

Estudio de Simulación Condicional aplicado al cálculo del espesor de la sobrecarga en un yacimiento de Nitrato y Yodo

Introducción:

Los yacimientos de caliche tienen una formación más o menos tabular, de unos pocos metros de espesor, y se emplazan paralelo y muy cercano a la topografía del terreno. Están cubiertos por una capa de sobrecarga (zona fuertemente lixiviada) de espesor variable. El contacto entre la sobrecarga y el mineral no es claro y sólo puede ser detectado en la etapa de producción. El subyacente del mineral corresponde a una roca de andesita y su límite con el mineral corresponde mas bien a un contacto geoquímico, el cual no es visual. Dentro del espesor mineralizado es posible encontrar zonas que han sido lixiviadas. La calidad del mineral depende de las leyes de nitrato de sodio y yodo.

Los yacimientos son explotados por minería a cielo abierto con unidades de explotación de 25m x 25m entre el hanging-wall (contacto sobrecarga mineral) y el foot-wall (espesor explotado). El hanging-wall es determinado por el contacto visual de la sobrecarga con el mineral, y el foot-wall es determinado por las restricciones de operación mencionadas mas abajo.

Los diferentes parámetros y restricciones considerados en la explotación de caliche se resumen a continuación.

- La ley media de nitrato debe ser mayor o igual que 6%
- La ley media de yodo debe ser mayor o igual que 300 ppm
- El espesor mínimo de mineral explotable debe ser mayor o igual que 1.5 m
- El espesor de la sobrecarga no debe superar los 3 m
- La razón sobrecarga mineral debe ser menor que 1

Este artículo tiene por objetivo mostrar cómo se sensibiliza el cálculo del espesor de la sobrecarga en un yacimiento en explotación, para ayudar a la gente de operaciones minas a seleccionar las unidades de explotación que cumplen con la restricción de espesor de sobrecarga

Metodología

Este trabajo fue realizado de acuerdo a los pasos descritos a continuación

1) Importación de los datos

Los datos consisten:

- Información de puntos topográficos obtenidos con GPS
- Interpolación de la topografía de superficie en una grilla de 5m x 5m
- Información de mapeo de sondajes (espesor de sobrecarga)

2) Simulación condicional del espesor de la sobrecarga:

- Anamorfosis gaussiana de los datos de espesor de sobrecarga
- Análisis variográfico del espesor de sobrecarga
- Simulación condicional usando bandas rotantes

Desarrollo del trabajo

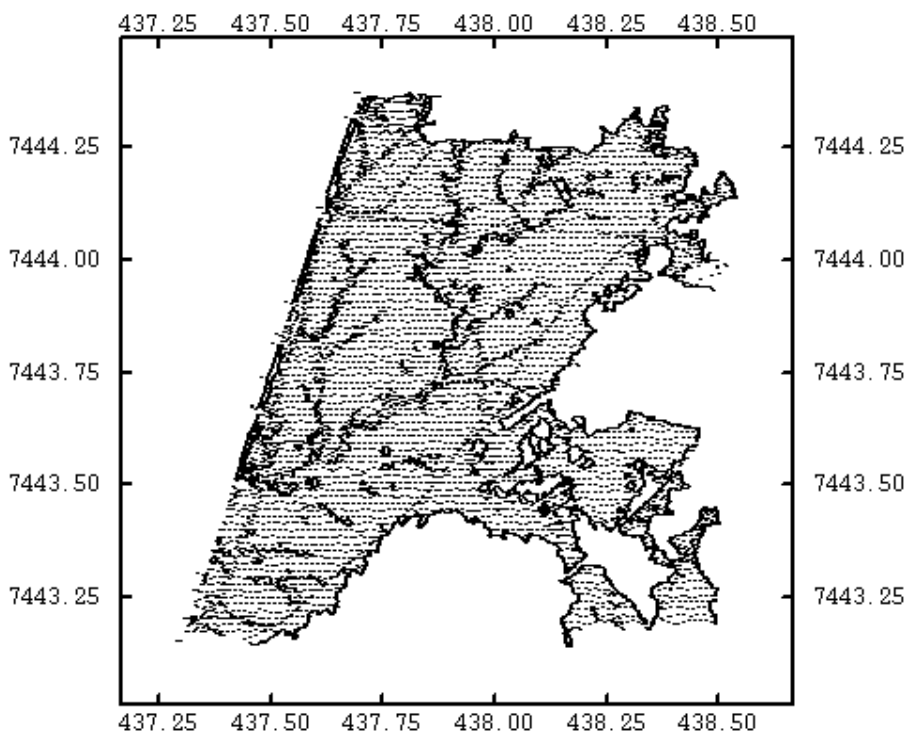
Modelado de la topografía de superficie

14286 puntos topográficos, medidos con GPS, han sido usados para interpolar la topografía de superficie del área en estudio, sobre una grilla regular de 5m x 5m que cubre el área de interés (ver figura 1). Se ha seleccionado esta área para realizar el estudio debido a que se tiene una alta densidad de perforación de sondajes (grilla de $25\sqrt{2}$ m). La grilla se definió de la siguiente manera:

Desde coordenada X=437562.5 a 438407.5 y desde coordenada Y=7443587.5 a 7444357.5, lo que da un número total de nodos a lo largo de X e Y de 170 y 155 respectivamente

La elevación es interpolada usando kriging lineal con una ventana móvil y una vecindad de búsqueda por octante con un punto por sector; es decir, se usó un mínimo de una muestra y un máximo de 8 muestras. Debe recordarse que el modelo de variograma lineal no está realmente asociado a la estructura de correlación espacial de la superficie topográfica. En este caso una alta densidad de información es un método robusto para obtener una interpolación confiable. El mapa con los valores de superficie interpolados se muestra en la figura 2.

Figure 1: Mapa que muestra los 14286 puntos topográficos medidos con GPS



Simulación Condicional del espesor de la sobrecarga

La disposición del depósito conlleva una deriva en la superficie y en el contacto de la sobrecarga con el mineral. Para modelar directamente la superficie de contacto entre la sobrecarga y el mineral sería necesario aplicar un modelo no estacionario con una deriva y un residuo en torno a dicho modelo. En vez de ello, se ha preferido usar el espesor de la sobrecarga (obtenida del mapeo de los sondajes) el cuál tiene un comportamiento más estacionario. La ventaja es que podemos usar el variograma en vez de la covarianza generaliza para variables no estacionarias, las que son más delicadas de ajustar con los datos.

Los datos empleados para simular las variables (espesor de la sobrecarga y superficie de contacto con el mineral) corresponden a un subconjunto de la base de datos completa (460 sondajes), como se muestra en la figura 3. Los que quedan dentro del área de interés (zona mejor informada), en grilla de 50 metros con un sondaje central, se muestran en la figura 2, donde aparecen sobre el mapa topográfico. En este caso se han seleccionado para el análisis de los datos aquellos sondajes que aparecen con un doble círculo y un círculo lleno en la figura 3, los que en total suman 394 datos.

Figure 2: Mapa de la superficie topográfica del área de interés

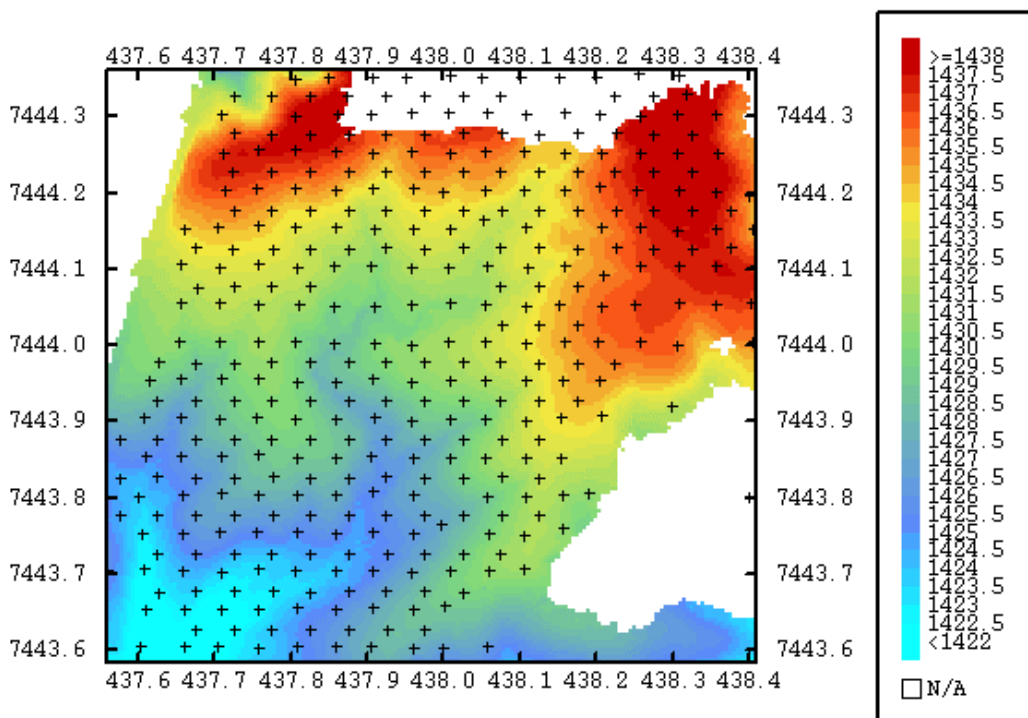
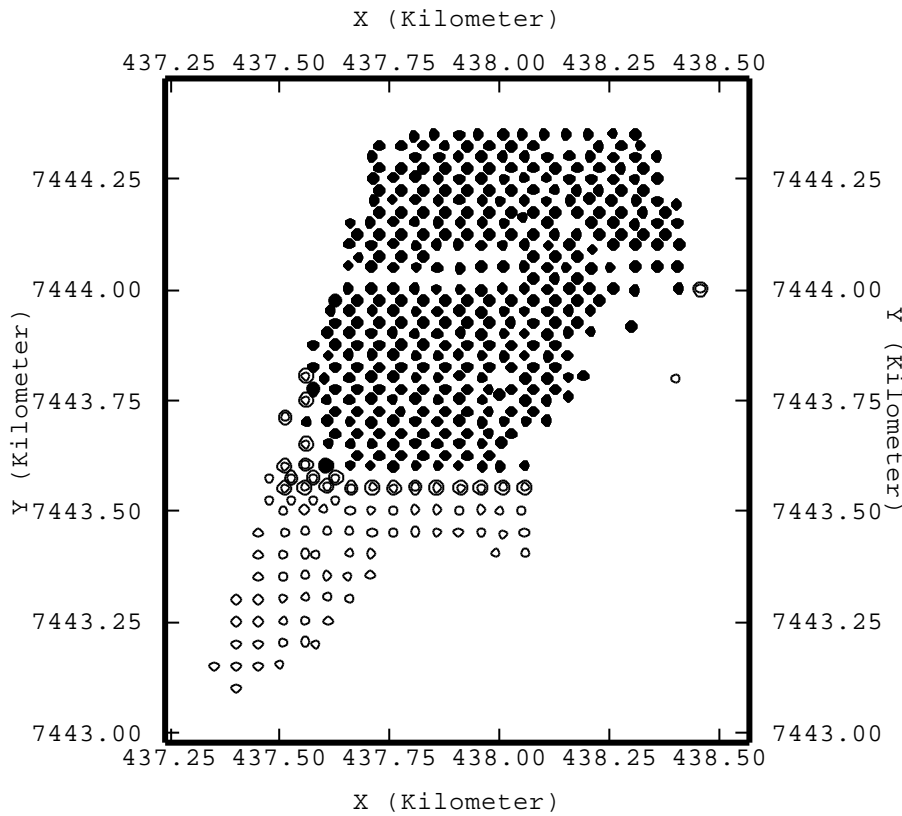


Figura 3: Mapa de localización de sondajes (con círculo vacío: todos los datos, círculo vacío con doble línea: datos retenidos para análisis, círculo lleno: datos dentro del área de interés)



Análisis de los datos

La distribución del espesor de la sobrecarga es claramente no gaussiana, como se muestra en la figura 4.

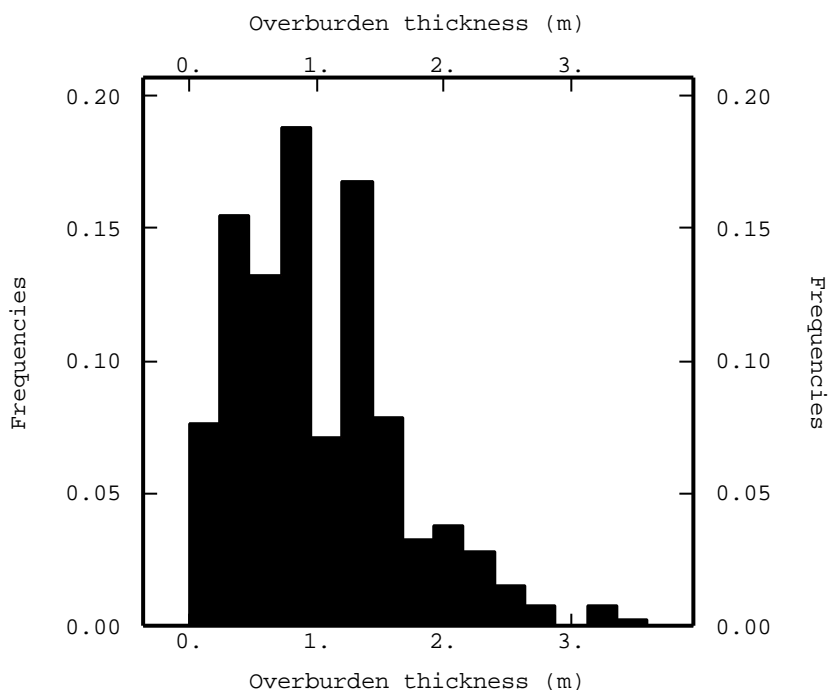
Como las técnicas de simulación producen una distribución gaussiana, es necesario transformar los datos a una distribución gaussiana. Después de la simulación, los valores simulados deben ser “destransformados” con el objeto de obtener su real distribución. Esta “destransformación se logra usando una función de Anamorfosis j , la que convierte los valores gaussianos, la que convierte los valores gaussianos Y en los valores brutos Z .

$$Z = j(Y)$$

Esta función (ver figura 5) es biyectiva y es modelada por medio de un desarrollo en polinomios ortogonales (polinomios de Hermite). El histograma experimental puede luego ser comparado con el histograma teórico, que ha sido calculado usando la función de anamorfosis gaussiana, como muestra la figura 6.

El ajuste es aceptable considerando que el histograma es sensible a la elección de los intervalos de clases.

Figure 4: Histograma del espesor de la sobrecarga



```

Isatis
Sondajes/datos de cotas(area de interes)
- Variable #1 : potencia sobrecarga
Nb. samples :      394
Minimum      :          0
Maximum      :         3.6
Mean         :    0.996574
Std. Dev.    :    0.640645
    
```

Figure 5: Función de Anamorfosis para el espesor de la sobrecarga

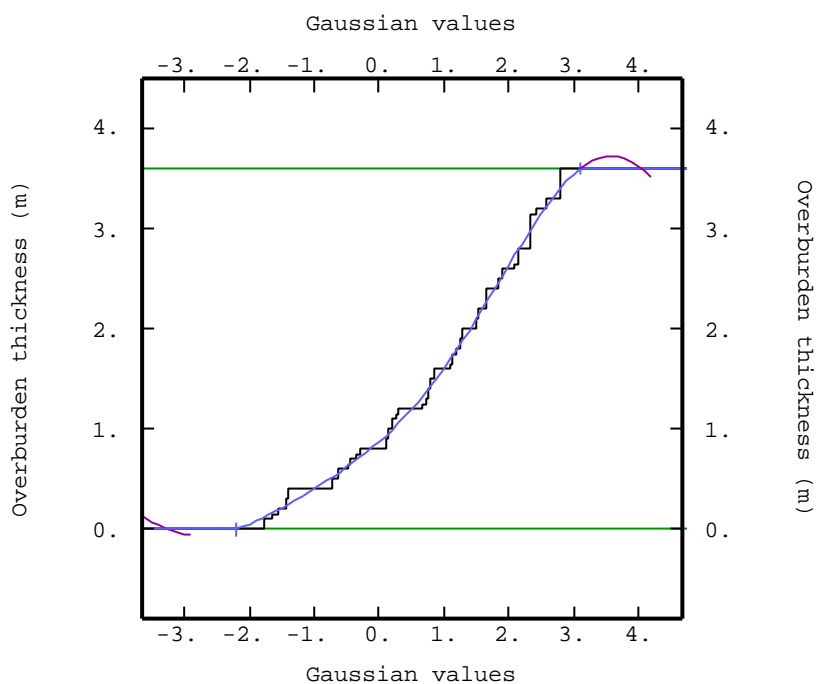
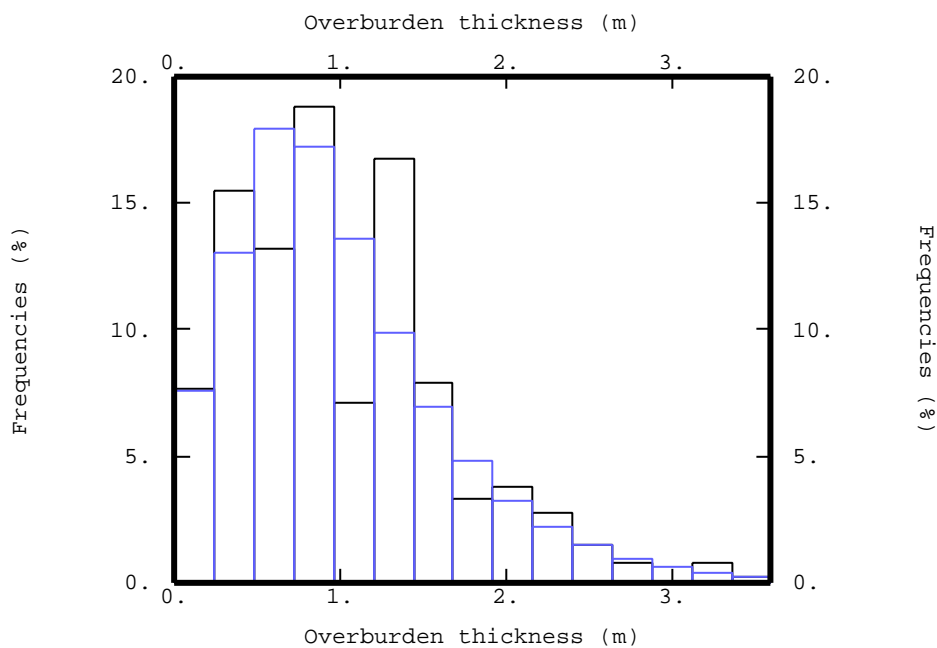


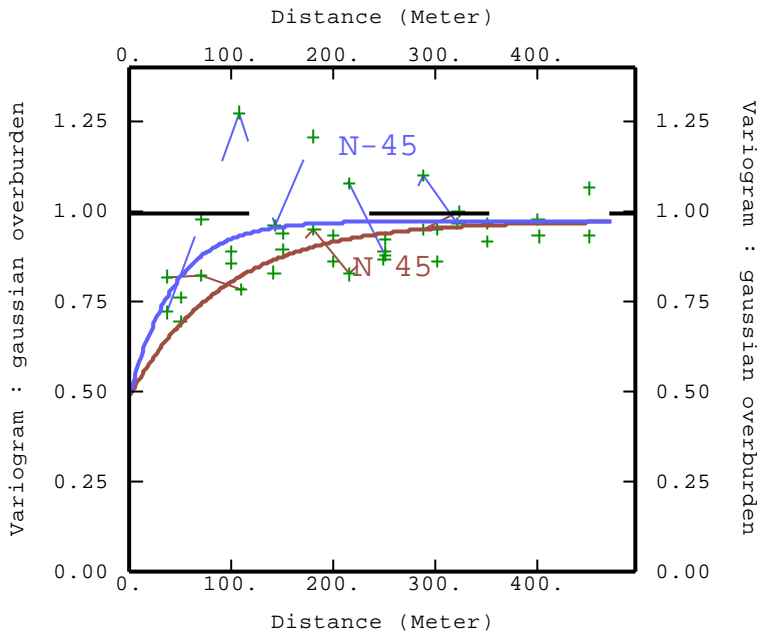
Figure 6: Comparación del histograma real (negro) con el histograma teórico (azul)



Análisis Variográfico del espesor de la sobrecarga

Sobre los datos gaussianos se calcula el variograma en la cuatro principales direcciones del plano, según los parámetros mostrados en la figura 7.

Figure 7: Modelo de Variograma de los valores gaussianos del espesor de la sobrecarga



```

Isatis
Sondajes/datos de cotas(area de interes)
- Variable #1 : gaussian thickness
Experimental Variogram(s) : 4 direction(s)

Model : 2 basic structure(s)
Global rotation = (Az= 55.00, Dp= 0.00, Pt= 0.00)
S1 - Nugget effect Sill = 0.4875
S2 - Exponential Ranges = (300m,130m)
      Sill = 0.487
    
```

Resultados

El espesor es simulado usando el método de las bandas rotantes con 500 líneas. En la figura 8 se muestra una simulación del espesor de la sobrecarga, y en la figura 9, es representada una simulación de la elevación del contacto sobrecarga mineral, el cuál es obtenido por sustracción del espesor de la sobrecarga a la superficie topográfica.

Promediando el espesor de la sobrecarga en las unidades de explotación de 25m x 25m obtenemos la siguiente estadística (tabla 1):

Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
0.093	2.633	0.965	0.430

Tabla 1: Estadística del espesor de sobrecarga simulado (m)

Esto significa que cada unidad explotable tiene una sobrecarga inferior al límite de 3 metros en la zona estudiada.

Figura 8: Simulación del espesor de la sobrecarga (m)

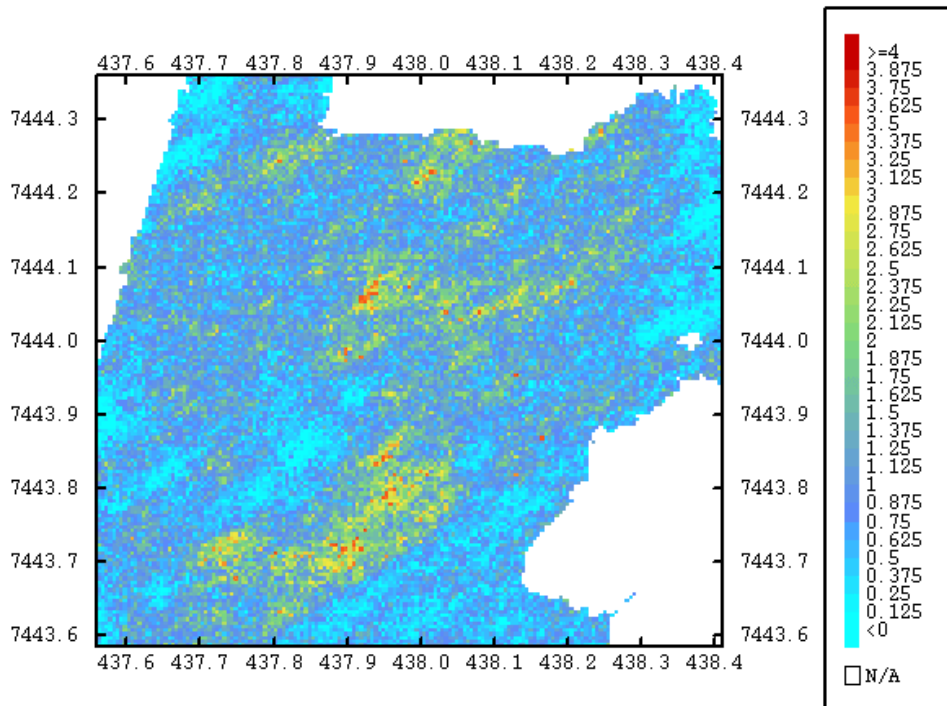


Figura 9: Simulación de la elevación del contacto sobrecarga-mineral (m)

