	10	36	33	33	1	1	1	10	10	10
8269	10	10	10	11	11	12	16	16	16	1	1	1	10	10	10
8272	10	10	10	18	17	17	22	22	24	1	1	1	10	10	10

APENDICE II: RESULTADOS ANALITICOS

* ESTE ARCHIVO CORRESPONDE A LOS RESULTADOS DE UN ESTUDIO SEMI FACTICO REALIZADO SOBRE UNA ANOMALIA CU-AS-PB-ZN EN EL MARCO DEL INVENTARIO MINERO DEL URUGUAY.

* ANALISIS DE 309 MUESTRAS POR EEP

* PRIMERA PARTE DE LA EDICION *

COMENTARIOS

IND. = NRJ. DE MUESTRA
 COD. = CODIGO DE CAMPO
 X, Y = COORDENADAS GEOGRAFICAS LOCALES

UN VALOR IGUAL AL LIMITE INFERIOR DE DOSIFICACION DEBE SER CONSIDERADO COMO IGUAL O INFERIOR A DICHO VALOR.

TODOS LOS ANALISIS INCLUIDOS EN ESTE ARCHIVO FUERON REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO QUIMICO ANALITICO DE LA DIVISION ADQUISICION Y PROCESAMIENTO DE GEODATOS (DI.NA.MI.GE.-M.I.EI).

SIMBOLO DE LOS ELEMENTOS	LIMITE INFERIORES DE DOSIFICACION	METODO ANALITICO
FE2X = FE2J3	0.1 D/O	ESPECTROMETRIA DE EMISION PLASMA
MV	10. S/T	
BA	10. S/T	
P	10. S/T	
BE	1. S/T	
CU	10. S/T	
PB	10. S/T	
ZN	10. S/T	
AS	20. S/T	
AG	0.2 S/T	

J.S./05/1983

* IND.	COD.	X	Y	FE2X	MN	BA	P	BE	CJ	PB	ZV	AS	AG *
8001	10 5	3.404	4.269	7.71	1433	519	957	2	35	19	106	20	0.2
8002	10 5	3.519	4.105	7.54	2665	414	445	2	27	17	74	20	0.2
8003	10 6	3.333	3.882	5.91	473	380	613	2	37	10	81	20	0.2
8004	30 6	3.378	3.551	3.25	710	436	271	1	18	10	54	20	0.2
8005	30 6	3.173	3.686	7.56	1187	307	732	2	64	10	88	20	0.2
8006	20 4	3.083	3.906	5.92	628	401	643	2	29	17	76	20	0.2
8007	30 4	2.970	3.667	6.79	964	621	644	3	25	11	80	20	0.2
8008	20 4	3.054	3.448	6.69	983	427	790	3	34	10	93	20	0.2
8009	10 4	3.396	3.191	4.88	1542	501	153	2	24	19	66	20	0.2
8010	10 4	3.573	3.206	5.75	1037	438	184	3	24	16	114	21	0.2
8011	10 4	3.442	2.952	4.92	1308	403	272	2	23	15	104	20	0.3
8012	10 2	3.551	2.628	4.05	706	368	395	5	13	12	60	20	0.2
8013	10 2	3.554	2.502	4.80	905	390	145	3	23	14	55	20	0.2
8014	10 2	3.298	2.570	2.80	680	421	273	2	19	10	57	20	0.2
8015	30 7	3.090	2.557	10.75	1652	265	511	1	162	10	104	20	0.5
8016	7	2.864	2.779	6.19	888	382	289	3	76	47	249	20	0.6
8017	30 7	3.033	2.993	12.88	1491	259	534	1	224	10	104	20	0.2
8018	30 7	2.828	3.011	3.99	600	537	402	4	23	15	48	20	0.2
8019	10 7	2.989	3.127	4.12	1027	493	299	4	37	48	81	20	0.5
8020	20 6	2.728	3.443	5.46	1089	569	1290	4	31	24	115	20	0.2
8021	11 6	2.889	3.887	4.40	442	593	334	3	26	32	66	20	0.2
8022	30 6	3.052	4.304	4.45	766	280	599	3	23	11	77	20	0.2
8023	10 6	2.885	4.391	7.78	1111	748	452	2	40	13	81	20	0.2
8024	10 4	2.622	4.207	5.79	1215	593	531	3	36	47	254	20	0.2
8025	10 4	2.418	4.325	5.39	870	594	541	2	39	15	72	20	0.2
8026	10 7	1.743	4.376	4.02	788	467	177	2	23	10	62	20	0.2
8027	10 7	1.420	4.255	6.25	444	395	244	2	23	12	68	20	0.2
8028	3 3	1.672	4.198	5.91	138	316	300	2	30	14	49	20	0.2
8029	10 3	1.960	4.201	4.90	902	371	197	1	37	14	54	20	0.2
8030	30 3	1.984	3.976	5.09	1300	659	543	2	50	10	69	20	0.2
8031	10 3	2.148	3.854	3.45	495	495	289	1	19	11	50	20	0.2
8032	3 3	2.262	3.760	8.41	856	646	822	3	31	18	86	20	0.2
8033	30 7	2.459	3.655	9.61	789	557	1050	3	20	11	95	20	0.2
8034	10 7	2.547	3.536	5.03	468	475	498	5	27	28	75	20	0.2
8035	10 7	2.413	3.335	5.99	876	553	779	3	28	17	85	20	0.2
8036	0 2	2.422	3.037	8.25	468	372	549	2	123	11	77	20	0.2
8037	30 2	2.136	2.850	7.97	1077	289	577	1	104	10	88	20	0.2
8038	30 2	2.220	2.575	6.58	1000	313	422	2	76	10	89	20	0.2
8039	10 2	2.424	2.484	5.96	877	254	401	2	44	10	81	20	0.2
8040	10 7	2.653	2.755	5.21	672	385	425	2	57	11	79	20	0.2
8041	11 7	2.279	4.126	5.86	891	757	719	2	20	13	78	20	0.2
8042	30 7	1.139	4.378	3.85	716	553	417	3	23	10	54	20	0.2
8043	30 2	1.150	4.208	8.79	458	482	248	4	42	31	69	20	0.2
8044	30 2	1.573	3.923	4.08	317	345	503	2	24	10	48	20	0.2
8045	10 2	1.251	3.959	4.39	205	328	535	2	15	10	47	20	0.2
8046	30 2	1.021	4.020	3.07	704	308	942	1	16	10	61	20	0.2
8047	10 7	0.763	4.019	5.56	1031	443	175	2	18	15	49	20	0.2
8048	10 7	0.762	4.302	6.65	841	837	703	3	13	15	105	20	0.2
8049	30 7	0.856	3.749	4.22	334	311	454	1	13	10	47	20	0.2
8050	30 2	1.101	3.834	4.83	478	356	446	2	20	10	44	20	0.2

* IND. CJO.	X	Y	FE2X	MN	BA	P	BE	CJ	PB	ZV	AS	IS
8051 10 2	1.280	3.739	6.82	832	350	377	2	73	13	85	20	0.2
8052 10 2	1.567	3.717	5.69	399	363	316	2	33	10	64	20	0.2
8053 10 4	1.768	3.815	9.87	510	360	221	2	54	10	74	20	0.2
8054 10 4	1.842	3.742	5.42	1364	534	428	2	21	10	72	20	0.2
8055 30 4	1.407	3.371	5.23	983	376	437	2	23	20	85	20	0.2
8056 10 2	1.084	3.379	10.12	628	306	429	2	65	10	92	20	0.2
8057 3012	0.901	3.520	5.05	166	324	373	2	23	10	51	20	0.2
8058 10 2	0.731	3.359	3.37	224	692	343	3	10	19	53	20	0.2
8059 30 2	0.689	3.088	3.15	234	528	457	3	10	10	47	20	0.2
8060 10 2	0.647	2.537	3.92	1597	494	222	3	20	10	61	20	0.2
8061 30 2	0.796	2.750	4.25	641	374	533	3	14	10	50	20	0.2
8062 10 2	0.997	2.565	5.53	983	400	492	2	19	10	72	20	0.2
8063 10 2	1.020	2.716	5.48	945	355	427	2	16	10	66	20	0.2
8064 10 3	1.006	2.946	7.52	919	312	358	2	104	11	76	20	0.2
8065 30 3	1.316	3.084	6.11	960	360	525	2	60	22	85	20	0.2
8066 3014	1.489	2.908	10.93	1060	219	581	1	190	10	98	20	0.2
8067 10 4	1.555	2.757	4.98	535	399	393	2	32	10	66	20	0.2
8068 10 4	1.349	2.717	4.25	673	417	355	2	32	10	76	20	0.2
8069 10 4	1.667	2.530	5.46	565	344	302	2	67	10	65	20	0.2
8070 10 4	1.766	2.887	9.42	368	278	197	2	42	10	67	20	0.2
8071 30 4	1.857	3.040	5.58	608	425	424	2	29	10	70	20	0.2
8072 1044	2.162	3.065	8.28	1189	354	575	2	107	16	88	20	0.2
8073 10 4	1.973	3.206	7.22	620	419	490	2	94	20	80	20	0.2
8074 30 4	1.824	3.153	5.56	547	194	527	1	71	14	82	20	0.2
8075 10 4	1.744	3.345	3.65	600	517	239	2	25	10	89	20	0.2
8076 10 2	3.387	0.496	5.28	865	439	287	3	23	13	71	20	0.2
8077 10 2	3.247	0.459	4.92	1219	555	251	2	25	18	61	20	0.2
8078 30 2	2.123	0.881	4.59	454	439	339	2	19	10	55	20	0.2
8079 10 4	1.898	0.897	4.73	494	380	352	2	21	17	65	20	0.2
8080 30 2	2.042	0.662	4.89	553	404	372	2	33	15	66	20	0.2
8081 10 4	1.573	0.539	6.62	14040	939	377	2	15	56	79	20	0.2
8082 10 2	2.170	1.243	5.03	979	415	785	2	24	14	84	20	0.2
8083 30 3	2.421	0.446	4.43	947	475	485	2	29	21	68	20	0.3
8084 10 7	2.757	0.475	4.33	331	658	379	3	29	10	53	20	0.2
8085 10 7	2.924	0.484	6.59	331	456	318	6	23	36	56	20	0.2
8086 10 3	1.979	1.220	5.29	797	365	416	2	21	10	80	20	0.2
8087 30 4	1.997	1.462	4.08	854	213	495	2	16	22	63	20	0.2
8088 10 3	1.812	0.538	5.52	714	327	388	2	21	10	71	20	0.2
8089 30 7	2.582	1.123	4.29	740	393	704	4	47	19	74	20	0.2
8090 31 7	2.500	0.852	5.76	735	922	539	3	31	13	58	20	0.2
8091 11 7	2.627	0.857	3.69	255	664	259	3	29	13	41	20	0.2
8092 20 7	2.760	0.811	4.73	473	545	440	3	29	21	67	20	0.2
8093 2027	3.020	0.811	4.73	491	495	395	3	25	21	61	20	0.2
8094 30	3.274	0.804	3.85	870	458	309	2	22	10	72	20	0.2
8095 20 2	3.506	1.080	5.12	1339	307	788	3	32	24	91	20	0.2
8096 30 2	3.372	1.118	9.64	1524	580	483	3	32	16	72	53	0.2
8097 11 7	2.934	1.128	3.33	478	672	453	3	37	25	53	20	0.2
8098 11 7	2.724	1.210	3.66	642	519	410	3	52	21	68	20	0.2
8099 30 7	3.002	1.956	2.35	441	688	380	3	31	10	40	20	0.2
8100 20	3.085	2.085	5.99	974	613	205	4	82	15	68	20	0.2

* IND.	COO.	X	Y	FE2X	MN	BA	P	BE	CJ	PB	ZV	AS	AG *
8101	30 7	0.587	0.577	4.10	568	721	420	5	15	12	56	20	0.2
8102	10 2	1.105	0.509	6.55	654	466	433	2	19	11	84	20	0.2
8103	30 2	1.002	0.985	4.33	740	428	451	1	16	10	57	20	0.2
8104	20 2	1.423	0.800	5.46	699	354	495	3	22	10	102	20	0.2
8105	20 4	1.495	0.952	5.85	910	412	419	2	25	11	79	20	0.2
8106	10 4	1.294	1.046	6.22	533	474	330	2	24	10	79	20	0.2
8107	20 1	1.486	1.233	4.30	1438	387	572	1	20	20	74	20	0.2
8108	30 2	1.628	1.423	3.70	711	678	496	2	26	10	51	20	0.2
8109	30 1	1.256	1.468	3.55	785	314	373	1	20	10	50	20	0.2
8110	20 3	1.157	1.297	6.85	682	423	485	2	16	10	67	20	0.2
8111	30 2	0.932	1.241	3.36	762	395	373	1	17	11	46	20	0.2
8112	20 2	0.765	1.056	4.33	122	915	294	2	14	26	39	20	0.2
8113	10 2	0.709	0.893	4.69	127	738	289	3	10	17	40	20	0.2
8114	30 7	0.538	0.794	5.88	446	717	300	4	21	21	55	20	0.2
8115	30 7	0.583	1.246	2.99	266	452	345	4	10	11	44	20	0.2
8116	20 2	0.706	1.495	5.88	672	485	237	2	19	14	51	20	0.2
8117	30 2	0.625	1.941	3.55	408	361	259	2	14	10	41	20	0.2
8118	30 2	0.782	2.198	4.40	996	438	427	3	22	10	51	20	0.2
8119	20 2	0.975	1.926	5.31	1301	551	555	2	28	10	61	20	0.2
8120	20 2	1.282	1.698	4.18	1048	441	420	2	23	10	62	21	0.2
8121	20 2	1.279	1.939	4.16	1004	348	459	1	21	10	58	20	0.2
8122	20 3	1.283	2.102	5.36	964	401	768	2	14	10	88	20	0.2
8123	20 3	1.255	2.213	5.62	848	363	532	2	33	10	81	20	0.2
8124	10 3	0.966	2.360	9.18	1749	454	335	2	49	10	96	20	0.2
8125	30 3	1.643	2.021	5.21	922	451	454	2	43	10	78	20	0.2
8126	10 3	1.335	2.438	6.11	872	323	372	2	27	11	76	20	0.2
8127	30 2	2.001	1.864	3.93	586	417	473	2	16	10	77	20	0.2
8128	10 2	2.182	1.983	7.35	2008	400	331	2	32	10	91	20	0.2
8129	30 4	2.207	1.754	4.10	985	298	472	1	19	10	62	20	0.2
8130	30 1	2.170	1.559	2.87	765	196	759	1	12	10	56	20	0.2
8131	30 1	1.910	1.684	4.13	1042	314	510	1	20	15	50	20	0.2
8132	10 4	1.556	1.747	5.00	243	374	239	2	21	10	77	20	0.2
8133	20 3	1.688	2.177	4.63	167	333	415	2	10	10	49	20	0.2
8134	20 3	1.906	2.336	7.02	297	314	330	2	59	10	72	20	0.2
8135	20 3	2.239	2.322	7.18	986	395	359	2	76	10	90	20	0.2
8136	30 3	3.445	1.493	3.59	816	412	457	1	23	10	65	20	0.2
8137	30 1	3.332	1.782	9.35	759	250	485	1	129	10	81	20	0.2
8138	30 3	3.590	2.050	4.86	628	385	659	2	14	10	71	20	0.2
8139	10 3	3.418	2.062	12.34	1669	262	423	2	131	10	94	20	0.2
8140	10 4	3.400	2.246	10.07	1490	385	369	2	79	16	85	20	0.2
8141	30	3.094	2.340	3.36	818	752	436	2	20	18	54	20	0.2
8142	30 1	2.825	2.376	5.89	1889	350	522	2	34	12	68	20	0.2
8143		2.557	2.357	5.26	1652	364	468	1	24	18	77	20	0.2
8144	20 3	2.448	2.067	4.85	1508	329	574	2	33	14	81	20	0.2
8145	20 2	2.756	2.081	4.82	1750	389	320	2	23	10	76	20	0.2
8146	20 2	2.692	1.892	5.46	1541	524	454	2	23	10	72	20	0.2
8147	30 2	3.333	1.347	6.28	1043	427	533	2	37	10	72	20	0.2
8148	20 2	3.055	1.425	6.43	1623	574	293	2	33	11	70	23	0.2
8149	10 3	3.089	1.622	4.58	1723	724	256	4	34	25	55	20	0.2
8150	10 3	2.453	1.730	5.13	475	477	183	2	29	32	90	20	0.2

* IND.	COD.	X	Y	FE2X	MN	BA	P	BE	CJ	PB	ZV	AS	AG
8151	30 1	2.372	1.450	4.19	945	271	477	2	19	17	61	20	0.2
8152	30 1	2.624	1.518	3.78	1107	371	426	2	26	15	62	20	0.2
8153	30 1	0.823	1.754	3.63	566	384	718	1	13	14	57	20	0.2
8154	20 7	5.146	4.184	2.76	772	439	447	6	13	29	75	20	0.2
8155	3 7	4.920	4.213	2.52	183	448	219	4	13	21	36	20	0.2
8156	3 7	4.577	4.069	2.53	424	486	331	5	12	23	53	20	0.2
8157	3 7	4.531	4.262	2.66	125	333	288	7	13	26	39	20	0.2
8158	1 6	4.244	4.240	6.85	4920	489	1032	2	33	15	104	20	0.2
8159	1 7	4.313	3.943	3.90	1380	543	222	5	18	19	48	20	0.2
8160	2 7	4.667	3.875	3.43	193	361	361	7	13	25	53	20	0.2
8161	2 7	4.552	3.703	3.56	248	362	359	7	13	22	53	20	0.2
8162	1 7	5.182	2.886	3.12	442	453	233	4	12	24	41	20	0.2
8163	2 7	5.022	2.938	3.72	229	422	383	7	13	25	61	20	0.2
8164	2 7	5.234	3.240	3.57	267	452	425	6	13	24	60	20	0.2
8165	1 7	5.041	3.246	3.37	349	471	418	7	13	25	55	20	0.2
8166	2 7	4.950	3.486	1.54	124	403	371	7	13	24	36	20	0.2
8167	2 7	5.210	3.502	2.76	269	433	355	5	13	18	41	20	0.2
8168	3 7	5.239	3.753	3.33	307	383	349	4	13	22	49	20	0.2
8169	3 7	5.078	3.577	2.59	405	449	413	4	13	28	56	20	0.2
8170	1 7	4.662	3.431	3.29	405	389	299	6	13	21	55	20	0.2
8171	2 7	4.499	3.178	3.30	299	359	568	5	13	12	47	20	0.2
8172	3 7	4.328	3.391	3.19	342	311	436	6	13	17	56	20	0.2
8173	1 7	4.333	3.575	2.55	325	335	283	5	13	21	47	20	0.2
8174	1 6	3.990	3.881	6.85	3869	371	475	2	35	15	79	20	0.2
8175	1 4	3.954	3.679	3.79	1230	482	333	4	17	14	71	20	0.2
8176	1 4	4.011	4.151	6.32	3021	401	479	2	23	10	74	20	0.2
8177	3 4	3.767	3.609	4.53	1493	537	374	2	26	13	71	20	0.2
8178	3 4	3.748	3.428	4.39	1408	771	357	2	25	13	67	20	0.2
8179	1 4	3.690	3.257	4.20	1092	483	338	3	26	15	72	20	0.2
8180	1 3	3.747	2.937	3.50	585	455	354	4	17	11	67	20	0.2
8181	2 7	3.970	2.942	3.55	211	443	458	6	13	19	61	20	0.2
8182	2 3	4.015	3.100	3.09	831	453	484	4	13	16	64	20	0.2
8183	1 7	4.129	3.167	3.88	1019	439	503	7	13	16	78	20	0.2
8184	3 7	4.482	2.949	3.10	206	351	379	3	11	10	45	20	0.2
8185	1 7	4.277	2.793	5.39	674	372	278	8	15	20	65	20	0.2
8186	1 7	4.197	2.702	4.65	429	403	231	5	15	14	60	20	0.2
8187	2 7	4.090	2.711	3.90	139	374	223	5	13	13	40	20	0.2
8188	2 7	3.927	2.466	3.98	258	357	333	5	12	16	48	20	0.2
8189	1 7	5.062	2.595	3.76	894	472	383	5	12	22	64	20	0.2
8190	2 7	4.779	2.859	3.45	368	408	292	7	13	18	59	20	0.2
8191	1 7	4.742	2.638	3.72	362	384	299	5	13	18	68	20	0.2
8192	1 7	4.479	2.506	3.62	316	305	371	7	16	11	51	20	0.2
8193	2 7	4.626	2.339	3.39	302	393	295	4	13	18	48	20	0.2
8194	3 7	3.762	4.279	7.24	515	456	830	1	13	10	84	20	0.2
8195	2 3	5.662	2.328	7.72	2257	531	897	2	25	10	118	20	0.2
8196	1 4	5.760	2.620	9.74	3275	525	875	2	43	20	142	20	0.2
8197	3 3	5.648	2.799	12.26	10240	922	1274	2	33	24	135	20	0.3
8198	2 7	4.911	3.412	3.43	237	412	357	7	11	22	56	20	0.2
8199	1 7	5.475	3.180	4.38	901	473	394	3	17	10	75	20	0.2
8200	2 4	5.634	2.974	8.67	5160	630	762	2	28	13	119	20	0.2

IND.	COO.	X	Y	FE2X	MN	BA	P	BE	CJ	PB	ZV	AS	AS P
8201	1 4	5.734	3.082	13.41	7140	304	800	2	23	10	96	20	0.2
8202	3 4	5.736	3.306	10.07	3210	397	520	1	22	10	90	20	0.2
8203	2 4	5.981	3.248	7.04	1054	418	532	2	26	10	96	20	0.2
8204	2 3	5.961	2.964	6.71	1471	398	723	2	23	10	67	20	0.2
8205	1 3	6.091	2.816	9.82	3535	320	371	1	24	10	89	20	0.2
8206	1 3	6.205	2.690	9.17	2964	287	546	2	28	10	105	20	0.2
8207	2 3	6.198	2.505	7.99	2484	307	382	2	26	18	100	20	0.2
8208	1 4	6.529	2.454	5.83	920	279	249	2	18	10	62	20	0.2
8209	2 4	6.644	2.628	5.09	1208	297	288	2	20	10	63	20	0.2
8210	1 3	6.410	2.786	6.92	2167	360	355	2	24	10	75	20	0.2
8211	1 3	6.451	2.893	6.81	1908	377	230	2	27	10	68	20	0.2
8212	2 3	6.586	3.125	8.34	2542	326	586	2	25	10	97	20	0.2
8213	1 3	6.220	3.224	8.59	1914	302	533	2	29	10	84	20	0.2
8214	1 3	6.539	3.360	10.05	1748	315	244	1	24	10	93	20	0.2
8215	3 3	6.272	3.531	9.90	2194	244	673	1	29	10	87	20	0.2
8216	1 3	6.215	3.752	8.28	1949	351	539	1	27	10	102	20	0.2
8217	2 3	6.437	3.633	9.31	1849	334	650	1	31	10	108	20	0.2
8218	1 3	6.676	3.643	6.62	2305	310	312	2	13	10	73	20	0.2
8219	1 3	6.667	3.834	8.01	2384	295	551	1	23	10	120	20	0.2
8220	2 4	6.524	3.957	9.78	1278	249	579	1	25	10	102	20	0.2
8221	1 3	6.601	4.099	8.82	1597	285	395	1	24	10	94	20	0.2
8222	11 3	6.248	4.182	8.62	1813	327	507	2	24	10	107	20	0.2
8223	1 7	5.462	4.248	5.26	1863	396	380	2	12	10	76	20	0.2
8224	3 7	5.272	4.075	2.23	430	420	253	4	11	13	38	20	0.2
8225	3 7	5.487	4.017	3.20	298	450	293	4	11	23	43	20	0.2
8226	2 7	5.497	3.760	3.40	1023	427	369	5	12	18	48	20	0.2
8227	1 7	5.676	3.621	7.65	1199	398	250	2	20	10	74	20	0.2
8228	1 7	5.911	3.756	7.82	2810	455	579	1	27	14	107	20	0.2
8229	2 7	5.976	3.939	10.55	2686	499	694	2	25	10	110	20	0.2
8230	30 3	6.505	0.490	6.16	931	357	608	1	22	10	69	20	0.2
8231	10 4	6.595	0.891	7.66	1927	259	485	1	14	10	78	20	0.2
8232	20 4	6.563	1.123	5.15	982	247	395	1	22	10	78	20	0.2
8233	20 3	6.531	1.334	9.91	4640	355	555	1	24	10	93	20	0.2
8234	20 3	6.484	1.538	9.80	3120	422	433	1	24	10	135	20	0.2
8235	30 3	6.634	1.651	6.88	3193	344	447	1	23	12	105	20	0.2
8236	10 4	6.556	1.944	5.26	2052	258	290	1	16	10	69	20	0.2
8237	30 4	6.534	2.215	4.60	1717	201	435	1	22	10	72	20	0.2
8238	10 4	6.294	2.026	6.79	1867	383	438	1	21	10	107	20	0.2
8239	20 4	6.025	2.203	6.46	2722	414	472	2	27	10	71	20	0.2
8240	10 3	5.605	1.981	9.21	1110	301	283	1	27	10	93	20	0.2
8241	00 1	5.607	1.766	9.81	1441	369	565	1	23	10	95	20	0.2
8242	30 3	6.061	1.682	6.85	1561	627	555	2	19	11	76	20	0.2
8243	00 3	6.199	1.427	9.09	1559	360	541	1	24	10	103	20	0.2
8244	30 1	6.066	1.415	11.13	3117	429	595	1	21	10	94	20	0.2
8245	00 1	5.892	1.328	9.40	1134	485	578	1	23	10	105	20	0.2
8246	20 3	5.667	1.075	8.75	1694	467	576	1	24	10	93	20	0.2
8247	20 3	6.133	1.086	9.44	3749	324	558	1	26	10	81	20	0.2
8248	20 3	6.130	1.001	8.15	1802	275	729	1	24	10	90	20	0.2
8249	20 3	6.149	0.841	7.21	818	321	505	1	29	10	87	20	0.2
8250	30	6.085	0.650	7.61	2531	411	1039	2	24	16	100	20	0.2

* IND.	COD.	X	Y	FE2X	MN	BA	P	BE	CJ	PB	ZY	AS	AS
8251	20	6.242	0.520	9.57	4086	395	902	2	33	14	113	20	0.2
8252	10	5.910	0.387	4.70	560	321	158	2	24	10	46	20	0.2
8253	00 5	5.543	0.382	4.29	150	522	455	4	11	29	54	20	0.2
8254	20 3	5.320	0.423	3.15	591	388	545	2	26	133	74	20	0.2
8255	10 4	5.111	0.405	3.79	770	361	405	2	30	15	84	20	0.2
8256	20 5	5.283	0.599	4.99	507	310	437	3	34	34	123	20	0.2
8257	20 1	5.048	0.918	4.82	1043	502	509	2	24	41	69	20	0.2
8258	30 1	5.224	1.053	4.83	901	294	510	2	18	20	65	20	0.2
8259	30 2	5.408	1.267	5.41	2233	355	340	2	19	26	94	20	0.2
8260	20 3	6.371	0.699	9.01	3293	321	517	2	25	10	99	20	0.2
8261	20 5	5.621	0.730	6.33	1470	557	722	3	15	18	130	20	0.2
8262	00 3	5.565	0.829	6.23	1309	473	274	3	26	13	109	20	0.2
8263	20 5	5.575	0.621	3.99	625	530	669	4	14	31	73	20	0.2
8264	20 3	5.364	0.761	4.98	718	435	535	2	20	16	93	20	0.2
8265	00 3	5.575	1.477	7.48	1264	445	531	1	32	10	91	20	0.2
8266	10 3	5.898	1.972	6.64	1154	337	511	1	30	10	114	20	0.2
8267	20 7	5.215	1.873	11.75	2019	444	979	2	23	10	110	20	0.2
8268	31 1	5.244	2.265	7.09	2324	415	503	2	27	11	87	20	0.2
8269	00 1	5.496	2.248	9.70	1811	480	453	2	21	10	111	20	0.2
8270	10 4	5.075	2.308	11.07	4780	444	305	3	23	15	156	20	0.2
8271	00 1	5.048	2.013	11.01	1706	352	373	2	24	10	274	20	0.2
8272	10 3	5.073	1.681	9.41	1337	410	444	2	18	10	153	20	0.2
8273	10 3	5.023	1.487	7.38	1491	418	320	2	21	11	72	20	0.2
8274	10 3	4.750	1.695	11.54	1864	413	525	2	26	10	177	20	0.2
8275	00 3	4.480	1.856	6.12	1986	444	242	2	25	10	73	20	0.2
8276	30 3	4.371	2.005	6.56	964	531	552	4	39	10	94	20	0.2
8277	10 4	4.046	2.173	3.65	352	427	302	2	21	10	67	20	0.2
8278	00 4	4.093	2.331	4.98	423	286	370	7	27	10	76	20	0.2
8279	10 4	3.961	2.022	6.05	808	393	382	2	25	10	84	20	0.2
8280	10 17	4.227	1.878	6.23	1321	419	360	4	30	10	95	20	0.2
8281	20 7	4.798	2.259	2.76	722	410	184	5	11	16	50	20	0.2
8282	30 3	4.372	1.614	4.43	651	295	390	2	17	10	63	20	0.2
8283	00 2	4.678	1.422	3.68	874	292	554	1	15	12	63	20	0.2
8284	20 3	5.397	1.704	6.78	756	508	733	3	20	16	101	20	0.2
8285	10 1	4.795	0.758	5.46	1243	506	222	2	20	13	64	20	0.2
8286	30 4	4.795	0.428	4.73	1061	418	495	2	28	22	93	20	0.2
8287	20 4	4.612	0.363	3.78	359	350	298	2	17	10	57	20	0.2
8288	30 2	4.361	0.493	5.22	843	259	393	2	16	12	64	20	0.2
8289	20 2	4.195	0.579	4.46	869	331	411	2	18	13	61	20	0.2
8290	00 2	4.546	0.696	4.96	885	407	348	2	20	10	65	25	0.2
8291	10 3	4.711	0.942	5.18	1206	425	218	2	27	14	57	20	0.2
8292	00 2	4.850	1.317	5.12	1198	236	524	2	17	10	85	20	0.2
8293	10 7	4.252	2.219	3.32	884	349	331	6	10	15	51	20	0.2
8294	20 7	4.556	2.033	3.55	1196	395	248	6	17	15	59	20	0.2
8295	30 4	4.183	1.453	5.05	1277	369	512	2	25	10	87	20	0.2
8296	30 4	3.908	0.472	3.40	569	221	740	1	10	10	61	20	0.2
8297	00 4	4.118	0.805	5.83	1515	361	571	2	27	14	70	154	0.2
8298	00 3	4.353	0.955	5.21	598	430	317	2	19	10	65	20	0.2
8299	00 3	4.470	0.954	4.75	1930	399	454	2	33	15	70	22	0.2
8300	00 7	5.125	1.332	3.98	192	338	353	2	21	28	75	20	0.2

* IND. COD.	X	Y	FE2X	NN	BA	P	BE	CJ	PB	ZV	AS	AS *
8331 30 14	3.773	2.326	4.93	627	304	323	3	26	19	57	20	0.2
8332 30 2	3.635	1.832	6.91	1114	227	564	2	63	19	73	20	0.2
8333 00 4	3.684	1.562	6.39	1324	347	703	2	45	14	112	20	0.2
8334 10 2	3.942	1.385	11.25	2985	245	754	2	132	27	121	95	0.2
8335 00 3	3.829	1.351	5.96	1987	543	525	3	37	17	121	20	0.2
8336 30 2	3.738	1.102	4.75	1098	660	393	2	24	15	65	20	0.2
8337 00 2	3.842	0.891	3.68	757	365	365	2	27	13	65	20	0.2
8338 10 2	3.766	0.721	4.26	551	427	161	2	19	12	49	20	0.2
8339 10 2	3.580	0.487	5.59	861	619	295	2	16	15	70	20	0.2

* SEGUNDA PARTE DE LA EDICION *

COMENTARIOS

IND.= NRO. DE MUESTRA

JN VALOR IGUAL AL LIMITE INFERIOR DE DOSIFICACION DEBE SER CONSIDERADO COMO IGUAL O INFERIOR A DICHO VALOR.

JY VALOR IGUAL A ***** DEBE SER CONSIDERADO COMO NO DETERMINADO.

SIABOLO DE LOS ELEMENTOS	LIMITE INFERIORES DE DOSIFICACION	METODO ANALITICO
NI	10. 3/T	ESPECTROMETRIA DE EMISION PLASMA
CR	10. 3/T	
V	10. 3/T	
SB	20. 3/T	
SN	20. 3/T	
H	10. 3/T	
4J	2. 3/T	
CJ	10. 3/T	
CD	1. 3/T	
Y	5. 3/T	
VB	10. 3/T	
B	10. 3/T	

J.S./05/1983

* IND.	CGD.	X	Y	VI	CR	V	SB	SN	W	MU	CO	CD	Y	V3	3 *
8001	10 5	3.404	4.269	24	49	75	20	20	10	2	16	1	6	10	23
8002	10 5	3.519	4.105	20	40	75	20	20	10	2	10	1	20	10	18
8003	10 6	3.333	3.882	23	47	92	20	20	10	2	10	1	25	10	16
8004	30 6	3.378	3.551	11	20	64	20	20	10	2	10	1	15	10	10
8005	30 6	3.173	3.686	26	46	126	20	20	10	2	15	1	17	10	15
8006	20 4	3.083	3.906	24	54	92	20	20	10	2	10	1	14	10	19
8007	30 4	2.970	3.667	19	66	102	20	20	10	2	12	1	17	10	13
8008	20 4	3.054	3.448	34	83	95	20	20	10	2	13	1	18	10	17
8009	10 4	3.396	3.191	17	32	72	20	20	10	2	10	1	18	10	17
8010	10 4	3.573	3.206	17	28	77	20	20	10	2	10	1	18	10	17
8011	10 4	3.442	2.952	17	30	73	20	20	10	2	11	1	29	10	12
8012	10 2	3.551	2.628	11	21	48	20	20	10	2	10	1	30	10	12
8013	10 2	3.554	2.502	11	24	66	20	20	10	2	10	1	44	10	10
8014	10 2	3.298	2.570	10	22	54	20	20	10	2	10	1	29	10	14
8015	30 7	3.090	2.557	32	53	298	20	20	11	2	25	1	15	10	12
8016	7	2.864	2.779	15	30	94	20	20	10	4	11	1	19	10	18
8017	30 7	3.033	2.993	41	59	313	20	20	10	2	27	1	22	10	10
8018	30 7	2.828	3.011	10	40	69	20	20	10	2	10	1	29	10	10
8019	10 7	2.989	3.127	12	29	62	20	20	10	2	10	1	14	10	10
8020	20 6	2.728	3.443	22	68	80	20	20	10	2	10	1	31	10	10
8021	11 6	2.889	3.887	15	46	76	20	20	10	2	10	1	16	10	10
8022	30 6	3.052	4.304	16	43	69	20	20	10	2	10	1	17	10	13
8023	10 6	2.885	4.391	35	118	137	20	20	10	2	10	1	14	10	10
8024	10 4	2.622	4.207	19	45	76	20	20	10	2	10	1	22	10	10
8025	10 4	2.418	4.325	16	51	92	20	20	10	2	10	1	20	10	10
8026	10 7	1.743	4.376	15	32	68	20	20	10	2	10	1	17	10	11
8027	10 7	1.420	4.255	17	48	95	20	20	10	2	10	1	16	10	15
8028	3 3	1.672	4.198	19	43	96	20	20	10	2	12	1	15	10	18
8029	10 3	1.960	4.201	13	32	98	20	20	10	2	10	1	25	10	11
8030	30 3	1.984	3.976	22	32	65	20	20	10	2	10	1	14	10	10
8031	10 3	2.148	3.854	13	44	66	20	20	10	2	10	1	22	10	10
8032	3 3	2.262	3.760	35	145	150	20	20	10	2	10	1	12	10	10
8033	30 7	2.459	3.655	19	101	133	20	20	10	2	13	1	15	10	14
8034	10 7	2.547	3.536	18	52	84	20	20	10	2	12	1	17	10	10
8035	10 7	2.413	3.335	21	72	94	20	20	10	2	10	1	53	10	10
8036	30 2	2.422	3.037	29	60	172	20	20	10	2	13	1	18	10	10
8037	30 2	2.136	2.850	23	38	152	20	20	10	2	10	1	34	10	10
8038	30 2	2.220	2.575	22	48	113	20	20	10	2	16	1	27	10	10
8039	10 2	2.424	2.484	18	44	95	20	20	10	2	14	1	33	10	10
8040	10 7	2.653	2.755	16	36	88	20	20	10	2	12	1	25	10	10
8041	11 7	2.279	4.126	20	61	98	20	20	10	2	10	1	25	10	10
8042	30 7	1.139	4.378	26	49	93	20	20	10	2	12	1	16	10	10
8043	30 2	1.150	4.208	28	51	137	20	20	10	2	10	1	18	10	20
8044	30 2	1.573	3.923	15	51	183	20	20	10	2	27	1	47	10	14
8045	10 2	1.251	3.959	18	60	123	20	20	10	2	10	1	9	10	18
8046	30 2	1.021	4.020	11	31	104	20	20	10	2	10	1	9	10	19
8047	10 7	0.763	4.019	14	27	85	20	20	10	2	10	1	7	10	15
8048	10 7	0.762	4.302	22	40	87	20	20	10	2	18	1	20	10	11
8049	30 7	0.856	3.749	12	32	91	20	20	10	2	10	1	33	16	10
8050	30 2	1.101	3.834	13	58	108	20	20	10	2	10	1	8	10	10
													8	10	19

IND.	COD.	X	Y	VI	CR	V	SB	SN	M	MO	CO	CD	Y	V3	3 *
8051	13 2	1.280	3.739	27	47	152	20	20	10	2	11	1	21	10	11
8052	13 2	1.567	3.717	21	48	97	20	20	10	2	10	1	11	10	17
8053	13 4	1.768	3.815	28	56	155	20	20	10	2	15	1	20	10	11
8054	13 4	1.842	3.742	19	36	72	20	20	10	2	10	1	15	10	10
8055	33 4	1.407	3.371	18	34	72	20	20	10	2	10	1	21	10	12
8056	13 2	1.084	3.379	34	55	159	20	20	10	2	16	1	28	10	10
8057	33 12	0.901	3.520	20	49	112	20	20	10	2	10	1	15	10	21
8058	17 2	0.731	3.359	10	21	52	20	20	10	2	10	1	12	10	10
8059	30 2	0.689	3.088	10	25	52	20	20	10	2	10	1	11	10	10
8060	13 2	0.647	2.537	13	27	62	20	20	10	2	10	1	22	10	11
8061	33 2	0.796	2.750	18	45	88	20	20	10	2	10	1	13	10	15
8062	13 2	0.997	2.565	19	37	75	20	20	10	2	10	1	9	10	10
8063	13 2	1.020	2.716	17	39	80	20	20	10	2	10	1	10	10	10
8064	13 3	1.036	2.946	24	47	115	20	20	10	2	10	1	21	10	10
8065	33 3	1.316	3.084	25	52	128	20	20	10	2	10	1	13	10	11
8066	33 16	1.489	2.908	37	69	267	20	20	10	2	19	1	38	10	10
8067	13 4	1.555	2.757	19	43	82	20	20	10	2	10	1	20	10	19
8068	13 4	1.349	2.717	19	41	83	20	20	10	2	10	1	15	10	16
8069	13 4	1.687	2.530	19	37	109	20	20	10	2	10	1	21	10	10
8070	13 4	1.766	2.887	31	59	138	20	20	10	2	11	1	31	10	10
8071	33 4	1.857	3.040	24	45	78	20	20	10	2	10	1	16	10	11
8072	13 44	2.162	3.065	35	62	180	20	20	10	2	18	1	22	10	10
8073	10 4	1.973	3.206	23	48	153	20	20	10	2	10	1	28	10	10
8074	33 4	1.824	3.153	21	48	107	20	20	10	2	10	1	18	10	10
8075	13 4	1.744	3.345	16	28	89	20	20	10	2	10	1	18	10	10
8076	13 2	3.387	0.496	19	43	73	20	20	10	2	13	1	32	13	10
8077	10 2	3.247	0.459	16	41	72	20	20	10	2	11	1	20	10	10
8078	33 2	2.123	0.881	20	58	63	20	20	10	2	10	1	19	10	10
8079	13 4	1.898	0.897	21	57	75	20	20	10	2	10	1	14	10	22
8080	33 2	2.042	0.662	21	49	81	20	20	10	2	10	1	18	10	14
8081	13 4	1.573	0.539	27	48	70	20	20	10	2	18	1	17	10	28
8082	13 2	2.170	1.243	22	41	76	20	20	10	2	10	1	18	10	22
8083	33 3	2.421	0.446	12	34	78	20	20	10	2	10	1	16	10	14
8084	13 7	2.757	0.475	14	47	94	20	20	10	3	10	1	24	10	10
8085	13 7	2.924	0.484	12	58	110	20	20	10	2	10	1	69	10	10
8086	13 3	1.979	1.220	20	45	62	20	20	10	2	10	1	19	10	24
8087	33 4	1.997	1.462	13	25	68	20	20	10	2	10	1	14	10	10
8088	13 3	1.812	0.538	19	48	66	20	20	10	2	11	1	20	10	13
8089	33 7	2.582	1.123	10	29	66	20	20	10	3	10	1	8	10	10
8090	31 7	2.500	0.852	14	54	102	20	20	10	4	10	1	14	10	10
8091	11 7	2.627	0.857	11	45	80	20	20	10	5	10	1	18	10	10
8092	23 7	2.760	0.811	13	43	84	20	20	10	2	10	1	14	10	10
8093	23 27	3.320	0.811	12	32	72	20	20	10	2	10	1	18	10	10
8094	33	3.274	0.804	12	29	62	20	20	10	2	10	1	14	10	16
8095	23 2	3.506	1.080	24	41	99	20	20	10	2	10	1	39	10	23
8096	33 2	3.372	1.118	19	41	73	20	20	10	4	10	1	20	10	12
8097	11 7	2.934	1.128	10	23	55	20	20	10	3	10	1	7	10	10
8098	11 7	2.724	1.210	13	33	71	20	20	10	4	10	1	16	10	10
8099	33 7	3.002	1.956	10	13	38	20	20	10	2	10	1	5	10	11
8100	23	3.085	2.085	15	31	84	20	20	10	5	10	1	35	10	16

* INO.	COD.	X	Y	NI	CR	V	SB	SN	W	MO	CO	CD	Y	V3	B *	
8101	30	7	0.587	0.577	12	35	65	20	20	18	2	10	1	8	10	14
8102	10	2	1.105	0.509	18	35	77	20	20	10	2	10	1	17	10	19
8103	30	2	1.002	0.985	12	27	74	20	20	10	2	10	1	12	10	10
8104	20	2	1.423	0.800	26	61	78	20	20	10	2	10	1	16	10	22
8105	20	4	1.495	0.952	22	42	75	20	20	10	2	14	1	21	10	26
8106	10	4	1.294	1.046	18	39	76	20	20	10	2	10	1	18	10	25
8107	20	1	1.486	1.233	13	26	82	20	20	10	2	11	1	9	10	16
8108	30	2	1.628	1.423	18	34	70	20	20	10	2	10	1	22	10	18
8109	30	1	1.256	1.468	12	30	66	20	20	10	2	10	1	14	10	14
8110	20	3	1.157	1.297	18	30	78	20	20	10	2	14	1	16	10	11
8111	30	2	0.932	1.241	10	24	75	20	20	10	2	10	1	11	10	10
8112	20	2	0.765	1.056	19	45	84	20	20	10	2	10	1	16	10	10
8113	10	2	0.799	0.893	11	24	59	20	20	10	2	10	1	15	10	10
8114	30	7	0.538	0.794	17	36	87	20	20	10	2	10	1	36	10	10
8115	30	7	0.583	1.246	10	18	51	20	20	10	2	10	1	22	10	10
8116	20	2	0.706	1.495	13	30	94	20	20	10	2	13	1	17	10	11
8117	30	2	0.625	1.941	10	22	65	20	20	10	2	10	1	12	10	12
8118	30	2	0.782	2.198	15	29	80	20	20	10	2	10	1	17	10	12
8119	20	2	0.975	1.926	18	38	84	20	20	10	2	10	1	18	10	17
8120	20	2	1.282	1.698	12	27	69	20	20	10	2	10	1	20	10	10
8121	20	2	1.279	1.939	11	27	67	20	20	10	2	10	1	10	10	10
8122	20	3	1.283	2.102	21	42	70	20	20	10	2	10	1	7	10	13
8123	20	3	1.255	2.213	21	43	100	20	20	10	2	10	1	16	10	10
8124	10	3	0.966	2.360	37	63	160	20	20	10	2	18	1	21	10	10
8125	30	3	1.643	2.021	19	38	81	20	20	10	2	10	1	25	10	10
8126	10	3	1.335	2.438	16	30	75	20	20	10	2	12	1	18	10	10
8127	30	2	2.001	1.864	13	26	81	20	20	10	2	10	1	12	10	13
8128	10	2	2.182	1.983	18	30	77	20	20	10	2	13	1	23	10	11
8129	30	4	2.207	1.754	13	27	61	20	20	10	2	10	1	13	10	10
8130	30	1	2.170	1.559	10	18	52	20	20	10	2	10	1	6	10	10
8131	30	1	1.910	1.684	14	34	78	20	20	10	2	10	1	8	10	14
8132	10	4	1.556	1.747	13	26	76	20	20	10	2	10	1	18	10	10
8133	20	3	1.688	2.177	31	44	62	20	20	10	2	11	1	7	10	13
8134	20	1	1.906	2.336	24	49	137	20	20	10	2	10	1	27	10	10
8135	20	3	2.239	2.322	21	44	117	20	20	10	2	11	1	23	10	10
8136	30	3	3.445	1.493	14	30	64	20	20	10	2	10	1	13	10	10
8137	30	1	3.332	1.782	23	49	196	20	20	10	2	11	1	24	10	10
8138	30	3	3.590	2.050	13	45	82	20	20	10	2	10	1	6	10	14
8139	10	3	3.418	2.062	30	50	222	20	20	10	2	26	1	33	10	10
8140	10	4	3.400	2.246	21	45	133	20	20	10	2	17	1	32	10	10
8141	30	1	3.094	2.340	10	30	61	20	20	10	2	10	1	10	10	10
8142	30	1	2.825	2.376	17	39	68	20	20	10	2	10	1	23	10	10
8143	10	1	2.597	2.357	16	30	67	20	20	10	2	10	1	15	10	10
8144	20	3	2.448	2.067	19	34	72	20	20	10	2	10	1	30	10	10
8145	20	2	2.756	2.081	16	26	65	20	20	10	2	10	1	24	10	10
8146	20	2	2.692	1.892	20	35	64	20	20	10	2	10	1	21	10	10
8147	30	2	3.333	1.347	22	44	99	20	20	10	2	11	1	16	10	10
8148	20	2	3.055	1.425	21	40	86	20	20	10	2	15	1	25	10	10
8149	10	3	3.089	1.622	10	22	58	20	20	10	2	18	1	22	10	10
8150	10	3	2.453	1.730	22	45	76	20	20	10	2	10	1	24	10	10

* IND.	CGD.	X	Y	VI	CR	V	SB	SN	W	MO	CO	CD	Y	VB	3
8151	30 1	2.372	1.450	16	28	86	20	20	10	2	10	1	26	10	10
8152	30 1	2.634	1.518	14	32	92	20	20	10	2	10	1	20	10	10
8153	30 1	0.823	1.754	11	33	88	20	20	10	2	10	1	10	10	10
8154	20 7	5.146	4.184	10	13	37	20	20	10	2	10	1	16	10	10
8155	3 7	4.920	4.213	10	15	40	20	20	10	2	10	1	17	10	10
8156	3 7	4.577	4.069	10	10	30	20	20	10	3	10	1	14	10	10
8157	3 7	4.531	4.262	10	11	33	20	20	10	2	10	1	38	10	10
8158	1 6	4.244	4.240	25	42	74	20	20	10	2	17	1	17	10	10
8159	1 7	4.313	3.943	13	28	63	20	20	10	2	10	1	34	10	10
8160	2 7	4.667	3.875	10	14	40	20	20	10	2	10	1	31	10	10
8161	2 7	4.552	3.703	10	14	41	20	20	10	2	10	1	38	10	10
8162	1 7	5.182	2.886	10	18	50	20	20	10	2	10	1	30	10	10
8163	2 7	5.022	2.938	10	15	46	20	20	10	2	10	1	29	10	10
8164	2 7	5.234	3.240	10	11	38	20	20	10	2	10	1	21	10	10
8165	1 7	5.041	3.246	10	14	46	20	20	10	2	10	1	28	10	10
8166	2 7	4.950	3.486	10	10	30	20	20	10	2	10	1	27	10	10
8167	2 7	5.210	3.502	10	12	36	20	20	10	2	10	1	28	10	10
8168	3 7	5.239	3.753	10	12	35	20	20	10	2	10	1	13	10	10
8169	3 7	5.078	3.577	10	10	28	20	20	10	2	10	1	11	10	10
8170	1 7	4.662	3.431	10	16	48	20	20	10	2	10	1	40	10	10
8171	2 7	4.499	3.178	10	20	49	20	20	10	2	10	1	29	10	10
8172	3 7	4.328	3.391	10	12	36	20	20	10	2	10	1	25	10	10
8173	1 7	4.333	3.575	10	10	27	20	20	10	2	10	1	27	10	10
8174	1 6	3.990	3.881	21	38	62	20	20	10	2	15	1	20	10	10
8175	1 4	3.954	3.679	10	20	50	20	20	10	2	10	1	31	10	10
8176	1 4	4.011	4.151	19	38	64	20	20	10	2	12	1	20	10	10
8177	3 4	3.767	3.609	16	30	62	20	20	10	2	10	1	26	10	10
8178	3 4	3.748	3.428	16	33	66	20	20	10	2	10	1	28	10	10
8179	1 4	3.690	3.257	15	31	82	20	20	10	2	10	1	40	10	10
8180	1 3	3.747	2.937	10	23	70	20	20	10	2	10	1	30	10	10
8181	2 7	3.970	2.942	10	15	47	20	20	10	2	10	1	24	10	10
8182	2 3	4.015	3.100	10	13	48	20	20	10	2	10	1	14	10	10
8183	1 7	4.129	3.167	10	14	46	20	20	10	3	10	1	34	10	10
8184	3 7	4.482	2.949	10	17	53	20	20	10	2	10	1	19	10	10
8185	1 7	4.277	2.793	10	20	64	20	22	10	2	10	1	81	10	10
8186	1 7	4.197	2.702	10	20	66	20	20	10	2	10	1	43	10	11
8187	2 7	4.090	2.711	10	16	50	20	20	10	2	10	1	39	10	10
8188	2 7	3.927	2.466	10	20	60	20	20	10	2	10	1	25	10	10
8189	1 7	5.062	2.595	10	17	54	20	20	10	2	10	1	29	10	10
8190	2 7	4.779	2.859	10	15	45	20	20	10	2	10	1	46	10	10
8191	1 7	4.742	2.638	10	18	51	20	20	10	2	10	1	28	10	10
8192	1 7	4.479	2.506	10	16	43	20	20	10	2	10	1	27	10	10
8193	2 7	4.626	2.339	10	18	54	20	20	10	2	10	1	25	10	10
8194	3 7	3.762	4.279	17	49	85	20	20	10	2	10	1	5	10	13
8195	2 3	5.662	2.328	28	53	79	20	20	10	2	10	1	22	10	11
8196	1 4	5.760	2.620	31	36	111	20	20	10	2	18	1	28	10	15
8197	3 3	5.648	2.799	40	62	94	20	20	10	2	21	1	23	10	13
8198	2 7	4.911	3.412	10	16	50	20	20	10	3	10	1	47	10	10
8199	1 7	5.475	3.180	12	23	49	20	20	10	2	10	1	21	10	10
8200	2 4	5.634	2.974	24	42	68	20	20	10	2	11	1	23	10	10

* IND.	COD.	X	Y	VI	CR	V	SB	SN	W	MO	CO	CD	Y	NS	3 *
8201	1 4	5.734	3.082	21	46	55	20	20	10	2	11	1	18	10	10
8202	3 4	5.736	3.306	21	39	78	20	20	10	2	11	1	16	10	10
8203	2 4	5.981	3.248	26	42	88	20	20	10	2	10	1	25	10	10
8204	2 3	5.961	2.964	28	44	85	20	20	10	2	10	1	21	10	10
8205	1 3	6.091	2.816	53	98	102	20	20	10	2	23	1	18	10	10
8206	1 3	6.205	2.690	51	78	87	20	20	10	2	15	1	24	10	10
8207	2 3	6.198	2.505	27	47	69	20	20	10	2	15	1	20	10	10
8208	1 4	6.529	2.454	17	38	60	20	20	10	2	11	1	24	10	10
8209	2 4	6.644	2.628	15	34	63	20	20	10	2	10	1	20	10	15
8210	1 3	6.410	2.786	33	68	78	20	20	10	2	10	1	21	10	10
8211	1 3	6.451	2.893	31	74	87	20	20	10	2	15	1	34	10	13
8212	2 3	6.586	3.125	52	63	95	20	20	10	2	14	1	22	10	11
8213	1 3	6.220	3.224	48	97	99	20	20	10	2	13	1	24	10	11
8214	1 3	6.539	3.360	41	64	102	20	20	10	2	22	1	16	10	15
8215	3 3	6.272	3.531	55	138	115	20	20	10	2	19	1	15	10	10
8216	1 3	6.215	3.752	55	98	93	20	20	10	2	18	1	17	10	13
8217	2 3	6.437	3.633	72	104	98	20	20	10	2	27	1	20	10	10
8218	1 3	6.676	3.643	23	40	61	20	20	10	2	12	1	20	10	10
8219	1 3	6.667	3.834	35	60	79	20	20	10	2	18	1	15	10	10
8220	2 4	6.524	3.957	79	102	107	20	20	10	2	25	1	18	10	29
8221	1 3	6.601	4.099	50	88	98	20	20	10	2	24	1	13	10	11
8222	11 3	6.248	4.182	45	75	84	20	20	10	2	20	1	17	10	10
8223	1 7	5.462	4.248	19	37	52	20	20	10	2	12	1	20	10	10
8224	3 7	5.272	4.075	10	13	34	20	20	10	2	10	1	26	10	10
8225	3 7	5.487	4.017	10	14	40	20	20	10	2	10	1	23	10	10
8226	2 7	5.497	3.760	10	20	53	20	21	10	2	10	1	38	10	10
8227	1 7	5.676	3.621	30	65	89	20	20	10	2	13	1	16	10	10
8228	1 7	5.911	3.756	24	41	78	20	20	10	2	14	1	20	11	10
8229	2 7	5.976	3.939	30	44	114	20	20	10	2	17	1	23	10	10
8230	00 3	6.505	0.490	22	59	80	20	20	10	2	10	1	14	10	12
8231	10 4	6.595	0.891	27	50	64	20	20	10	2	13	1	14	10	10
8232	20 4	6.563	1.123	18	39	51	20	20	10	2	10	1	12	10	10
8233	20 3	6.531	1.334	47	60	106	20	20	10	2	21	1	16	10	10
8234	20 3	6.484	1.538	43	45	115	20	20	10	2	23	1	18	10	10
8235	00 3	6.634	1.651	31	52	72	20	20	10	2	15	1	17	10	10
8236	10 4	6.556	1.944	16	34	53	20	20	10	2	10	1	19	10	10
8237	00 4	6.534	2.215	15	29	45	20	20	10	2	10	1	19	10	10
8238	10 4	6.294	2.026	31	48	71	20	20	10	2	15	1	22	10	10
8239	20 4	6.025	2.203	21	41	61	20	20	10	2	12	1	19	10	10
8240	10 3	5.605	1.981	47	133	127	20	20	10	2	15	1	15	10	10
8241	00 1	5.607	1.766	41	56	101	20	20	10	2	15	1	19	10	10
8242	00 3	6.061	1.682	28	40	91	20	20	10	2	14	1	18	10	10
8243	00 3	6.199	1.427	44	56	128	20	20	10	2	15	1	18	10	10
8244	00 1	6.066	1.415	39	61	124	20	20	10	2	20	1	18	10	10
8245	00 1	5.892	1.328	39	49	107	20	20	10	2	11	1	23	10	10
8246	20 3	5.667	1.075	33	38	103	20	20	10	2	16	1	21	10	10
8247	20 3	6.133	1.086	34	73	96	20	20	10	2	20	1	16	10	10
8248	20 3	6.130	1.001	54	146	109	20	20	10	2	19	1	13	10	10
8249	20 3	6.149	0.841	34	90	100	20	20	10	2	11	1	17	10	10
8250	00	6.085	0.650	26	66	96	20	20	10	2	12	1	11	15	10

* IND.	COD.	X	Y	VI	CR	V	SB	SN	W	MO	CO	CD	Y	V3	3 *
8251	20	6.242	0.520	46	47	101	20	20	10	2	21	1	31	10	10
8252	10	5.910	0.387	17	50	57	20	20	10	2	11	1	10	10	10
8253	00 5	5.543	0.382	13	51	74	20	20	10	2	10	1	18	10	13
8254	20 3	5.320	0.423	15	50	57	20	20	10	2	10	1	11	10	27
8255	10 4	5.111	0.405	15	29	70	20	20	10	2	10	1	30	10	14
8256	20 5	5.283	0.599	20	31	81	20	20	10	2	10	1	36	10	15
8257	20 1	5.048	0.918	16	33	90	20	20	10	2	10	1	17	10	16
8258	00 1	5.224	1.053	11	31	86	20	20	10	2	10	1	15	10	12
8259	00 2	5.408	1.267	17	38	80	20	20	10	2	15	1	18	10	10
8260	20 3	6.371	0.699	30	42	83	20	20	10	2	16	1	20	10	12
8261	20 5	5.821	0.730	12	33	66	20	20	10	2	10	1	35	21	10
8262	00 3	5.565	0.829	16	42	71	20	20	10	2	13	1	41	14	11
8263	20 5	5.575	0.621	10	27	56	20	20	10	2	10	1	22	10	11
8264	20 3	5.364	0.761	15	38	62	20	20	10	2	10	1	17	10	16
8265	00 3	5.575	1.477	37	101	113	20	20	10	2	14	1	22	10	11
8266	10 3	5.898	1.972	33	62	79	20	20	10	2	11	1	21	10	11
8267	20 7	5.215	1.873	14	19	105	20	20	10	2	26	1	14	16	10
8268	01 1	5.244	2.265	27	47	78	20	20	10	2	11	1	19	10	10
8269	00 1	5.496	2.248	21	35	94	20	20	10	2	11	1	16	10	10
8270	10 4	5.075	2.308	45	54	103	20	20	10	2	26	1	25	10	10
8271	00 1	5.048	2.013	53	50	116	20	20	10	2	18	1	20	10	10
8272	10 3	5.073	1.681	46	57	102	20	20	10	2	18	1	22	10	10
8273	10 3	5.023	1.487	22	50	73	20	20	10	2	10	1	25	10	11
8274	10 3	4.750	1.695	50	67	114	20	20	10	2	21	1	22	10	10
8275	00 3	4.480	1.856	26	48	86	20	20	10	2	14	1	25	10	10
8276	00 3	4.371	2.005	43	71	73	20	20	10	2	14	1	12	10	10
8277	10 4	4.046	2.173	15	33	79	20	20	10	2	10	1	21	10	10
8278	00 4	4.093	2.331	17	32	80	20	20	10	2	10	1	62	10	10
8279	10 4	3.961	2.022	27	42	80	20	20	10	2	10	1	25	10	10
8280	10 17	4.227	1.878	27	44	95	20	20	10	2	11	1	33	10	10
8281	20 7	4.798	2.259	10	17	43	20	20	10	2	10	1	33	10	12
8282	00 3	4.372	1.614	11	28	51	20	20	10	2	10	1	16	10	14
8283	00 2	4.678	1.422	10	24	57	20	20	10	2	10	1	11	10	13
8284	20 3	5.397	1.704	16	31	66	20	20	10	2	10	1	19	10	17
8285	10 1	4.795	0.758	14	29	65	20	20	10	2	14	1	27	10	17
8286	00 4	4.795	0.428	19	35	75	20	20	10	2	10	1	28	10	14
8287	20 4	4.612	0.363	10	30	59	20	20	10	2	10	1	19	10	18
8288	00 2	4.361	0.493	11	26	77	20	20	10	2	10	1	19	10	14
8289	20 2	4.195	0.579	12	29	81	20	20	10	2	10	1	16	10	10
8290	00 2	4.546	0.696	14	30	73	20	20	10	2	10	1	17	10	15
8291	10 3	4.711	0.942	17	32	69	20	20	10	2	14	1	25	10	11
8292	00 2	4.850	1.317	17	25	64	20	20	10	2	11	1	20	10	10
8293	10 7	4.252	2.219	10	17	42	20	20	10	2	10	1	35	10	10
8294	20 7	4.556	2.033	10	20	49	20	20	10	2	10	1	49	10	10
8295	00 4	4.183	1.453	19	30	57	20	20	10	2	11	1	27	10	13
8296	00 4	3.908	0.472	10	20	55	20	20	10	2	10	1	5	10	10
8297	00 4	4.118	0.805	17	34	73	20	20	10	2	10	1	21	10	17
8298	00 3	4.353	0.955	18	33	70	20	20	10	2	10	1	25	10	15
8299	00 3	4.470	0.954	17	28	70	20	20	10	2	12	1	16	10	17
8300	00 7	5.125	1.332	21	42	70	20	20	10	2	10	1	29	10	12

* IND.	COD.	X	Y	VI	SR	V	SB	SN	W	MO	CO	CD	Y	V3	3 *
8301	33 14	3.773	2.326	13	33	63	20	20	10	2	10	1	39	10	10
8302	30 2	3.635	1.832	17	40	108	20	20	10	2	12	1	19	10	10
8303	00 4	3.684	1.562	22	44	93	20	20	10	2	14	1	24	10	12
8304	10 2	3.942	1.385	31	50	152	20	20	10	2	29	1	34	10	10
8305	00 3	3.829	1.351	32	43	86	20	20	10	2	15	1	25	10	15
8306	30 2	3.738	1.102	16	28	89	20	20	10	2	11	1	21	10	11
8307	00 2	3.842	0.891	12	23	69	20	20	10	2	10	1	14	10	12
8308	10 2	3.766	0.721	16	34	66	20	20	10	2	10	1	21	10	13
8309	10 2	3.580	0.487	14	37	77	20	20	10	2	12	1	22	10	11

BIBLIOGRAFIA

- AGTERBERG F.P. (1969) - "Interpolation of areally distributed data." *Quartely of the Colorado School of Mines* 64(3), 217-237.
- AGTERBERG F.P., CHUNG C.F. (1975) - "A computer program for polynomial trend-surface analysis." *Geol. Surv. Canada Paper* 75-21, 51pp.
- AHRENS L.H. (1954a) - "The lognormal distribution of the elements." *Geochim. et Cosmochim. Acta* 5, 49-73.
- AHRENS L.H. (1954b) - "The lognormal distribution of the elements. II." *Geochim. et Cosmochim. Acta* 6, 121-131.
- AHRENS L.H. (1957) - "The lognormal-type distribution. III." *Geochim. et Cosmochim. Acta* 11, 205-212.
- ARMOUR-BROWN A., NICHOL I. (1970) - "Regional geochemical reconnaissance and the location of metallogenic provinces." *Econ. Geol.* 65, 312-330.
- ATAMAN G. (1963) - "Utilisation du spectromètre a lecture directe pour le dosage des éléments majeurs des roches sédimentaires et des silicates dans une grande gamme de concentrations." *Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.* 16(4), 233-240.

- ATAMAN G., BESNUS Y. (1965) - "Une méthode de dosage des éléments traces dans les roches par spectrométrie à lecture directe." Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr. 18(4), 179-189.
- AUSTRIA V., CHORK C.Y. (1976) - "A study of the application of regression analysis for trace element data from stream sediment in New Brunswick." J. Geochem. Explor. 6, 211-232.
- BEGUINOT J., SAKOWITSCH W., BARBIER J., WILHELM E. (1979) - "Un quart de siècle de prospection géochimique au B.R.G.M.." Bull. B.R.G.M. II, 2-3, 53-64.
- BENZECRI J.P. (1973) - "Analyse des données. I. La taxinomie." Dunod Ed., Paris, 619pp; y "Analyse des données. II. Analyse des correspondances." Dunod Ed., Paris, 615pp.
- BERTIN J. (1967) - "Sémiologie graphique. Les diagrammes. Les réseaux. Les cartes." Mouton; La Haye et Gauthier-Villars, Paris, 431pp.
- BERTRANEAU J., GOŃI J., WILHELM E. (1979) - "The present state of the development of multielement geochemical prospecting." En: "Methods of Geochemical Prospecting." I.A.G.C., Geol. Surv. Prague, 27pp.
- BEUS A.A., GRIGORIAN S.V. (1977) - "Geochemical exploration methods for mineral deposits." Applied Publishing Ltd., Wilmette, 287pp.
- BLOT A., PION J.C., WACKERMANN (1973) - "Un exemple de corrélation de rang en géochimie: les altérations du socle birrimien en zone tropicale sèche (Sénégal Oriental et Haute Volta)." Cah. O.R.S.T.O.M., Serv. Géol. 5(1), 25-34.

- BOLVIKEN B. (1971) - "A statistical approach to the problem of interpretation in geochemical prospecting." En: Boyle R.W. Ed. "Geochemical exploration.", 1970, CIM Special Volume II, 564-567.
- BOLVIKEN B., SINDING-LARSEN R. (1973) - "Total error and other criteria in the interpretation of stream sediment data." En: Jones J.M. Ed. "Geochemical exploration.", 1972, I.M.M., London, 285-295.
- BOROVKO N.N. (1964) - "Generalized lognormal distribution of elements in rocks and ores." Geokhimiya 3, 282-288.
- BOTBOL J.M., SINDING-LARSEN R., McCAMMON R.B., GOTT G.B. (1977) - "Characteristic analysis of geochemical exploration data." U.S. Geol. Surv. Report 77-349, 1-55.
- BOTBOL J.M., SINDING-LARSEN R., McCAMMON R.B., GOTT G.B. (1978) - "A regionalized multivariate approach to target selection in geochemical exploration." Econ. Geol. 73, 534-546.
- BOUCETTA M., FRITSCHÉ J. (1979) - "Utilisation d'un plasma conducteur associé a un spectromètre a échelle pour l'analyse multi-élémentaire des échantillons géochimiques." Bull. B.R.G.M., Sect II, 2-3, 65-74.
- CAMERON E.M., HORTON R.E. (1967) - "Analysis of rocks using a multichannel emission spectrometer." Chem. Geol. 2, 135-145.
- CARTA DE RECONOCIMIENTO DE SUELOS DEL URUGUAY (1976) - Tomo I. Clasificación de suelos. Dirección de Suelos y Fertilizantes. M.A.P., 96pp.

- CATTELL R.B. (1965) - "Factor analysis: an introduction to essentials. I. The purpose and underlying models. II. The role of factor analysis in research." *Biometrics* 21, 190-215, 405-435.
- CAZES P., SOLETY P., VUILLAUME Y. (1970) - "Exemple de traitement statistique de données hydrochimiques." *Bull. B.R.G.M. III*, 4, 75-90.
- CHAMUSSY H., CHARRE J., DUMOLARD P., DURAND M.G. y LE BERRE M. (1974) - "Initiation aux méthodes statistiques en géographie." *Masson Ed.*, Paris, 191pp.
- CHAPMAN R.P. (1975) - "Data processing requirements and visual representation for stream sediment exploration geochemical surveys." *J. Geochem. Explor.* 4, 409-423.
- CHAPMAN R.P. (1976a) - "Some consequences of applying lognormal theory to pseudolognormal distributions. Discussion." *J. Math. Geol.* 8(2), 209-214.
- CHAPMAN R.P. (1976b) - "Limitations of correlation and regression analysis in geochemical exploration." *Trans. Inst. Min. Metall.* 85, B279-B283.
- CHAPMAN R.P. (1977) - "Reply to log-transformation in exploration geochemistry." *Mathematical Geology* 9(2), 194-198.
- CHAPMAN R.P. (1978) - "Evaluation of some statistical methods of interpreting multi-element geochemical drainage data from New Brunswick." *Mathematical Geology* 10(2), 195-224.
- CHATUPA J., FLETCHER K. (1972) - "Application of regression

analysis to the study of background variations in the trace element content of stream sediments." *Econ. Geol.* 67, 978-980.

CHAYES F. (1954) - "The lognormal distribution of the elements: a discussion." *Geochim. et Cosmochim. Acta* 6, 119-120.

CHAYES F. (1960) - "On correlation between variables of constant sum." *J. Geophys. Res.* 65, 4185-4193.

CHAYES F. (1962) - "Numerical correlation and petrographic variation." *J. Geol.* 70, 440-452.

CHORK C.Y. (1977) - "Season, sampling and analytical variations in stream sediment surveys." *J. Geochem. Explor.* 7, 31-47.

CHRISTIE O.H.J. (1980) - "Modern data analysis in geochemistry." Confer. Helsinki 1980. En: *International Congr. Publ. Appl. Chem.* 27th, 1980, 361-366.

CONNOR J.J., MIESCH A.T. (1964) - "Analysis of geochemical prospecting data from the Rocky Range, Beaver Country, Utah." *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper* 475-D, D79-D83.

CORMACK R.M. (1971) - "A review of classification." *J. Roy. Stat. Soc., Ser. A* 134(3), 321-367.

CRAFT E.F. (1964) - "Trace determinations in soils and stream sediments by an internal standard spectrographic procedure." *Econ. Geol.* 59, 458-464.

DAHLBERG E.C. (1969) - "Use of model for relating geochemical prospecting data to geological attributes of a region, South Mountain, Pennsylvania." *Quartely of the*

Colorado School of Mines 64(1), 195-216.

- DANIELSON A., LUNDGREN F., SUNDQVIST G. (1959) - "The tape machine. I." Spectrochim. Acta 15, 122-125.
- DAUPHINE A. (1973) - "L'analyse factorielle: ses contraintes mathématiques et ses limites en géographie." L'Espace Géographique 1, 74-80.
- DIDAY E. (1971) - "Une nouvelle méthode en classification automatique et reconnaissance des formes. La méthode des nuées dynamiques." Rev. Stat. Appl. 19(2), 19-33.
- DIDAY E. (1972) - "Optimisation en classification automatique et reconnaissance des formes." R.A.I.R.O. 3, 61-96.
- DRAPER N.R., SMITH H. (1981) - "Applied regression analysis." John Wiley and Sons, New York, 407pp.
- DUROVIC S. (1959) - "Contribution to the lognormal distribution of the elements." Geochim. et Cosmochim. Acta 15, 330-336.
- EQUIPO DE GEOLOGOS DEL I.G.U. (1981) - "Esbozo geológico a escala 1/50000." (Fotoplano del Dep. Lavalleja). Mapa y memoria explicativa, 5pp.
- ERHART H. (1967) - "La g n se des sols en tant que ph nom ne g ologique." Masson Ed., Paris, 177pp.
- FORGY E.W. (1965) - "Cluster analysis of multivariate data: efficiency versus interpretability of clasifications." Biometrics 21, 768-769.
- GARRETT R.G. (1969) - "The determination of sampling and analy-

tical errors in exploration geochemistry." *Econ. Geol.* 64, 568-569.

GARRETT R.G., NICHOL I. (1969) - "Factor analysis as an aid in the interpretation of regional geochemical stream sediment data." *Quartely of the Colorado School of Mines* 64(1), 245-264.

GARRETT R.G. (1973) - "The determination of sampling and analytical errors in exploration geochemistry - a reply." *Econ. Geol.* 68, 282-283.

GARRETT R.G. (1974) - "Field data acquisition methods for applied geochemical surveys at the Geological Survey of Canada." *Geol. Surv. Canada Paper* 74-52, 36pp.

GARRETT R.G., GOSS T.I. (1978) - "The evaluation of sampling and analytical variation in regional geochemical surveys." En: Watterson J.R., Theobald P.K. Eds. "Geochemical Exploration."; *Assoc. Explor. Geochemists, Toronto*, 371-383.

GARRETT R.G., KANE V.E., ZEIGLER R.K. (1980a) - "The management and analysis of regional geochemical data." *J. Geochem. Explor.* 13, 115-152.

GARRETT R.G., GOSS T.I. (1980b) - "UANOVA: a FORTRAN IV program for unbalanced nested analysis of variance." *Computers Geosciences* 6, 35-60.

GELOS G., ROLET Ph., SPANGENBERG J. (1981) - "Application des méthodes statistiques multivariées a des prélèvements géochimiques d'Alborada (Uruguay)." *Informe B.R.G.M.* 81 SGT 002 DI, 20pp.

- GELOS G., SPANGENBERG J. (1983) - "Presentación de algunas técnicas de cartografía automática operacionales en la DI.NA.MI.GE.." Presentado al Boletín N°39 DI.NA.MI.GE.
- GOSS T.I., GARRETT R.G. (1978) - "A new unbalanced nested ANOVA model in geology - a down-to-earth design-." En: Amer. Stat. Assoc. Statistical Computing Proceeding, 360-365.
- GOUBIN N., JEKHOWSKY B. de (1972) - "Constitution et exploitation de deux fichiers géochimiques." En: Laffitte P. "Traité d'informatique géologique." Masson Ed., Paris, 624pp, 146-174.
- GOVETT G.J.S. (1972) - "Interpretation of a rock geochemical exploration survey in Cyprus. Statistical and graphical techniques." J. Geochem. Explor. 1(1), 77-102.
- GOVETT G.J.S. (1974) - "Exploration geochemistry in New Brunswick." CIM Bull. 67(743), 177-178.
- GOVETT G.J.S., GALANOS D.A. (1974) - "Drainage and soil geochemical survey in Greece: use of standardized data as an interpretative procedure." Trans. Instn. Min. Metall (Sect.B: Appl. Earth Sci.) 83, B99-B111.
- GOVETT G.J.S., GOODFELLOW W.D., CHAPMAN R.P., CHORK C.Y. (1975) - "Exploration geochemistry - distribution of elements and recognition of anomalies." J. Math. Geol. 7(5-6), 415-446.
- GRANIER C. (1973) - "Introduction a la prospection géochimique des gites metallifères." Masson Ed., Paris, 143pp.
- GRAYBILL F.A. (1976) - "Theory and applications of the linear model." Duxbury Press, North Scituate.

- HARMAN H.H. (1976) - "Modern factor analysis." The University of Chicago Press, Chicago, 487pp.
- HAWKES H.E. (1957) - "Principles of geochemical prospecting." U.S. Geol. Surv. Bull. 1000-F, 225-355.
- HAWKES H.E., WEBB J.S. (1962) - "Geochemistry in mineral exploration." Harper and Row, New York, 415pp.
- HENRY B., ROQUIN C. (1977) - "Reconnaissance du potentiel minier des complexes basiques, ultrabasiques a partir de leur composition pétrochimique." Résumé des principaux résultats et techniques du S.G.N., B.R.G.M. 1977, R.S. 524, 90-91.
- HERBOSCH A. (1974) - "Facteurs controlant la distribution des éléments dans les shales uraniferes du Bassin de Lodève (Hérault, France)." Congr. I.A.E.A., Vienne, 1974, 359-380.
- HESP W.R., RIGBY D. (1972) - "Cluster analysis of rocks in the New England igneous complex. New South Wales, Australia." En: "Geochemical Exploration." IMM 1972, London, 221-235.
- HOERL A.E., KENNARD R.W. (1970) - "Ridge regression: biased estimation for nonorthogonal problems." Technometrics 12, 55-67, 69-82.
- HOERL A.E., KENNARD R.W., BALDWIN K.F. (1975) - "Ridge regression: some simulations." Comm. Statistics 4, 105-123.
- HOWARTH R.J. (1967) - "Trend-surface fitting to random data. An experimental test." Am. Jour. Sci. 265, 619-625.

- HOWARTH R.J. (1971) - "Empirical discriminant classification of regional stream sediment geochemistry in Devon and east Cornwall." Trans. Instn. Min. Metall. (Sect.B: Appl. Earth Sci.) 80, B142-B149.
- HOWARTH R.J., LOWENSTEIN P.L. (1971) - "Sampling variability of stream sediments in broad scale regional geochemical reconnaissance." Inst. Mining. Metall. Trans. 80, B363-B372.
- HOWARTH R.J. (1973) - "The pattern recognition problem in applied geochemistry." London Symposium Volume, 259-275.
- HOWARTH R.J. (1977) - "Cartography in geochemical exploration." Sci. Terr. Ser. Inf. Geol. 9, 105-128.
- IMBRIE J., PURDY E.G. (1962) - "Classification of modern Bahamian carbonate sediments." En: "Classification of carbonate rocks." Am. Assoc. Petroleum Geologists Mem. 1, 253-272.
- ISNARD P., MALLET J.L. (1972) - "Corrélations géologiques. Méthodes statistiques de traitement des données." En: Laffitte P. "Traité d'informatique géologique." Masson Ed., Paris, 624pp, 379-536.
- JAMES W.R. (1966) - "Fortran IV program using double Fourier serie for surface fitting of irregularly spaced data." Kansas Geol. Surv. Computer Contr. 5, 19pp.
- JAMES C.H., RADFORD N.W. (1980) - "Some recent advances in mathematical geology: apportionment of error in geochemical prospecting data." Proc. Geol. Assoc. 91, 69-70.
- KLOVAN J.E. (1966) - "The use of factor analysis in determining

depositional environments from grain-size distributions." J. Sedimentary Petrology 36, 115-125.

KLOVAN J.E. (1975) - "R- and Q- mode factor analysis." En: McCammon R.B., "Concepts in geostatistics." Springer-Verlag, New York, 21-69.

KRAUSKOPF K.B. (1967) - "Introduction to geochemistry." McGraw-Hill, New York, 721pp.

LEBART L., MORINEAU A., TABARD N. (1977) - "Techniques de la description statistique." Dunod Ed., Paris, 351pp.

LECUYER P., BOUDET M. (1979) - "Appuis graphiques de routine a la prospection géochimique." Bull. B.R.G.M., Sect II 2-3, 151-160.

LEFEBVRE J. (1980) - "Introduction aux analyses statistiques multidimensionnelles." Masson Ed., Paris, 259pp.

LENCI M., COTON P., KREMER M. (1972) - "Notions de base du traitement de l'information." En: Laffitte P., "Traité d'informatique géologique." Masson Ed., Paris, 624pp, 100-132.

LEPELTIER C. (1969) - "A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation." Econ. Geol. 64, 538-550.

LEYMARIE P. (1970) - "Contribution aux méthodes d'acquisition, de représentation et de traitement de l'information en géologie." (Tesis, Nancy, 1969). Sciences de la Terre. Mem. N°18, Nancy, 170pp.

LEYMARIE P. (1972) - "Structure de l'information géologique."

En: Laffitte P. "Traité d'informatique géologique."
Masson Ed., Paris, 624pp, 15-22.

LEYMARIE P. (1977) - "Some fundamental studies related to exploration geochemistry." Sciences de la Terre, Informatique géologique 9, 63-72.

LEVINSON A.A. (1980) - "Introduction to exploration geochemistry." Applied Publishing Ltd., Calgary, 812pp.

LOWENSTEIN P.L., HOWARTH R.J. (1973) - "Automated colour-mapping of three-component systems and its application to regional geochemical reconnaissance." En: Jones M.J. Ed., Proc. Fourth Inter. Geochem. Explor. Symposium, London, 297-304.

MASON B. (1966) - "Principles of geochemistry." John Wiley and Sons, Inc., New York, 329pp.

MASSET J.M. (1973) - "Un système de visualisation des variations géographiques d'un paramètre géologique." (Tesis, Nancy). Sciences de la Terre, Informatique Géologique 1, 171pp.

MATHERON G. (1962) - "Traité de géostatistique appliquée." Tomo I, Mem. B.R.G.M. N°14, Paris, 333pp.

MCCAMMON R.B. (1966) - "Principal component analysis and its application in large scale correlation studies." J. Geol. 74(6), 721-733.

MCCAMMON R.B. (1976) - "An interactive computer graphics program for dissecting a mixture of normal (or lognormal) distributions." Proc. 9th Interface Symp. Comput. Sci. and Stat., Harvard, 36-43.

- MICHARD G., TREUIL M. (1969) - "Réflexion sur l'utilisation des corrélations entre éléments-traces en géochimie: exemples." Bull. Soc. Geol. France 6, 595-598.
- MICHIE U. McL. (1973) - "The determination of sampling and analytical errors in exploration geochemistry. Discussion." Econ. Geol. 68, 281-282.
- MIDOT D. (1983) - Tesis de 3^{er} ciclo (aún no publicada).
- MIESCH A.T. (1967a) - "Methods of computation for estimating geochemical abundance." U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 574B.
- MIESCH A.T. (1967b) - "Theory of error in geochemical data." U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 574A, 17pp.
- MIESCH A.T. (1969) - "Critical review of some multivariate procedures in the analysis of geochemical data." Math. Geol. 1, 171-184.
- MIESCH A.T. (1976) - "Geochemical survey of Missouri. Methods of sampling, laboratory analysis, and statistical reduction of data." Geol. Surv. Prof. Paper 954A, 39pp.
- MIESCH A.T. (1977) - "Log transformations." Math. Geol. 9, 191-198.
- MITCHELL R.L. (1955) - "Trace elements." En: Bear F.E. Ed. "Chemistry of the soil.", Reinhold Pub. Co., New York, 373, 253-285.
- MOAL J.Y., BEGUINOT J., RUEL G., VANNIER M. (1970) - "Le quantomètre pour le dosage des éléments en traces dans les matériaux naturels." Colloque national du C.N.R.S. N°923, Nancy 4-6, Dic. 1968 Ed. C.N.R.S., 107-132.

- MOAL J.Y., PINAULT J.L. (1979) - "Utilisation de la spectrométrie d'émission sur poudres pour l'analyse multiélémentaire des échantillons géochimiques." Bull. B.R.G.M. II, 2-3, 75-84.
- NICHOL I., GARRETT R.G., WEBB J.S. (1966) - "Automatic data plotting and mathematical and statistical interpretation of geochemical data." Proc. Symp. Geochem. Prospect., Ottawa, 1966, 195-210.
- NICHOL I., WEBB J.S. (1967) - "The application of computerized mathematical and statistical procedures to the interpretation of geochemical data." Proc. Geol. Soc. London 1642, 186-199.
- NICHOL I., GARRETT R.G., WEBB J.S. (1969) - "The role of some statistical and mathematical methods in the interpretation of regional geochemical data." Econ. Geol. 64, 204-220.
- OBIAS R.C. (1970) - "Cluster analysis as an aid in the interpretation of multielement geochemical data." Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. B: Appl. Earth Sci.) 79, B175-B180.
- OERTEL A.C. (1969) - "Frequency distribution of element concentrations. II. Surface soils and ferromagnesian minerals." Geochim. et Cosmochim. Acta 33, 833-840.
- PANTAZIS Th.M., GOVETT G.J.S. (1973) - "Interpretation of a detailed rock geochemical survey around Mathiate Mine, Cyprus." J. Geochem. Explor. 2, 25-36.
- PEDRO G., DELMAS A.B. (1970) - "Les principes géochimiques de la distribution des éléments-traces dans les sols." Ann. Agron. 21(5), 483-518.

- PELET R., JEKHOWSKY B. de (1972) - "Etude statistique sur ordinateurs de la géochimie de certains éléments dans les formations sédimentaires du Bassin de Paris." 24th IGC Secc. 16, 60-75.
- PLANT J. (1973) - "A random numbering system for geochemical samples." Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. B: Appl. Earth Sci.) 82, B64-B65.
- PLANT J., JEFFERY K., GILL E., FAGE C. (1975) - "The systematic determination of accuracy and precision in geochemical exploration data." J. Geochem. Explor. 4, 467-486.
- RANKAMA K., SAHAMA Th.G. (1962) - "Geoquímica." Aguilar S.A., Madrid, 862pp.
- ROCHE H. de la, GRANDCLAUDE Ph. (1972) - "La collecte des données géologiques." En: Laffitte P. "Traité d'informatique." Masson Ed., Paris, 624pp, 23-52.
- ROQUIN C. (1976) - "Etude méthodologique concernant le traitement des résultats alluvionnaires. Application a un prospect de Gaspésie." Informe B.R.G.M., SGN/GMX/GCA N°28.
- ROQUIN C. (1978) - "Essai d'utilisation de l'outil géochimique comme appui a la cartographie géologique du prospect de Bodennec (Finistère)." Bull. B.R.G.M. II, 1, 39-49.
- ROQUIN C. (1979) - "Contribution a l'étude de la structure des données en prospection géochimique." Tesis 3^{er} ciclo, Univ. Orléans, 82pp.
- ROSE A.W., DAHLBERG E.C., KEITH M.L. (1970) - "A multiple re-

gression technique for adjusting background values in stream sediment geochemistry." *Econ. Geol.* 65, 156-165.

ROSE A.W., HAWKES H.E., WEBB J.S. (1979) - "Geochemistry in mineral exploration." Academic Press, Inc., London, 657pp.

SAAGER R., ESSELAAR P.A. (1969) - "Factor analysis of geochemical data from the Basal Reef, Orange Free State Goldfield, South Africa." *Econ. Geol.* 64, 445-451.

SACHS L. (1978) - "Estadística aplicada." Labor S.A., Barcelona, 567pp.

SATTERTHWAITE F.E. (1946) - "An approximate distribution of estimates of variance components." *Biometrics* 2(2), 110-114.

SAXENA S.K., EKSTROM T.K. (1970) - "Statistical chemistry of calcic amphiboles." *Contr. Mineral. and Petrol.* 26, 276-284.

SINCLAIR A.J. (1967) - "Trend-surface analysis of minor elements in sulfides of the Slocan Mining Camp, British Columbia, Canada." *Econ. Geol.* 62, 1095-1101.

SINCLAIR A.J. (1974) - "Selection of thresholds in geochemical data using probability graphs." *J. Geochem. Explor.* 3, 129-149.

SHAW D.M. (1961) - "Element distribution laws in geochemistry." *Geochim. et Cosmochim. Acta* 23, 116-134.

SHAW D.M. (1964) - "Interpretation géochimique des éléments en trace dans les roches cristallines." Masson Ed., Paris, 237pp.

- SNEE R.D. (1974) - "Computation and use of expected mean squares in analysis of variance." J. Qual. Tech. 6(3), 128-137.
- SNEDECOR G.W., COCHRAN W.E. (1975) - "Métodos estadísticos." C.E.C.S.A., Mejico, 703pp.
- SPANGENBERG J. (1983) - "Estudio de la precisión de los datos geoquímicos multielementos del Inventario Minero del Uruguay. (Período Junio 1980-Junio 1983)." Informe D.A.P.G.-G.Q.A. 83/002.
- SPEARMAN C. (1904) - "General intelligence, objectively determined and measured." Am. J. Psychol. 15, 201-293.
- TENNANT C.B., WHITE M.L. (1959) - "Study of the distribution of some geochemical data." Econ. Geol. 54, 1281-1290.
- TIMPERLEY M.H., BROOKS R.R., PETERSON P.J. (1970) - "Prospecting for copper and nickel in New Zealand by statistical analysis of biogeochemical data." Econ. Geol. 65, 505-510.
- TIMPERLEY M.H., BROOKS R.R., PETERSON P.J. (1972) - "Trend analysis as an aid to the comparison and interpretation of biogeochemical and geochemical data." Econ. Geol. 67, 669-676.
- TUREKIAN K.K., WEDEPOHL K.H. (1961) - "Distribution of the element in some major units of the earth's crust." Geol. Soc. Am. Bull. 72, 175-192.
- VISTELIUS A.B. (1960) - "The skew frequency distributions and the fundamental law of the geochemical process." J. Geol. 68, 1-22.

VISTELIUS A.B., SARMANOV O.V. (1961) - "On the correlation between percentage values: mayor component correlation in ferromagnesium micas." J. Geol. 69, 145-153.

VISTELIUS A.B. (1967) - "Geochemical problems and easures of information." En: "Studies in mathematical geology." Consultants Bureau, New York, 157-174.

WHITEHEAD R.E.S., GOVETT G.J.S. (1974) - "Exploration rock geochemistry. Detection of trace element halos at Heath Steele Mines (N.B. Canada) by discriminant analysis." J. Geochem. Explor. 3, 371-386.

ZAR J.M. (1974) - "Biostatistical analysis." Prentice-Hall Inc., New York, 620pp.

ZEEGERS H. (1977) - "Recherche d'anomalies Cu-Zn-Pb. Prise en compte des facteurs lithologiques et supergènes." Nota técnica B.R.G.M., SGN/GMX/GCA N°116.

ZEEGERS H., ARTIGNAN D., SPANGENBERG J. (1982) - "Inventario Minero del Uruguay. Resultados de la prospección geoquímica estratégica." B.R.G.M., Informe interno (confidencial).

ZODROW E. (1974) - "Exploration geochemistry in New Brunswick. Discussion." CIM Bull. 67(743), 176.