

## ESTIMACION NO PARAMETRICA DE VARIABLES GEOQUIMICAS. APLICACION AL As COMO TRAZADOR DEL Au EN MINERALIZACIONES AURIFERAS LIGADAS A ZONAS DE CIZALLA

R. Jiménez Espinosa \* y M. Chica Olmo \*\*

### RESUMEN

Para el tratamiento de los datos de prospección geoquímica se ha considerado un método de estimación geoestadística no paramétrico, como el krigeaje de indicatrices, basado en la naturaleza topoprobabilística de las variables geoquímicas. El krigeaje de indicatrices tiene la gran ventaja de trabajar con variables de tipo disyuntivo que no necesitan utilizar la información sesgadamente, separando la variable bruta de forma que sólo se considera la parte de la información que más interesa. Además, tiene un tipo de representaciones gráficas de gran claridad. No obstante, este método tiene el inconveniente de no ser capaz de distinguir entre valores elevados realmente anómalos y valores elevados del fondo de variación regional.

A lo largo del trabajo se presentan los resultados de la aplicación de esta técnica sobre un conjunto de datos de exploración minera realizada en un área del NW de España, caracterizada por la presencia de mineralizaciones de oro. La aplicación concreta se ha hecho sobre el As. Este elemento es considerado como un elemento trazador del Au en el área de estudio, al cristalizar éste por desestabilización de arsenopirita. Además, los valores de oro no permiten la realización de ningún tipo de tratamiento numérico. El Au presenta un gran número de valores coincidentes con el límite de detección, así como una serie de datos extremos que hacen que los variogramas indicatrices carezcan de estructuración y no pueda usarse para aplicar el krigeaje de indicatrices. Los resultados de la aplicación del krigeaje de indicatrices sobre el As llevan a localizar una serie de valores elevados situados a lo largo de una estructura geológica de orientación N-S coincidente con una zona de cizalla, considerada como metalotecto de oro en el área. Concretamente, estos puntos se sitúan en los alrededores del afloramiento de unas rocas cataclásticas, que son las litologías en las que aparecen las mineralizaciones de Au por la circulación de fluidos a través de las mismas.

**Palabras clave:** *Krigeaje de indicatrices, oro, arsénico, zonas de cizalla.*

### ABSTRACT

A nonparametric geostatistical method has been used to treat geochemical data. This method is the indicator kriging and is based on the topoprobabilistic behavior of geochemical variables. The indicator kriging has the great advantage of working with indicator variables. This kind of treatment does not trim the information and allows to separate raw variables in the way that the more interesting part of the information is only considered. Moreover, this methodology produces very clear graphic presentations. Therefore, this technique has the disadvantage that it is not able to distinguish between anomalous high values and high values belonging to background.

In this work, the results of the application of indicator kriging to a set of mineral exploration data carried out in NW Spain are presented. This area is characterized by presence of gold mineralizations. The specific application has been done over As, considered as a pathfinder of Au in this area, since this one allows no numerical treatment. Gold presents a great number of values equal to detection limit, and a series of extreme values. These characteristics bring out indicator variograms with no structure. The results of the application of indicator kriging over As allow locate a series of high values place along a N-S shear zone, considered as a structure related to presence of gold. Specifically, these points are located in relation to a kind of cataclastic rocks, where gold mineralizations appear, due to fluid circulation through these rocks.

**Key words:** *Indicator kriging, gold, arsenic, shear zones.*

\* Departamento de Geología. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Jaén. Avenida de Madrid, 35. 23071 Jaén.

\*\* Departamento de Geodinámica. Universidad de Granada. Avenida de Fuentenueva, s/n. 18002 Granada.

## Introducción

Uno de los problemas que conllevan los datos procedentes de exploración geoquímica es que las variables suelen presentar distribuciones bastante sesgadas, con largas colas y rangos de variación importantes, normalmente debido a la existencia de algunos valores extraños. En otros casos, lo que ocurre es que por la precisión del aparato de medida existe un gran número de valores coincidentes con el límite de detección. En todas estas ocasiones los variogramas experimentales de los datos brutos son bastante sensibles a la presencia de este tipo de datos, llegando a aparecer variogramas desestructurados, no siendo posible su uso de cara a una aplicación posterior. Una solución bastante empleada en estos casos consiste en eliminar los valores aberrantes del conjunto de datos sobre la base de algún criterio geológico o probabilístico, o bien realizar algún tipo de transformación, por ejemplo logarítmica o normal, entre otras, lo que conduce a valores no siempre fáciles de interpretar durante su tratamiento. Concretamente, en el caso de una transformación del tipo  $\ln [z(x)]$ , siendo  $z(x)$  una determinada concentración en un elemento químico, ésta no es lineal, lo que implica que transformaciones no lineales requieren técnicas de estimación no lineal (p.e., krigeaje disyuntivo), que a su vez necesitan algunas hipótesis sobre la distribución de  $Z(x)$ , además de una complicada puesta en práctica.

Una solución interesante para evitar estos problemas puede ser considerar métodos de estimación no paramétricos libres de distribución, como el krigeaje de indicatrices (Journel, 1983). Esta es una técnica que se basa en la transformación del conjunto de variables original de acuerdo con un indicador. Esto es, a partir de los datos brutos se establece un nuevo conjunto de datos que considera solamente variables de tipo indicatriz, por medio de la transformación de las variables iniciales a otras nuevas compuestas únicamente por «ceros» y «unos», previo establecimiento de una serie de valores de corte  $z$ .

Para mostrar las características de este método de estimación geoestadística, se han utilizado los datos de una exploración geoquímica realizada en Galicia (NW de España). Este área es una zona de interés geominero por la existencia de mineralizaciones de oro. No obstante, dados los problemas que este elemento presenta para su tratamiento numérico, se utiliza para evaluar la potencialidad metalogenética del área As. Este elemento es un trazador del Au en la zona de estudio, y ambos están asociados genéticamente, al cristalizar por desestabilización de arsenopirita, como se verá en el capítulo dedicado a la estructura mineralizada.

## Descripción del área de estudio

### *Geología de la zona de trabajo*

El área de estudio se localiza en la provincia de La Coruña (NO España), en una zona de interés geominero por la existencia de mineralizaciones de oro. Desde un punto de vista geológico, este área se sitúa en el Macizo Ibérico, concretamente en la zona de Galicia-Tras os Montes. En esta zona se diferencian claramente dos dominios: Dominio de los Complejos de Rocas Máficas (DCRM) y el Dominio Esquistoso de Galicia-Tras os Montes (DEGTM), separados ambos por un importante cabalgamiento (fig. 1a). El primero de estos dominios aparece formado por un conjunto de rocas máficas, ultramáficas y gneisses, sobre las que se dispone una sucesión de metasedimentos. Estos complejos son cinco: Cabo Ortegal, Ordenes, Malpica-Tuy, Bragança y Morais. El Dominio Esquistoso de Galicia-Tras os Montes, autóctono relativo, está formado por una potente secuencia de rocas siliciclásticas deformadas y metamorfizadas durante la orogenia hercínica (Julivert, 1971; Ponce de León y Chourkroune, 1980; Farias, 1992).

Respecto a la geología específica del área de estudio, hay que señalar que aparece enclavada en el contacto entre los dos dominios citados, concretamente entre la Unidad de Malpica-Tuy (UMT) y el Área Esquistosa de Galicia Central (AEGC), pertenecientes al DCRM y DEGTM, respectivamente. En la figura 1b se presenta un esquema geológico de los diferentes materiales aflorantes en el área (Enadimsa, 1987). El rasgo estructural más sobresaliente de la zona lo constituye una banda milonítica de orientación aproximada N-S, que señala el contacto entre la UMT y el AEGC. La deformación afecta principalmente a las rocas del AEGC, generando niveles de milonitas. También se generan bandas miloníticas en materiales de la UMT, pero con menos desarrollo superficial. Con posterioridad a la milonitización se produce un episodio de cataclasis y brechificación con aporte hidrotermal, de gran interés por su potencial metalogenético (Jahoda, 1987; Castroviejo, 1990; Porter y Alvarez Morán, 1992).

### *Estructura mineralizada*

Las mineralizaciones son fundamentalmente de oro y sulfuros acompañantes, que se pueden enmarcar dentro de un contexto de escala regional. El cinturón mineralizado, con una dirección aproximada NNE-SSW, se sitúa en la parte más oriental y milonitizada de la UMT, en el contacto con el AEGC.

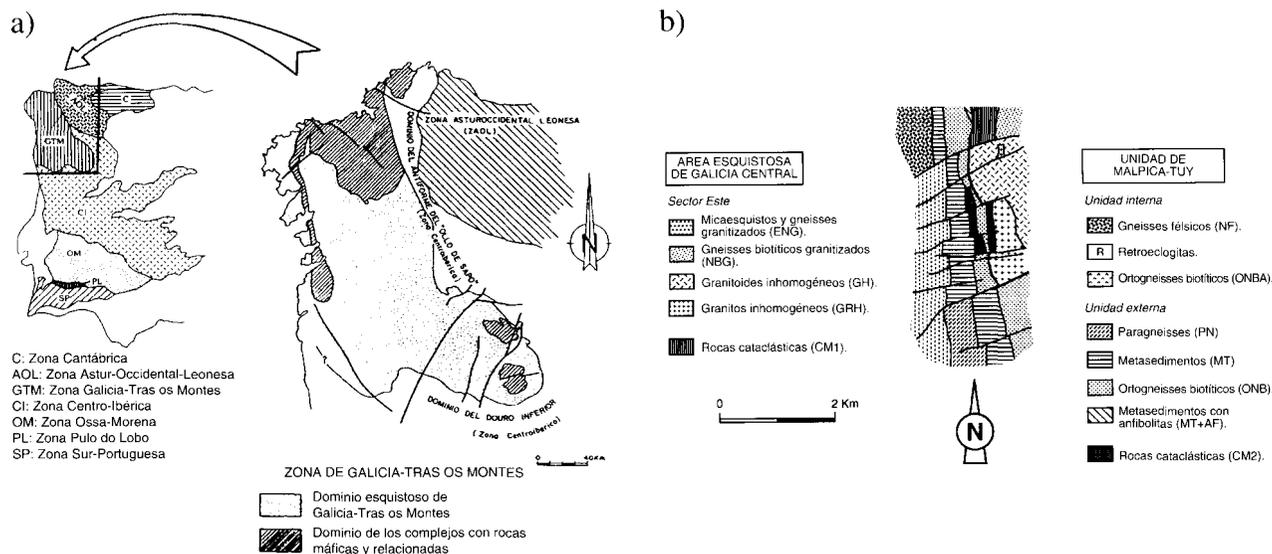


Fig. 1.—a) Esquema geológico regional del área de estudio (Farias, 1992). b) Esquema geológico local de la zona de trabajo (modificado de Agudo-Fernández *et al.*, 1989).

Las menas aparecen en venas o cuerpos de brecha irregulares localizados en varias litologías, aunque siempre las más deformadas. Existe una intensa relación entre la mineralización y la brechificación posterior con relleno hidrotermal, que da lugar a alteraciones, principalmente silicificación, alteración potásica y sericitización. Además, la cristalización del oro está ligada a la de la arsenopirita, apareciendo el Au por desestabilización de este mineral (Agudo-Fernández, 1989; García del Amo, 1990; García del Amo *et al.*, 1992). Además, Porter y Alvarez Morán (1992) indican que en este tipo de yacimientos de origen hidrotermal la asociación sistemática de oro y arsénico hace concluir que el segundo debe ser un factor importante en la movilización, transporte y deposición del oro. Incluso, Boyle (1975) considera que la alta solubilidad del oro en disoluciones de complejos triarseníticos y triarsenánicos podría explicar la relación entre los dos elementos.

La exploración del oro y sulfuros metálicos asociados debe estar guiada por la relación con estructuras regionales importantes, fundamentalmente zonas de cizalla con fenómenos de cataclasis y relleno hidrotermal superpuestos (Castroviejo, 1990).

**Datos**

Los datos geoquímicos de los que se dispone pertenecen a una campaña de prospección geo-

química táctica llevada a cabo por la Empresa Nacional Adaro en la Reserva Nacional Finisterre B2-Fervenza. Esta campaña fue realizada en suelos según una malla de aproximadamente 50 x 100 m (fig. 2), en la que se tomaron 602 muestras con 32 elementos químicos analizados en cada una de ellas (Agudo Fernández, 1989). Dada la confidencialidad de la información (propiedad de Adaro) no se suministra más información al respecto.

El Au, como elemento objeto de la prospección, tiene una serie de problemas para su tratamiento numérico. Presenta un gran número de valores coincidentes con el límite de detección, además de tener unos pocos datos anormalmente elevados, de ahí

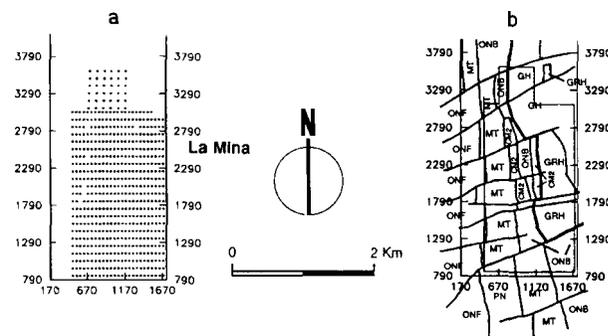
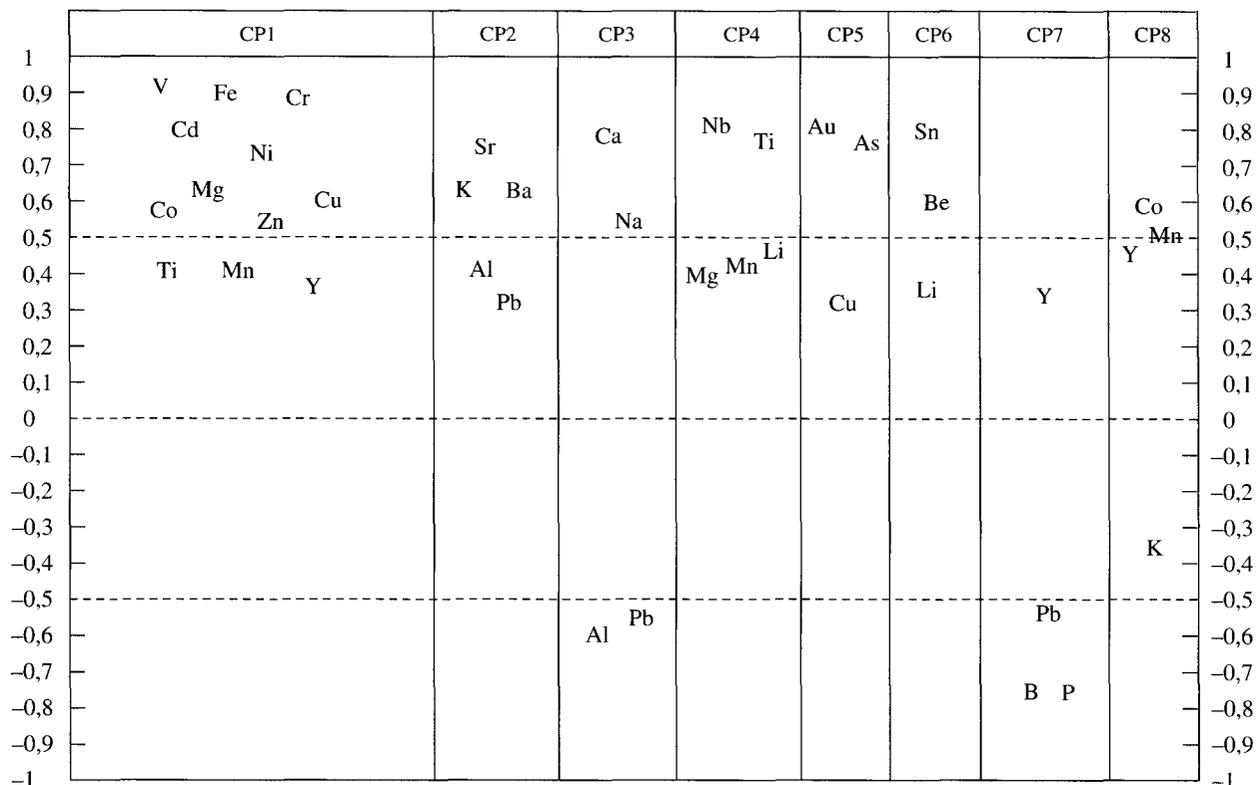


Fig. 2.—Mapa de localización de puntos de muestreo (a), diferenciándose en (b) la correspondencia con las diferentes litologías identificadas en el área (tomado de Jiménez-Espinosa, 1993).

Tabla 1.—Presentación gráfica de los resultados del análisis de componentes principales sobre los datos brutos. Cada «subdiagrama» es proporcional a la varianza del factor que representa



que cualquier método propuesto para su estudio sea de difícil aplicación. Dadas las características del Au es necesario recurrir a otros elementos asociados como éste como el As, considerado como elemento trazador del Au, debido al origen de éste ligado a la desestabilización de la arsenopirita. Esto hace que la investigación de la potencialidad metalogenética del área se vaya a realizar a partir del estudio del As. Por otra parte, analizando los resultados de un análisis de componentes principales sobre este conjunto de elementos se observa la asociación del Au, de forma casi exclusiva, con As (tabla 1).

### Aspectos teóricos del krigeaje de indicatrices

La función indicatriz se define como una función establecida a partir de una codificación binomial, definida para un determinado valor de corte  $z$ :

$$i(x; z) = \begin{cases} 0, & \text{si } z(x) \leq z \\ 1, & \text{si } z(x) > z \end{cases}$$

La proporción exacta de valores  $z(x)$  que aparecen bajo el límite  $z$ , dentro de un área  $A$  determinada puede escribirse como:

$$\Phi(A; z) = \int_A i(x; z) dx$$

Como funciones de  $z$ , tanto la función  $i(x; z)$  como  $\Phi(A; z)$  se pueden considerar como funciones de distribución acumulada, con  $\Phi(A; z)$  siendo el valor medio de todos los  $i(x; z)$  para cualquier  $x \in A$ . La estimación de la función de densidad de  $z(x)$  está basada en la repetición del proceso de estimación para diferentes valores de corte, de modo que se llega a discretizar la función, obteniendo el estimador final por medio del método de mínimo cuadrados de la función de densidad condicional.

Desde el punto de vista de la aplicación geoquímica no interesa tanto la estimación de la función de densidad, sino más bien establecer determinadas variables indicatrices que sean indicativas de algunos valores de corte de interés geoquímico y realizar una estimación basándose en

estas nuevas variables. De modo que, para cada una de las variables indicatrices establecidas, se realiza una estimación sobre el área de trabajo obteniéndose una serie de valores estimados que están incluidos en el intervalo [0, 1] (Jiménez Espinosa, 1993).

Para un valor de corte  $z$  dado, la función aleatoria  $I(x; z)$  se presenta como una distribución binomial con un semivariograma definido como:

$$\gamma_I(h; z) = 1/2E \{ [I(x+h; z) - I(x; z)]^2 \}$$

Un análisis estructural de las indicatrices proporciona más información que un análisis estructural clásico sobre la variable bruta (Deutsch y Journel, 1992). En general, los variogramas indicatrices son mucho más robustos ante la presencia de datos de las colas que los variogramas brutos, ya que estos valores aberrantes hacen que aparezcan variogramas carentes de estructuración, y además, las indicatrices evitan tener que cortar la variable para poder obtener variograma.

La realización de cualquier tipo de estimación con la variable de tipo indicatriz no es más que la aplicación de los algoritmos clásicos a estas nuevas variables, siendo el más usado el del krigeaje ordi-

nario. El krigeaje de indicatrices ordinario, usado cuando el valor de la media estacionaria de la función aleatoria binaria  $I(x; z)$  es desconocido, necesita imponer una serie de condiciones sobre los pesos, la conocida condición de universalidad, que aquí habrá que imponer para cada variable indicatriz establecida a partir de una variable bruta  $z(x)$  cualquiera. El sistema de krigeaje (Journel y Huijbregts, 1978) se puede expresar como:

$$\sum_{\beta=1}^n \lambda_{\beta}(x; z) C_I(v_{\alpha}, v_{\beta}) - \mu = C_I(v_{\alpha}, V; z), \quad \forall \alpha, \beta = 1, n$$

$$\sum_{\beta=1}^n \lambda_{\beta} = 1$$

sistema de  $n + 1$  ecuaciones con  $n + 1$  incógnitas, que son los  $n$  ponderadores y el parámetro de Lagrange  $\mu$ .

La varianza de estimación o varianza de krigeaje se podría expresar del siguiente modo:

$$\sigma_K^2 = C_I(V, V; z) + \mu - \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha}(x; z) C_I(v_{\alpha}, V; z)$$

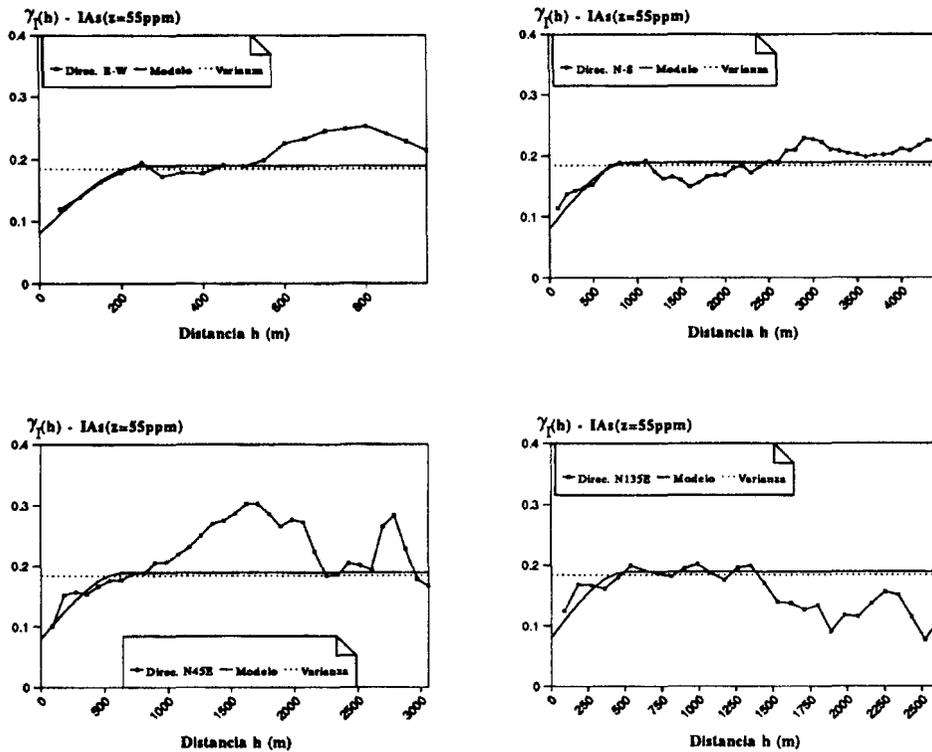


Fig. 3.—Variogramas experimentales y teóricos de la variable indicatriz  $IAs_{75}$ , establecida para un valor de corte de 55 ppm.

Tabla 2.—Modelo ajustado a  $IAs_{75}$ : efecto de pepita (C0), meseta (C1) y alcances anisótropos, así como su representación gráfica

	C0	C1	A1 E-W	A1 N45E	A1 N-W	A1 N135E	Relación de alcances
$IAs_{75}$	0,08	0,11	250	650	900	500	

**Aplicación del krigeaje de indicatrices al As**

Esta técnica de estimación geoestadística no paramétrica ha sido aplicada al As para localizar las zonas anómalas de este elemento, pero con el fin último de identificar las anomalías de Au. Al realizar la estimación por krigeaje de indicatrices, y a diferencia de otros métodos de estimación univariantes, en los que se estima en los mismos puntos de muestreo experimentales, aquí carece de sentido reestimar en los puntos de valor conocido, dada la filosofía del método (que pretende estimar una realidad desconocida), por tanto, es necesario establecer una malla de estimación menor a la existente. En el área de trabajo la malla muestral es de 50 x 100 m, de ahí que se haya considerado una malla de estimación de 25 x 50 m. Las indicatrices del As se han establecido para los valores de corte correspondientes al tercer cuartil ( $z_{0,75} = 55$  ppm) y al percentil de 0,9 ( $z_{0,9} = 108$  ppm), al ser valores significativos que delimitan bien los datos que pueden ser considerados extremos, a los cuales pertenecen los puntos anómalos. Con estos valores de corte se han establecido dos variables de tipo indicatriz para este elemento:  $IAs_{75}$  y  $IAs_{90}$ . Con estas nuevas variables se ha llevado a cabo el análisis estructural indicatriz.

Los variogramas de  $IAs_{75}$  muestran una buena estructuración, con variogramas direccionales anisótropos, predominando la dirección N-S como la de máxima elongación de la elipse de anisotropía (fig. 3). No obstante, se suaviza la relación entre las direcciones anisótropas de los variogramas de la variable bruta (ver tabla IV.2 en Jiménez Espinosa, 1993), en los que la relación de anisotropía es de 7,2 según la dirección N-S. Para los variogramas de  $IAs_{75}$  el ajuste se ha hecho siguiendo un esquema compuesto por un efecto de pepita más un modelo esférico anisótropo (tabla 2). Los resultados de esta estimación se van a presentar en forma de dos tipos

de mapas de tonos de grises: i) un mapa que muestra la cartografía de la variable indicatriz estimada, con valores gradados de 0 a 1; ii) y un mapa binario (Solow, 1986), en el que sólo hay dos clases de valores «ceros» y «unos», realizado basándose en la cartografía anterior de la variable indicatriz, pero en el que los valores de ésta se transforman a 0, si dichos valores caen por debajo del valor medio de la indicatriz, o a 1, si están por encima de ese valor

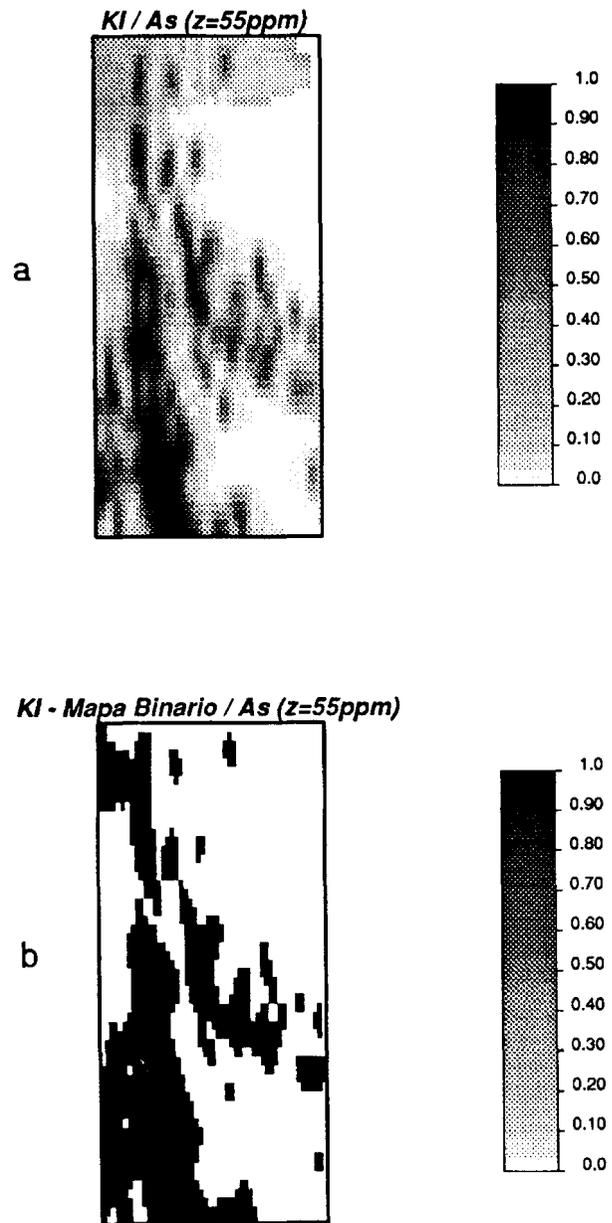


Fig. 4.—Cartografías de la variable indicatriz del As establecida para un valor de corte de 55 ppm: a) mapa de la variable indicatriz  $IAs_{75}$ ; b) mapa binario para esta indicatriz.

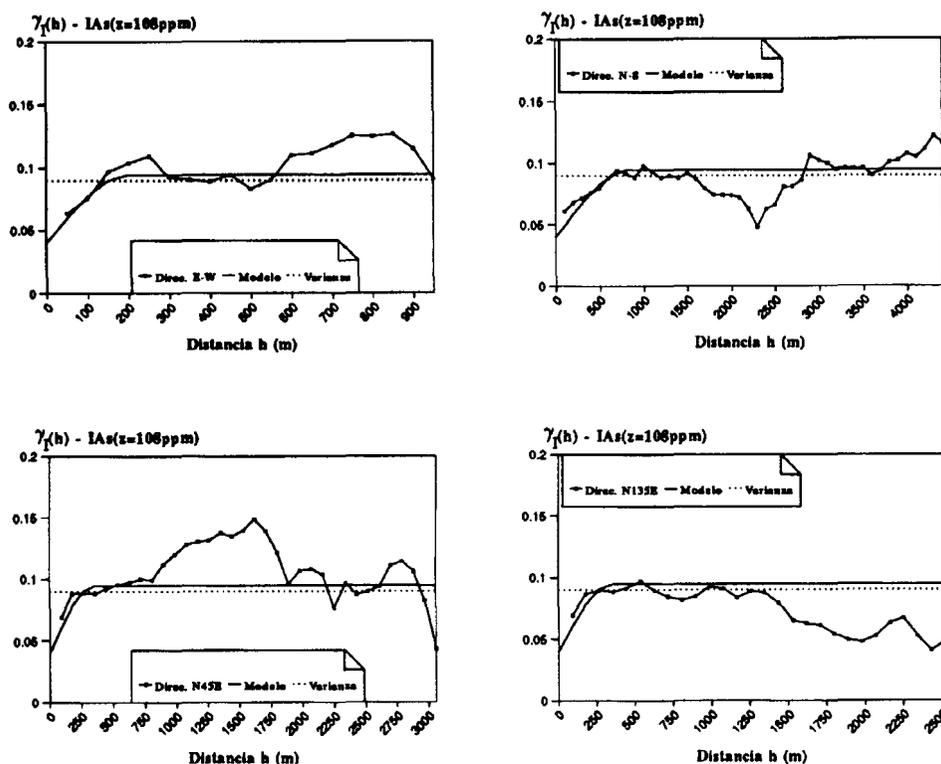


Fig. 5.—Variogramas experimentales y teóricos de la variable indicatriz  $IAs_{90}$ , establecida para un valor de corte de 108 ppm.

medio. En este sentido, en las figuras 4a y b se presentan los mapas correspondientes a la variable  $IAs_{75}$ . La cartografía de la variable indicatriz (fig. 4a) permite poner de manifiesto las zonas de valores elevados en As, para este valor de corte, fundamentalmente en la parte occidental del área de trabajo, y una zona de menor envergadura en la parte central. De un modo mucho más nítido se reflejan estas áreas de valores elevados por medio del mapa binario (fig. 4b), en donde todos los puntos que aparecen en negro están por encima del valor de corte establecido por la indicatriz. Se observa cómo las litologías de granitos (GH y GRH) aparecen completamente libres de concentraciones importantes en As, así como las propias rocas cataclásticas (CM2), cuya misión es hacer de canalizadoras de la mineralización, pero que no la albergan por sí mismas, quedando la mayor concentración en As en los metasedimentos (MT) y el contacto de éstos con CM2 y los ortogneisses (ONB).

Realizando el mismo procedimiento para la variable indicatriz  $IAs_{90}$ , correspondiente a un valor de corte de 108 ppm, se obtienen variogramas semejantes en cuanto a la estructuración, con similar relación de anisotropía, aunque con los alcances

diagonales algo menores que para  $IAs_{75}$  (fig. 5). A partir de este modelo para la variable indicatriz  $IAs_{90}$  se ha realizado la estimación por krigeaje de indicatrices según una malla de 25 x 50 m, obteniéndose los mapas que aparecen en las figuras 6a y b. La cartografía de valores estimadores para esta variable indicatriz restringen aún más la localización de zonas elevadas para As, al haber aplicado un corte más selectivo, y queda bastante más centrada en la zona de altos valores en las proximidades del contacto de los metasedimentos con las rocas adyacentes, cataclásticas y ortogneisses. Estas áreas se ven mucho mejor a través del análisis del mapa binario correspondiente (fig. 6b), en el que se restringen estas zonas de una manera clara.

### Discusión y conclusiones

La mayor ventaja que presenta el krigeaje de indicatrices radica en la facilidad en la interpretación de los resultados, tanto en relación al uso de variables transformadas que utilizan sólo la parte de la información más interesante en la determinación de anomalías geoquímicas, como en la separa-

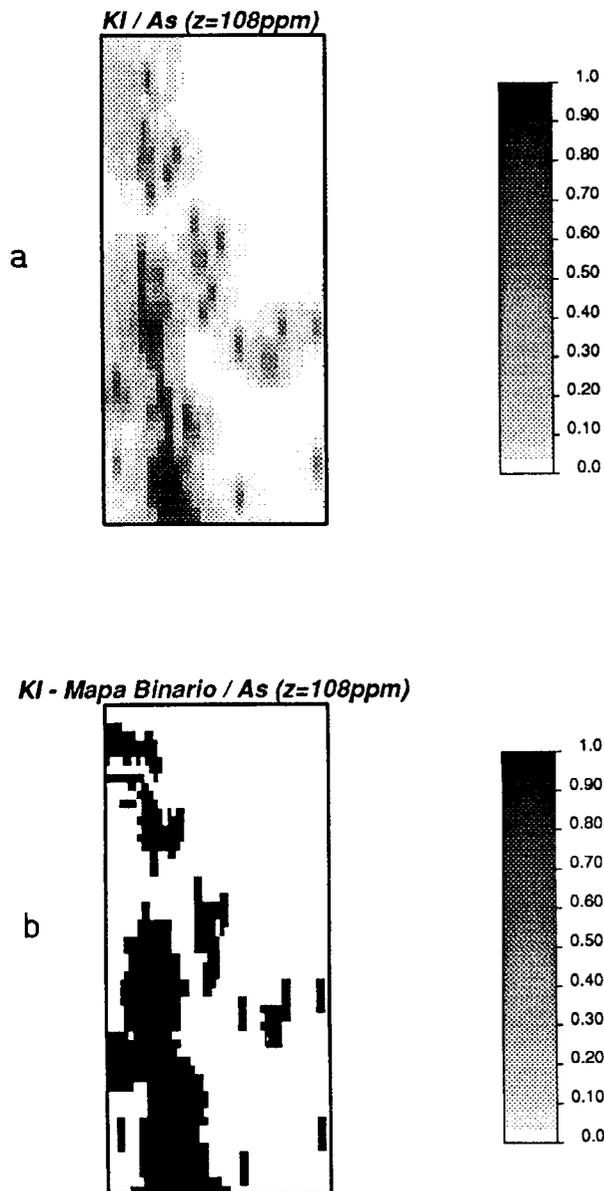


Fig. 6.—Cartografías de la variable indicatriz del As establecida para un valor de corte de 108 ppm: a) mapa de la variable indicatriz  $IAS_{90}$ ; b) mapa binario para esta indicatriz.

ción de los altos valores. Por otro lado, el tipo de representaciones utilizadas suponen una gran claridad en la presentación de estos resultados. En este sentido, la cartografía de la variable indicatriz está indicando la localización de las zonas de valores más ricos de la variable original. Además, los mapas binarios son un tipo de representación gráfica que tiene la ventaja de mostrar sólo aquellas zonas potencialmente interesantes, dando una

visión de las áreas que tienen una mayor probabilidad de superar el valor de corte establecido. No obstante, el kriguaje de indicatrices tiene el inconveniente de no ser capaz de discriminar entre valores elevados realmente anómalos y valores elevados pertenecientes al background. De ahí que su uso deba ser tenido en cuenta como método orientativo en la localización de áreas potencialmente favorables.

En cuanto a los resultados concretos de este método, destacar la localización de las zonas con valores elevados a lo largo de la estructura N-S correspondiente a la zona de cizalla situadas en los alrededores de las rocas cataclásticas (CM2), en rocas gneísicas (ONB) o metapelíticas (MT), que son las litologías en las que aparecen las mineralizaciones de Au por la circulación de fluidos a través de las cataclasitas.

#### AGRADECIMIENTOS

Desearíamos dar las gracias a la Empresa Nacional Adaro por el suministro desinteresado de los datos geoquímicos. Por otra parte, este trabajo ha sido desarrollado en el marco del Grupo de Investigación 4020 de la Junta de Andalucía: «Geoestadística, Teledetección y GIS». Además, queremos expresar nuestro agradecimiento a la persona que ha actuado de evaluador, puesto que sus sugerencias han sido de gran ayuda.

#### Referencias

- Agudo Fernández, M. L., Hernán Reguera, P. y Maldonado Beltrán, M. (1989). Prospección geoquímica de detalle de mineralizaciones auríferas ligadas a cizalla dúctil. Galicia NW España. *III Congreso de Geoquímica de España*, III33-III49.
- Boyle, R. W. et al. (1975). Some observations on the solubility of gold. *Geol. Surv. Canada*, 75-84, 6 págs.
- Catroviejo, R. (1990). Gold ores related to shear zones, West Santa Comba-Fervenza area (Galicia, NW Spain): A mineralogical study. *Mineral. Deposita*, 25, S42-S52.
- Deutsch, C. V. y Journel, A. G. (1992). *Geostatistical software library and user's guide*. Oxford University Press, Nueva York, 340 págs.
- Enadimsa (1987). *Programa de investigación sistemática de recursos minerales. Zona Noroeste. Finisterre-B2 Fervenza*. Informe anual 1987.
- Farias, P. (1992). El Paleozoico Inferior de la zona de Galicia-Tras os Montes (Cordillera Herciniana, NW de España). En J. G. Gutiérrez Marco, J. Saavedra e I. Rábano (eds.), *Paleozoico inferior de Iberoamérica*, Univ. Extremadura, 495-504.
- García del Amo, D. (1990). *Geología y metalogenia de la mineralización aurífera de Albores (La Coruña)*. Tesis de licenciatura, Univ. Complutense, Madrid, 141 págs.
- García del Amo, D.; Lunar, R.; Sierra, J.; Oyarzun, R. y Doblas, M. (1992). La franja aurífera de Xallas (Gali-

- cia occidental, España): las mineralizaciones de Albores dentro de un contexto tectónico y metalogénico evolutivo. *Bol. Geol. Min.*, 103, 109-119.
- Jahoda, R. (1987). *Geology and genesis of auriferous hydromagmatic breccias and related deposits in NW Spain*. Ph. D. Thesis, Univ. de Southampton, Reino Unido, 345 págs.
- Jiménez Espinosa, R. (1993). *Análisis geoestadístico de la distribución espacial de anomalías geoquímicas en exploración minera*. Tesis doctoral, Univ. de Granada, 442 págs.
- Journel, A. G. (1983). Nonparametric estimation of spatial distributions. *Math. Geol.*, 15, 445-468.
- Journel, A. G. y Huijbregts, Ch. J. (1978). *Mining geostatistics*. Academic Press, Londres, 600 págs.
- Julivert, C. M. (1971). Decollement tectonics in the Hercynian Cordillera of NW Spain. *Amer. J. Sci.*, 270, 1-29.
- Ponce de León, M. I. y Chourkroune, P. (1980). Shear zones in the Iberian arc. *J. Structural Geol.*, 2, 63-68.
- Porter, D. y Alvarez Morán, B. (1992). Mineralizaciones de oro del Noroeste de España. En J. García Guinea y J. Martínez Frías (eds.), *Recursos minerales de España*, Colección Textos Universitarios, Servicio de Publicaciones del CSIC, 849-860.
- Solow, A. R. (1986). Mapping by simple indicator kriging. *Math. Geol.*, 18, 335-352.

Recibido el 19 de julio de 1994  
Aceptado el 7 de febrero de 1995