

LEYENDA

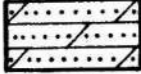
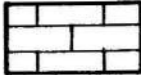
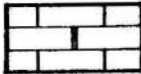
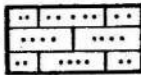
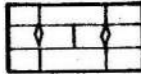
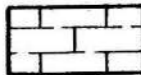
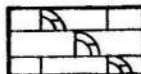
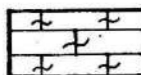
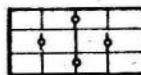
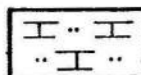
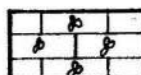
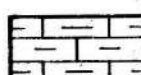
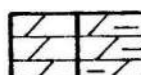
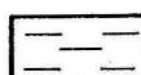

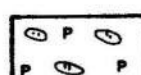
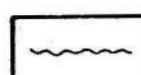
-  MARGAS ARENOSAS.
-  CALIZAS.
-  CALIZAS MUY DOLOMITICAS.
-  CALIZAS CON MATERIAL TERRIGENO NO CARBONATADO.
-  CALIZAS GRANULARES (Cristalinas).
-  CALIZAS MASIVAS.
-  CALIZAS ARRECIFALES.
-  CALIZAS ORGANOGENAS.
-  CALIZAS OOLITICAS.
-  ARENISCAS CALCAREAS.
-  CALIZA MICROORGANOGENA.
-  CALIZAS ARCILLOSAS.
-  MARGAS Y MARGAS ARCILLOSAS.
-  ARCILLAS.
-  CONGLOMERADOS CALCAREOS.
-  CONGLOMERADOS POLIMICTICOS.
-  DISCORDANCIA ESTRATIGRAFICA.

FIG. No 3

CDU: 624.131.1 : 519.2 (729.1)

APLICACION DEL ANALISIS DISCRIMINANTE EN LA CONFECCION DE UN MAPA PRONOSTICO

Ing. Willy R. Rodríguez M. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Ing. Rosa M. Valcarce O. Instituto Superior Minero Metalúrgico.

RESUMEN

En el presente trabajo se expone brevemente, el primer intento en nuestro país de confeccionar un mapa pronóstico para yacimientos minerales sulfurados en el occidente del país, a partir de la aplicación de las técnicas estadísticas multivariadas, demostrándose que la utilización del Análisis Discriminante permite resolver satisfactoriamente la clasificación de las zonas en estudio geólogo-geofísico. Se explican brevemente los aspectos teóricos del método de Análisis Discriminante y se discuten los resultados obtenidos al ser utilizados en la confección de un mapa pronóstico.

El desarrollo de las investigaciones geológicas en nuestro país y la introducción de nuevas técnicas automatizadas de procesamiento de la información, hacen necesario un estudio profundo y serio de las posibilidades de las nuevas metodologías en la resolución de tareas concretas dentro de las ciencias geológicas.

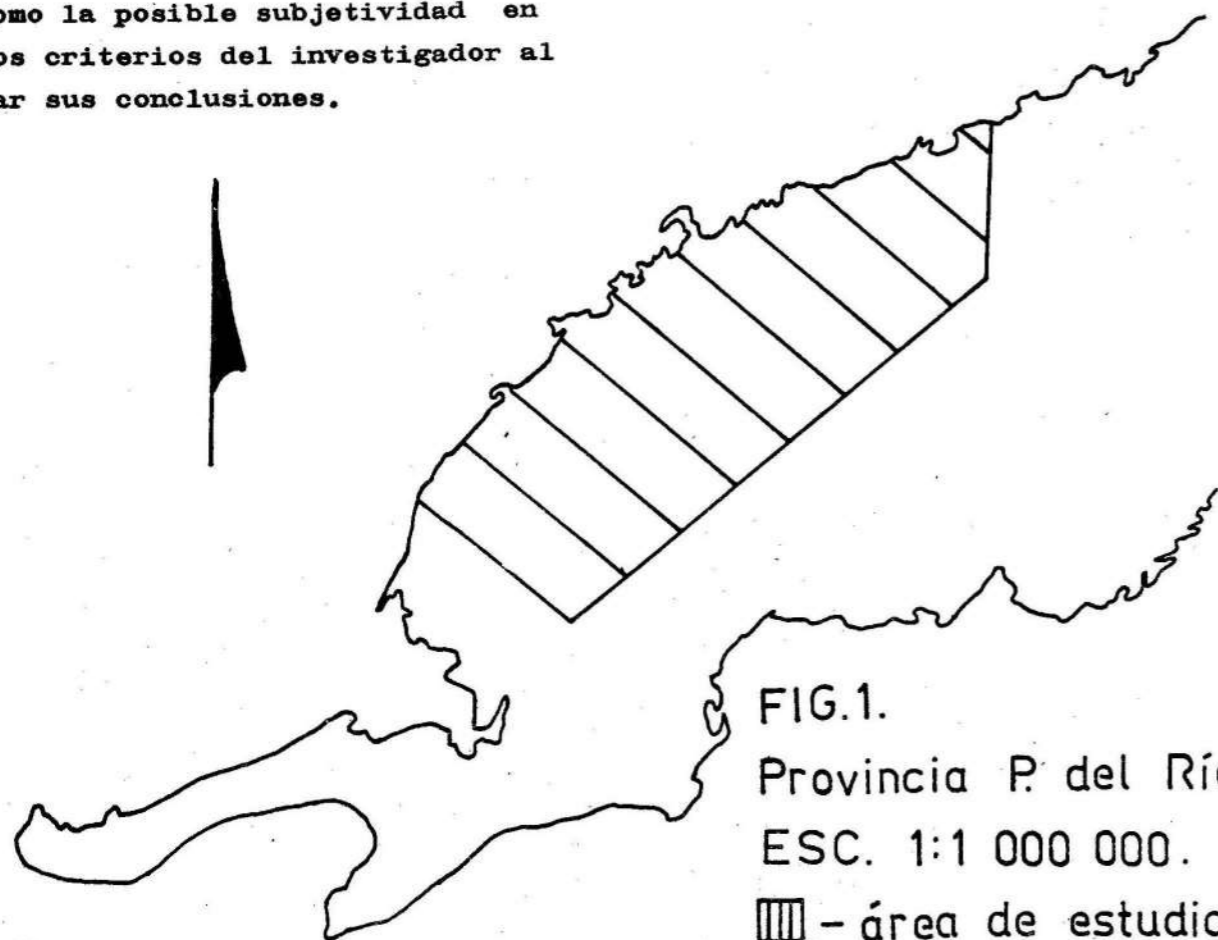
ABSTRACT

This work briefly accounts for the first attempt to plot a forecasting map for sulphide-bearing ore deposits located in the western part of Cuba, based on the application of multivariate statistical techniques, demonstrating that the use of the discriminating analysis enables the successful location of the zones under geolo-geophysical study.

The theoretical aspects of the method are briefly explained and the results obtained from its use, in the plotting of forecasting maps, are discussed as well.

En este artículo, se presenta el primer intento de utilizar las técnicas estadísticas multivariadas, concretamente el modelo de Análisis Discriminante, para proponer un mapa pronóstico de yacimientos minerales sulfurados en el occidente del país, (Fig. 1) demostrándose que estas técnicas reducen el tiempo de ejecución, así

como la posible subjetividad en los criterios del investigador al dar sus conclusiones.



La esencia general del trabajo se ha basado en los resultados obtenidos durante el desarrollo del Trabajo de Diploma. "Aplicación de la Diagnósis Matemática en la confección de un Mapa Pronóstico para Yacimientos Minerales Sulfurosos en el NO de la provincia de Pinar del Río", ejecutada en el ISPJAE durante el año 1981 y bajo la tutoría directa del RNDr, MSc, José R. Alfonso Roche. Ing. Geofísico y Profesor Titular del Dpto. de Geofísica de dicho Instituto. Por todo lo anterior y ante las limitaciones de espacio lógicas en una publicación de este tipo, en el artículo se exponen brevemente los aspectos generales de la metodología de trabajo, así como sus

posibilidades inmediatas, dejándose las particularidades del mismo en la referencia bibliográfica [4] que puede ser consultada por los interesados en los fondos bibliográficos del ISPJAE o de la EGPR respectivamente.

Aspectos Teóricos del Análisis Discriminante

El Análisis Discriminante tiene un alto poder resolutivo y permite clasificar muestras de origen desconocido como pertenecientes o no a determinadas zonas o poblaciones patrones. Entendemos como población patrón aquel conjunto de atributos que van a ser representativos de las zonas en que

se desea separar el área de estudio y cuyo comportamiento estadístico está claramente definido.

La secuencia de pasos del algoritmo dado por M. Dixon (1964), para la aplicación automática del Análisis Discriminante, empleada por nosotros en la confección del Mapa Pronóstico es la siguiente:

1. Sean g : No. de grupos o poblaciones patrones;
 n : No. de variables o atributos a emplear.

Las poblaciones estudiadas tienen una ley de distribución estadística normal.

2. Cálculo de la matriz de dispersión conjunta
3. Cálculo de las medidas comunes según

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{k=1}^g N_k \cdot \bar{x}_{jk}}{\sum_{k=1}^g N_k}$$

donde:

- $j = 1, 2, \dots, m$ (j indica el atributo)
 - n_k = tamaño de la muestra de la población K ésima ;
 - \bar{x}_{jk} = media de la variable j -ésima de la población K -ésima.
4. Se estima el coeficiente de distancia generalizada de Mahalanobis (D^2) como

$$D^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m d_{ij} \sum_{k=1}^g N_k (\bar{x}_{ik} - \bar{x}_i) (\bar{x}_{jk} - \bar{x}_j)$$

donde:

- d_{ij} = es un elemento de la inversa de la matriz de dispersión conjunta;
- N_k = tamaño de la muestra de la población K -ésima ;
- X_{ik} = media de la variable i -ésima de la población k -ésima ;
- X_{jk} = media de la variable j -ésima de la población K -ésima ;
- X_i = media común de la variable i -ésima ;
- X_j = media común de la variable j -ésima .

que nos da una medida de la separación entre las g medias multivariadas expresadas en unidades de la varianza común y mediante pruebas de hipótesis ($H_0: D=0$) podemos inferir sobre la igualdad de las poblaciones bajo estudio. Entonces, D^2 poseerá una distribución χ^2 con $V=m(g-1)$ grados de libertad (m : No. de atributos; g = No. de grupos o poblaciones bajo estudio) y podemos verificar la hipótesis de igualdad de valores medios entre los " g " grupos para los " m " variables o atributos, ya que asumimos que las poblaciones estudiadas son normales.

5. Calculamos la función discriminante para cada grupo o población patrón según

$$f_k = \sum_{j=1}^m C_{jk} \cdot \bar{x}_{jk} + C_{ok}$$

donde:

$$K = 1, 2, \dots, 6$$

$$C_{ik} = \sum_{j=1}^m d_{ij} \cdot \bar{x}_{jk}$$

$$j = 1, 2, \dots, m$$

$$C_{ok} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^m d_{il} \cdot \bar{x}_{jk} \cdot \bar{x}_{lk}$$

y entonces, al evaluar una muestra de origen desconocido, esta será clasificada como perteneciente al grupo o población para la cual su función discriminante (f_k) tomó el valor máximo al ser evaluada con los atributos correspondientes a la muestra antes mencionada.

Entendemos como función discriminante aquella que nos permitirá dividir el espacio p-multivariado (E^p) en tantas partes como poblaciones patrones bajo estudio tengamos en nuestro trabajo.

6. Se realiza el cálculo de la probabilidad asociada con la función discriminante que tomó el valor mayor.

$$P_L = \frac{1}{\sum_{k=1}^j \exp(f_k - f_1)}$$

donde:

f_1 = valor de la función discriminante que tomó el valor mayor ;

L = subíndice de la función discriminante mayor.

Ocurriendo que, a medida que $P_L > \frac{1}{6}$, mayor será la fiabilidad de la clasificación, disminuyendo a medida que $P_L \rightarrow \frac{1}{6}$ (P_L tiende a $\frac{1}{6}$)

Aplicación

Para desarrollar nuestro trabajo sólo fue posible consultar los mapas de los siguientes atributos, que fueron confeccionados a partir de trabajos geomorfológicos y geofísicos relacionados en la zona con anterioridad [4]

- Disección vertical (DV)
- Cotas Máximas (CM)
- . Variables geofísicas
- Contenido de Thorio (CTH)
- Componentes en cuadratura a 400 H₂ (Q400)
- Valor máximo entre las componentes a cuadratura a 400 y 2 300 H₂ (RQmax)
- Valor de la sumatoria de los valores de la componente en cuadratura mayores que 0,8 m (Σ RQ)
- Entropía aparente relativa (H_r)

Los mapas consultados se encontraban a escala 1:50 000 y todos los

atributos fueron referidos a una celda elemental de trabajo de 1 km², es decir coincidente con las cuadrículas de los mapas.

En cada mapa, se asignó al punto central de la celda elemental, el valor más característico de cada atributo. (Fig. 2)

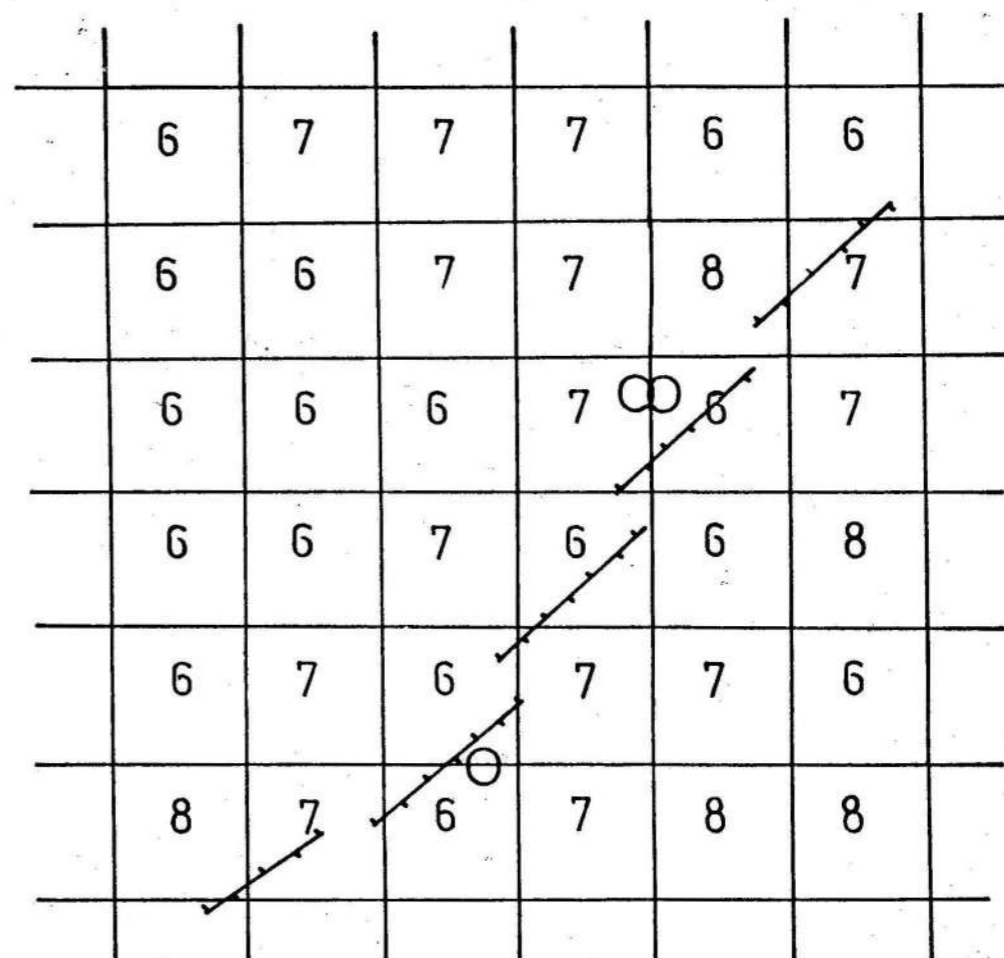


FIG.2. Parte del mapa construido para el CTh sobre la región.

6 - valor característico

O - yac. mineral

↗ - sistema de fallas

Una vez confeccionados los mapas de atributos sobre la región de estudio, se procedió a la selección de las zonas patrones necesarias, estableciéndose:

- ZPMA: Zona patrón mineral A. Aquella donde existían yacimientos minerales conocidos y ubicados en un relieve moderado (DV > 70 mts)

- ZPMB: Zona patrón mineral B. Aquella donde existían yacimientos minerales conocidos y ubicados en un relieve abrupto ($DV < 70$ mts)

- ZPnoM: Zona patrón no mineral. Obtenida mediante un muestreo aleatorio en toda el área y eliminando aquellas celdas elementales que coincidieran con yacimientos minerales conocidos.

Después de seleccionadas las zonas patrones se procedió a realizar un análisis estadístico univariado a los datos primarios, mediante el cual podemos comprobar:

- El tipo de distribución estadística que regía el comportamiento de cada atributo en las zonas patrones escogidas (normal o log normal).

- La independencia estadística entre las zonas patrones establecidas, es decir, se pudo conocer qué atributos presentaban un comportamiento estadístico diferente en cada zona patrón y por tanto cuales eran capaces de separar las zonas patrones establecidas de forma eficiente al aplicar sobre ellos el Análisis Discriminante.

Del análisis estadístico univariado concluimos que la entropía aparente relativa (H_r), no era una variable capaz de separar las zonas patrones en nuestra investigación.

Para aplicar el Análisis Discriminante se emplearon los siguientes sistemas automáticos [1] y [3].

- ADJSCR: Algoritmo que obtienen las funciones discriminantes óptimas para cada zona patrón.

- CLDISC: Algoritmo que permite clasificar todo el área bajo estudio empleando las funciones discriminantes obtenidas en el paso anterior.

Al finalizar esta etapa, contábamos con la clasificación de toda el área entre zonas: ZPMA, ZPMB y ZPnoM.

Debíamos comprobar la efectividad de dicha clasificación estadística; para lo cual comparamos nuestros resultados con los obtenidos con anterioridad por los investigadores Alfonso Roche y Astajov, los cuales emplearon técnicas de interpretación tradicionales con objetivos similares en el área de estudio. Pudimos constatar que:

1. Las áreas clasificadas en nuestro trabajo como minerales, coincidían generalmente con sectores propuestos como prospectivos por estos investigadores, aunque en algunos casos las nuestras eran algo más amplias.

2. Las áreas clasificadas como estériles, coincidían perfectamente con las áreas señaladas como tales por ambos autores.

También comparamos nuestros resultados con los criterios geólogo-geofísicos más importantes en el área y comprobamos que:

1. Todas las celdas elementales donde existían yacimientos minerales conocidos, fueron clasificados como tales.
2. Las áreas propuestas como prospectivas, en general se encuentran asociadas al sistema de fallas controladoras de la mineralización, propuesto para la zona occidental del país.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se demuestra la eficacia del Análisis Discriminante en la confección de un mapa pronóstico para yacimientos minerales.
2. Se ratifica la necesidad de una correcta selección de las zonas patrones y de los atributos a utilizar para lograr que la aplicación del Análisis Discriminante aporte resultados positivos.

REFERENCIAS

1. ALFONSO ROCHE, J.R.: "Tratamiento Numérico de Datos Geológicos". Curso de Post-Grado, ISPJAE, C. Habana 1981.
2. DAVIS, J.C.: *Statistics and Data Analysis in Geology*. New York, Wiley International Edition, 1973.

3. En general las áreas prospectivas se encuentran asociadas con anomalías significativas de los atributos empleados para la clasificación en nuestro trabajo.

Finalmente confeccionamos el Mapa Pronóstico Final No. [4] estableciendo órdenes de prioridad para las zonas minerales prospectivas, atendiendo a la coincidencia o no de nuestra clasificación estadística con los resultados de otros investigadores y los criterios geólogo-geofísicos.

3. Se recomienda la utilización de la geoquímica en estas investigaciones, por cuanto es un método muy eficaz para detectar zonas de interés para la mineralización sulfurosa. En nuestro caso no fue posible su empleo por carecer de la información necesaria.
4. Se recomienda en la práctica de las investigaciones geológicas complejas los métodos automáticos de procesamiento de la información como vía para hacer más económicas y efectivas las mismas.

3. IBM: "System/360 Scientific Subroutine Package, Version III. IBM Corp. 1970.
4. RODRIGUEZ MIRANDA, W.: "Aplicación de la Diagnósis Matemática en la confección de un Mapa Pronóstico para Yacimientos Minerales Sulfurosos en el NO de la provincia de Pinar del Río. Trabajo de Diploma, ISPJAE, C. Habana, 1981.