

ESTADISTICA APLICADA A LA SELECCION DE AREAS FAVORABLES PARA LA EXPLORACIÓN MINERA

Prof-Est: María Rosa Chillemi de Ferrero
Prof: Elina Ortega de Rey
Lic.: María Matar de Sarquís
Instituto de Investigaciones Mineras
Facultad de Ingeniería
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN

RESUMEN

La erraticidad que caracteriza todo fenómeno natural, en especial la formación de depósitos mineros, juega un rol crítico en el planeamiento minero.

A pesar de la resistencia en aplicar las técnicas estadísticas y geoestadísticas que permiten la asociación entre las variables estimadas extraídas y procesadas, la realidad está forzando a apoyarse cada vez más en ellas.

La información Estadística tiene como objetivo impedir la vinculación artificial de sectores intrínsecamente diferentes, y permitir una interpretación más confiable de la realidad. Con este propósito, a partir de datos de la Secretaría de Minería de la Provincia de San Juan, República Argentina, se han recolectado: las ubicaciones, cotas e información geológica de todos los yacimientos de minerales registrados en el Departamento Iglesia de dicha provincia, para obtener resúmenes estadísticos y gráficos.

1. INTRODUCCION

La introducción de las Técnicas Estadísticas a la Exploración de Yacimientos Mineros se remonta a 40 años atrás, cuando aparecieron los primeros estudios del comportamiento pseudoaleatorio de las variables regionalizadas (Journel, 1978). D. Krige, T. Matheron y A. Journel han sido precursores en el tratamiento Geoestadístico de un yacimiento minero y sus teorías fueron aplicadas con mucho éxito para estimar las leyes de mena.

En los últimos años, se ha extendido el uso de distintas técnicas estadísticas para modelar el comportamiento de los yacimientos. En base a estos antecedentes, se realiza la investigación con la información disponible en nuestra provincia.

En este trabajo cubrimos el aspecto descriptivo y abordamos el análisis del vecino cercano.

1. 1 POBLACIÓN Y MUESTRAS

La población considerada corresponde al Departamento de Iglesia, de la provincia de San Juan. Las coordenadas que delimitan dicha área son:

Coordenadas Extremas	Longitud	Latitud
Nordeste	-70°	-28°
Sudeste	-70°	-31°
Noroeste	-69°	-28°
Sudoeste	-69°	-31°

El extremo Sudeste corresponde a la localidad: Valle de Iglesia y el extremo Noroeste a la localidad: Cerro de Olivares. El objetivo de introducir estas localidades extremas, es unificar el rango de las muestras de los distintos minerales.

Las muestras se obtuvieron de la información disponible perteneciente a la Secretaría de Minería de la provincia. Los puntos muestrales corresponden a la localizaciones de los yacimientos de los siguientes minerales:

carbón (crbn), hierro (hrr), sulfato de sodio (suna), fluorita (flrt), sulfato de aluminio (sual), plomo (mnpb), galena (galn), plata (plat), cobre(cobr), wolframita (wfn), tantalita (tml), minerales de tungsteno (mnwo), minerales de antimonio (mnsb), azufre (azrf), minerales de bismuto (bsmo), ceresita (crst), baritina (brtn), bentonita (bntn), minerales de arsénico (arsn).

La información es multivariante. Las variables definidas a partir de la lectura de las fichas mineras registradas son:

X : Longitud (en grados)

Y : Latitud (en grados)

Z : Altura sobre el nivel del mar (en metros)

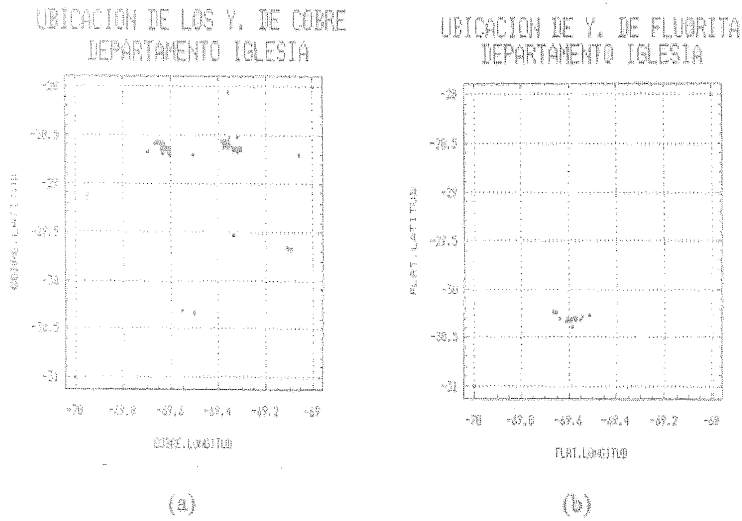
M: Mineral

R : Dato geológico (Tipo de roca: andesita, granito, lutita, etc)

2. ANALISIS

2.1 DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN X,Y

Para visualizar la ubicación geográfica de los yacimientos de cada mineral, se construyen los diagramas de dispersión con las variables Longitud (X) y Latitud Y). Los siguientes diagramas corresponden al cobre y fluorita.



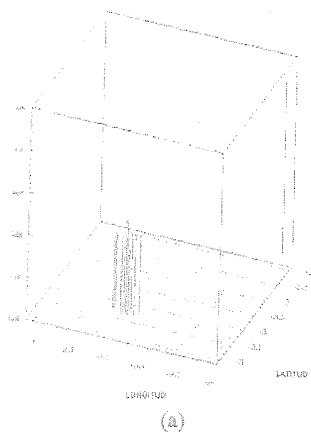
En (a) se observa que las localizaciones están agrupadas en dos racimos, al norte de la región. En (b), las localizaciones se agrupan en uno solo, al sur.

Los diagramas de dispersión juegan el rol de mapas de ubicación de los yacimientos. Permiten observar, en forma rápida, su distribución en el terreno, y así el geólogo constata la información estadística con la de anomalías mineras.

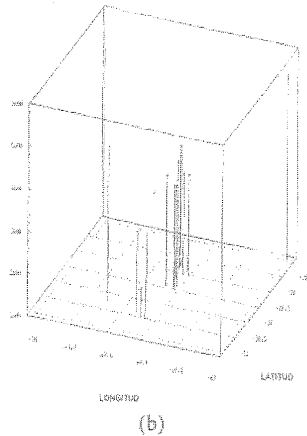
2.2 DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN X,Y,Z

La altura donde se encuentra el yacimiento es importante para la selección del área favorable para la exploración minera. Los diagramas de dispersión tridimensionales de fluorita y plomo muestran a qué altura se encuentran los yacimientos en una determinada área.

ALTURA DE LOS YACIMIENTOS DE FLUORITA
DEPARTAMENTO IGLESIA



ALTURA DE LOS YACIMIENTOS DE PLOMO
DEPARTAMENTO IGLESIA

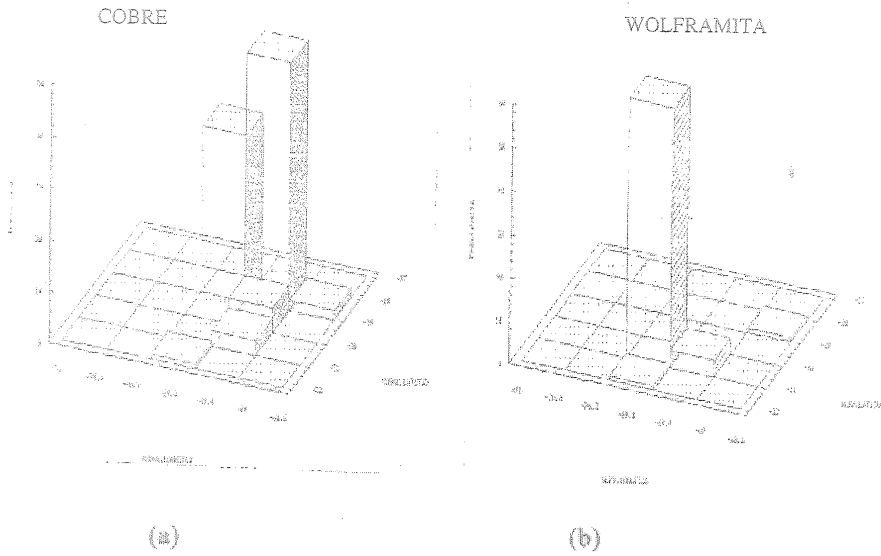


En (a) hay poca dispersión en X,Y,Z lo que indica que los yacimientos están ubicados todos en una subárea a una altura similar. No ocurre lo mismo en (b) donde las ubicaciones se dispersan y la alturas también. Las alturas de las localidades extremas que aparecen en los gráficos sirven para ubicar la altura relativa del yacimiento en el área considerada.

2.3 GRÁFICOS DE FRECUENCIA

Con el objeto de construir curvas de isodensidad de yacimientos (Davis, 1986), se analizan los histogramas tridimensionales de frecuencia de yacimientos según ubicación geográfica (variables X,Y).

En el área total delimitada por las coordenadas extremas mencionadas en 1.1, se construye una grilla regular de 5x5 intervalos (25 subáreas). Para cada mineral se grafica el histograma. Estos son útiles para elegir las subáreas de mayor concentración de mineral. Los siguientes gráficos corresponden a los minerales de cobre (a) y wolframita (b).



La información respecto a la densidad de yacimientos que surge de los mismos es poco precisa. Las subáreas son demasiados extensas.

Se sugiere tomar subáreas de 500m x 500m, formando una grilla de 30x63 intervalos (1890 subáreas). Para el punto medio de cada subárea se calcula su frecuencia absoluta (número de yacimientos).

La distribución del cobre es

NOMBRE DEL MINERAL : COBRE		
LONGITUD	LATITUD	FRECUENCIA
-69.6	-30.69	1
-69.52	-30.373	1
-69.52	-30.294	2
-69.12	-29.659	4
-69.36	-29.50	2
-70.00	-29.341	1
-69.6	-28.706	3
-69.44	-28.786	1
-69.52	-28.706	1
-69.68	-28.706	3
-69.28	-28.706	1
-69.44	-28.627	1
-69.28	-28.627	16
-69.36	-28.627	18

-69.68	-28.627	1
-69.6	-28.627	16
-69.6	-28.548	3
-69.68	-28.548	7
-69.36	-28.548	12
-69.28	-28.548	1
-69.36	-28.071	1

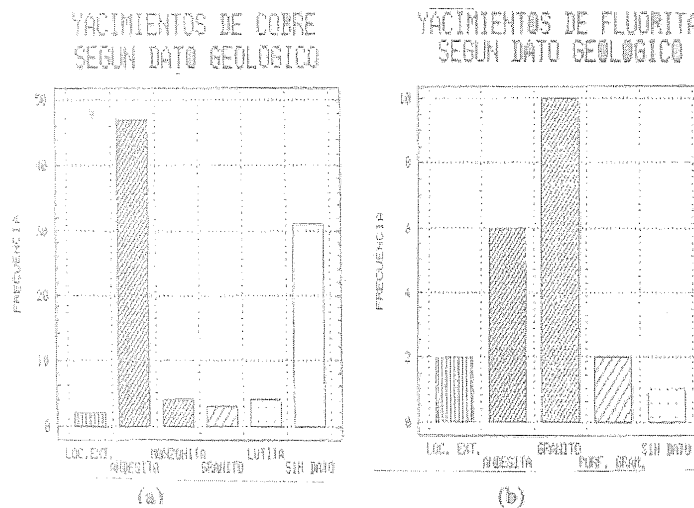
Las subáreas que no figuran en la tabla tienen frecuencia cero.

A continuación se presenta el gráfico de curvas de isodensidad correspondientes. Las mayores frecuencias se encuentran en la parte interior de las curvas, disminuyendo éstas hacia los bordes.

2.4 COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES CUALITATIVAS

Las variables M: mineral y R: Dato geológico, definidas en 1. 1, se estudian con el objeto de dar información del tipo de roca en la que se encuentra el mineral.

La escala de medición de éstas es nominal, por lo tanto un gráfico adecuado es un diagrama de barras, construido para cada mineral. Se presentan para fluorita y cobre.



Es más probable encontrar cobre en una andesita que en un granito. Lo contrario ocurre en los yacimientos de fluorita. Estas observaciones son de utilidad en el estudio geológico de la zona.

2.5 DISTRIBUCION DE LOS YACIMIENTOS DE MINERALES

Es de interés conocer de qué forma están distribuidos los yacimientos sobre la superficie. Bajo la suposición de aleatoriedad espacial completa (Cressie, 1993) la distribución de puntos tiene un patrón aleatorio que puede ser modelado con una ley de Poisson. El patrón de puntos en un mapa puede ser convenientemente clasificado en tres categorías: regular, aleatoria o en racimos.

Un método para el análisis es el "Vecino Cercano" (Davis, 1986). Los datos usados son las distancias entre los puntos más cercanos. Este análisis compara las características del conjunto de distancias observadas entre pares de puntos cercanos con aquellos que se podría esperar si fuesen aleatoriamente ubicados.

Trabajamos con $\bar{d} = \sum_1^n di / n$, distancia media observada entre vecinos mas cercanos. Llamamos a $E(\bar{d}) = \bar{\delta}$ distancia media esperada entre vecinos más cercanos.

El estadístico de análisis es $2\sqrt{\lambda} \sum_1^n di / n$ con distribución $N(1, (4-\pi)/n\pi)$ (Cressie, 1993), donde $\lambda = n/A$ es la densidad de puntos en el área A, n es el número de puntos muestrales.

Usando este estadístico y su distribución, se demuestra que:

$$E(d) = 1/2 (A/n)^{1/2}, \text{ luego } \bar{\delta} = 1/2 (A/n)^{1/2} \text{ y } \sigma^2 \bar{d} = (4 - \pi)A/4n^2$$

Se define $R = \bar{d}/\bar{\delta}$ que coincide con el estadístico $2\sqrt{\lambda} \sum_1^n di / n$.

El estadístico de los vecinos cercanos puede tomar valores: $R < 1$ para una distribución clustering, $R = 1.0$ para una distribución aleatoria de puntos y $R > 1$ para una distribución regular.

A continuación, se presenta el análisis para el plomo. El número de yacimientos es $n = 29$. Las distancias mínimas calculadas en un área $A = 432 \text{ km}^2$ tienen una media observada de

$$\bar{d} = 0.02168$$

La distancia media esperada es de:

$$\bar{\delta} = 1/2(A/n)^{1/2} \quad \bar{\delta} = 1/2 \left(\frac{432}{29} \right)^{1/2}$$

$$\bar{\delta} = 1.929$$

Utilizando el estadístico $Z = \frac{\bar{d} - \bar{\delta}}{0.26\sqrt{A/n}} \sim N(0,1)$

se prueba la hipótesis de aleatoriedad $H_0: \bar{\delta} = \bar{d}$ vs $H_1: \bar{\delta} \neq \bar{d}$

El valor de $Z_{\text{observado}} = -10.23$, por lo que se rechaza la aleatoriedad en la distribución de los yacimientos de plomo.

Se calcula R para comprobar si el agrupamiento es regular o en racimos. El estadístico $R = 0.0112$, lo que indica que el patrón se clasifica en racimos o clusters.

Este análisis se realiza para cada mineral cuyo número de datos es suficiente, resultando en todos los casos patrón clustered.

Se elabora un diagrama de dispersión X,Y para todos los minerales en forma conjunta y el gráfico de isodensidades de frecuencia de los mismos, lo que permite caracterizar el Departamento de Iglesia según la ubicación de los yacimientos.

CONCLUSIONES

El aporte de este trabajo estadístico es de interés para la confección del mapa geológico de la Provincia de San Juan. Los registros de los yacimientos no contenían el valor de la ley mena, lo que hubiese posibilitado aplicar la teoría geoestadística. Las características de las variables: cualitativas y espacialmente dependientes, imposibilitó ajustar distribuciones teóricas de probabilidad clásicas.

REFERENCIAS

- Cressie, N. "Statistics for spatial data". Editorial: John Wiley and Sons. 1993
- David, M. "Geoestatistical Ore Reserve Estimation". Editorial: Elsevier Scientific Publishing Company 1977
- Davis, J. "Statistics and Data Analysis in Geology". Editorial: John Wiley and Sons. 1986
- Journel and Huijbregts. "Mining Geostatistics" Editorial: Academic Press. 1978