



# MODELAMIENTO GEOLÓGICO DE ISOLEY DE CORTO PLAZO EN YACIMIENTO VETIFORME DE ORO

**Víctor Manuel Cárdenas Aguilera**

**Profesor Guía:** MsC. Abraham Elías González Martínez  
**Profesores Comisión:** MsC. Liubow González Martínez  
Sr. Ramiro Ulises Bonilla Parra

## Resumen.

En el presente trabajo se aborda el modelamiento geológico de isoley de corto plazo, en yacimiento de vetas de oro. Se define modelo geológico de isoley como la representación tridimensional de un volumen rocoso con una ley definida. La metodología implica la recopilación de datos mediante muestreo de canaletas y mapeo geológico detallado, digitalizando la información en software especializado. Se genera un modelo tridimensional dividiendo la veta en zonas de alta y baja ley, los cuales son entregados para nuevos cálculos de estimación. Se destacan beneficios como la optimización de operaciones, maximización de recursos y reducción de costos. La discusión resalta la influencia del nuevo modelo en la planificación a largo plazo, afectando reservas minerales, calidad de minerales, ubicación de depósitos y costos operativos. En conclusión, se obtienen mejoras en la interpretación y control de la extracción, así como la capacidad de proporcionar información mejorada a la planta de procesamiento. En resumen, el artículo destaca la importancia del modelamiento geológico de corto plazo para decisiones eficientes en la explotación de vetas de oro, enfatizando la constante actualización del modelo con nuevos datos para mejorar la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

**Palabras Claves:** Modelamiento geológico, muestreo de canaletas, yacimiento vetas de oro, planificación minera.

## 1 Introducción

En términos generales, un modelo corresponde a una representación de las características esenciales de algún objeto o evento que existe en la realidad. Se puede definir un modelo geológico de isoley como la representación tridimensional de un volumen rocoso con un rango de ley definido para un yacimiento y explicar la distribución de ley dentro del depósito.

Henley & Berger (1993) Los modelos constituyen redes de información que se deben actualizar acorde al aporte de nuevos datos, por lo que el modelamiento es un proceso cíclico y repetitivo, producto de nuevas ideas o entrada de nueva información.

Una forma de efectuar el modelamiento geológico es mediante la interpretación en dos dimensiones de la información básica en secciones y plantas, para posteriormente, a partir de estas, generar el volumen tridimensional del yacimiento.

Las secciones y plantas se pueden construir en papel o directamente en el computador y deben visualizar los parámetros geológicos del cuerpo.

## Objetivo General

- Aportar más información y certeza de leyes de extracción con la generación de un modelo geológico de isopley de corto plazo.

## Objetivo Específicos

- Recopilar nuevos datos geológicos.
- Estudio de la mineralogía y petrología.
- Definir metodología para generar modelo de corto plazo.
- Confeccionar modelo geológico 3d de isopley de corto plazo utilizando software especializado.

## 2 Definición del Problema

El Modelamiento geológico de largo plazo de cuerpo mineralizados tipo vetas de oro, realizado a partir de sondajes, tiene niveles de incertidumbre altos, ya que se trabaja con mallas de sondajes que tienen distancias de 30m a 10m entre sondajes, dependiendo del proyecto, esto genera que se tenga poca cantidad de muestras para el modelamiento y para las estimaciones geoestadísticas de ley, litología, alteración, densidad y geometalúrgicas. Además, el oro en algunos casos no presenta una distribución espacial homogénea y también se tiene el llamado efecto pepita, que genera leyes muy altas y se requiere análisis geoestadístico.

Esto afectan las proyecciones de la ingeniería de largo plazo de tonelaje y ley de las zonas mineralizadas a explotar y los planes de corto plazo de extracción.

Esta falta de información hace necesario analizar y evaluar periódicamente el modelo de largo plazo, ya sea con campañas infill o con el aporte de Geología de Producción con nuevos datos litológicos, mineralógicos y estructurales, realizando modelos de corto plazo ya sea de isopley o estructurales.

## 3 Metodología

### 3.1 Recolección de datos

El muestreo de canaletas es el método más adecuado para sistema de vetas, en un proyecto minero es un proceso importante para obtener muestras representativas de una frente y evaluar su contenido.

El muestreo de canaleta se realiza en cada avance de

forma sistemática.

El procedimiento en general es el siguiente.

a) Ubicar el canal de muestreo: Se debe tener en cuenta un punto de referencia, ya sea punto o delta topográfico.

b) Marcar el canal: Antes de marcar el canal se realiza una limpieza del área a muestrear o, en su defecto, martillar la parte superficial del canal para eliminar cualquier contaminación de la muestra.

Respetando los procedimientos de cada compañía, los cuales definen largos máximos, ancho y profundidad de la muestra.

c) Toma de la muestra: La obtención de las muestras está a cargo del muestrero y/o ayudante, quién toma la muestra con un cincel o taladro con cincel en el lugar señalado por el geólogo, el cual analiza y define de acuerdo a mineralogía, estructuras y litología.

De un canal se pueden obtener dos o más muestras si dan los siguientes casos:

I. Si la veta presenta variaciones mineralógicas (Ej. Veta de cuarzo, veta de sulfuros, veta de cuarzo-sulfuros, etc.).

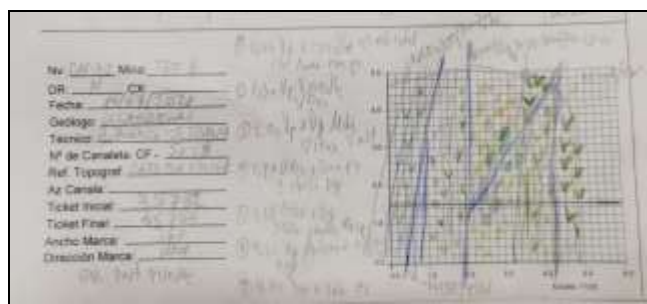
II. Si hay dominios geológicos diferentes (Ej. Veta, alteración, falla, diques, diseminados, entre otros).

III. Si hay presencia de bloques de roca estériles en áreas mineralizadas mayores a 10cm.

IV. Si el canal comprende sectores divididos por una falla.

Debe ser continua y uniforme, para que tenga valor como un sondaje dentro de la estimación.

Cada muestra debe ser almacenada y etiquetada para entregar al laboratorio químico respetando los controles QA-QC.



**Figura 1. Cartilla de mapeo de frente.** Este formato varía dependiendo la compañía minera, en general los datos son nombre del sector (nivel, drift, cruzado) fecha, geólogo N° de canaleta, número de muestra(ticket) y descripción de cada muestra, junto a un dibujo a escala de la labor.

### 3.2 Interpretación de datos

Se realiza mapeo geológico en detalle donde se debe medir el rumbo y manteo de las estructuras como vetas, fallas, familias de diaclasas, tipo de roca, alteración y mineralización en cada frente de avance. Con simbología definida según el proyecto.

También se tiene un plano topográfico del nivel donde se interpreta la información de cada avance, dibujando la zona mineralizada, litología y estructuras reconocidas.

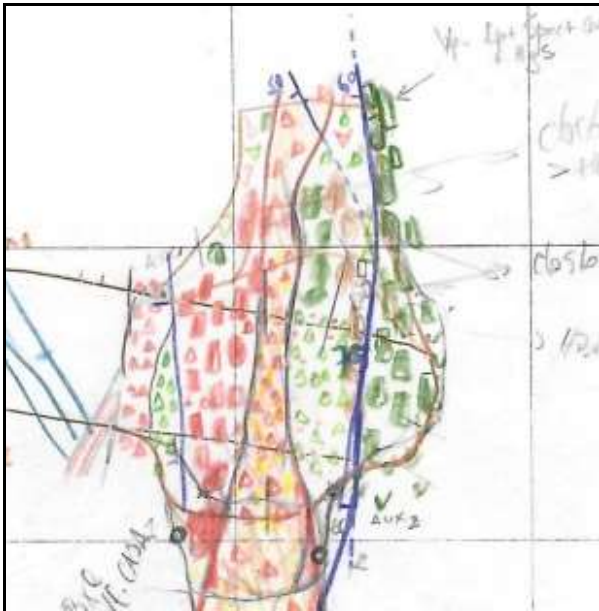


Figura 2. Ejemplo de mapeo geológico en galería. Cada color y simbología representa litología, alteración y estructuras las cuales pueden variar según el proyecto.

La información de las muestras marcadas en terreno se digitaliza en un software Autocad. Estos datos son:

- Largos de canaletas
- Número de muestra
- Leyes químicas.
- Litología
- Estructuras

Todos los datos tomados dentro de la canaleta son:

- -Collar que es la ubicación en coordenadas x, y, z.
- -largo de la muestra
- -Leyes químicas
- -Azimut de la canaleta

### 3.3 Digitalización de datos

Estos son traspasados a una base de datos, donde se le asigna la información como un sondaje.

	HOLE-ID	LOCATION[E]	LOCATION[Y]	LOCATION[Z]	LENGTH	HOLE_PATH	ZONA
1	CF-1080	287443.87	8585567.89	32.26	2.95	C185	Central
2	CF-1080_A	287441.97	8585567.89	32.26	8.95	C185	Central
3	CF-1081	287396.23	8584996.91	46.54	2.90	S44E(Norte)	Sur
4	CF-1081_A	287396.93	8584996.91	46.54	1.20	S44E(Norte)	Sur
5	CF-1082	287408.86	8584986.71	46.68	3.80	S44E(Norte)	Sur
6	CF-1083	287554.83	8585586.88	217.33	6.85	N214S	Norte
7	CF-1083_A	287551.33	8585586.88	217.33	2.30	N214S	Norte
8	CF-1084	287396.48	8584999.68	46.54	3.40	S44E(Norte)	Sur
9	CF-1085	287408.81	8584986.32	46.68	3.80	S44E(Norte)	Sur
10	CF-1086	287396.88	8584910.78	46.54	3.45	S44E(Norte)	Sur
11	CF-1087	287444.50	8585565.58	32.26	4.15	C185	Central
12	CF-1088	287416.39	8584992.67	46.68	3.20	S44E(Norte)	Sur
13	CF-1089	287554.91	8585583.83	217.27	3.75	N214S	Norte
14	CF-1089_A	287553.88	8585583.83	217.27	2.65	N214S	Norte
15	CF-1090	287444.41	8585565.28	32.26	4.15	C185	Central

	HOLE-ID	FROM	TO	AU	CU	HG
1	CF-1080	0.58	0.38	2.33		
2	CF-1080	0.38	1.18	8.79		
3	CF-1080	1.18	2.08	1.87		
4	CF-1080	2.08	2.25	1.41		
5	CF-1080	2.25	2.95	8.84		

Figura 3. Ejemplo base de datos de canaleta. hole-ID nombre de la canaleta, coordenadas, largo total de la canaleta, ubicación y la zona, en la tabla inferior están los datos de leyes de cada tramo de canaleta con su desde-hasta y sus leyes químicas.

Con los datos ingresados a la base de datos, estos son importados en el software, quedando como se muestra en la figura 4, los colores se asignan dentro del software representando rango de leyes, para este caso el rojo corresponde al HG, alta ley, el verde a LG, baja ley y el azul a una muestra estéril.

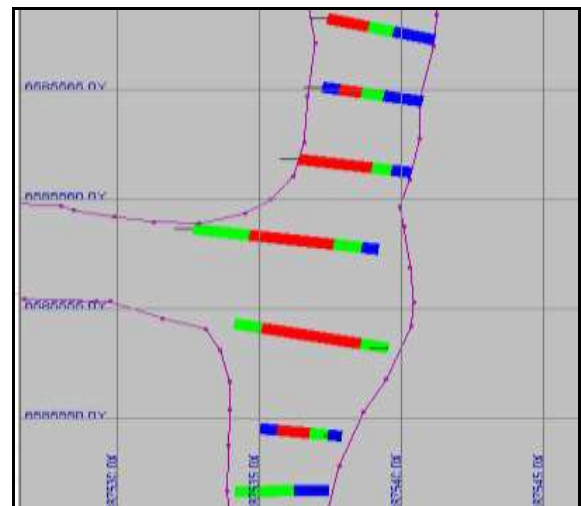


Figura 4. Planta con canaletas. Cada línea con colores representa una muestra en rojo alta ley, en verde baja ley y azul zona estéril.

### 3.4 Modelamiento Isoley

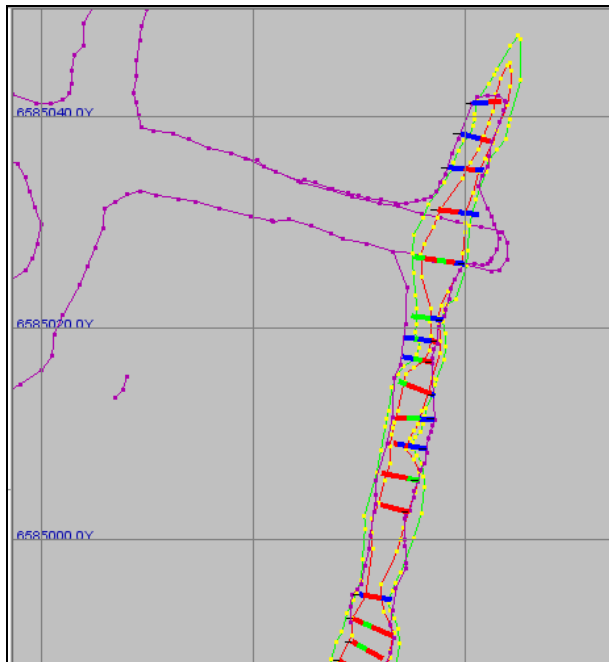
Es una representación tridimensional de la distribución espacial de la ley en un yacimiento. Este

tipo de modelo se utiliza en la industria minera para comprender y predecir la distribución de la ley dentro de un depósito con el objetivo de planificar la extracción y la operación minera de manera eficiente.

Con las canaletas dibujadas como sondajes dentro del software, se le asignan valores en tramos de HG alta ley (figura 4), generalmente sobre ley de corte determinada por área de ingeniería y una zona de LG o baja ley que también la define la misma área.

Se realizan líneas de isoley de alta ley y baja ley en cada nivel, estas líneas pasan por el borde de la canaleta generando un polígono cerrado, este procedimiento se repite para cada nivel.

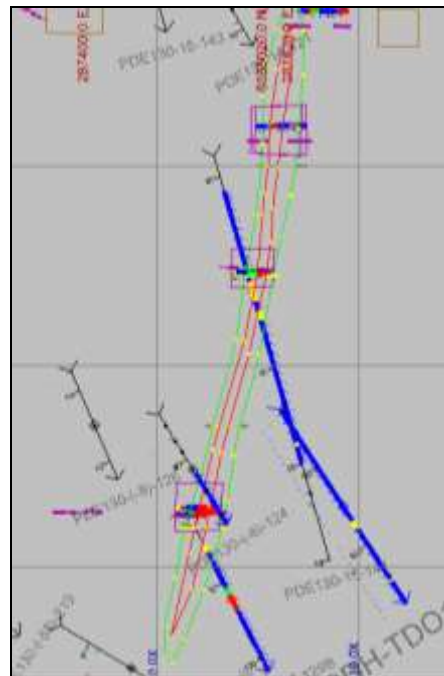
La cantidad de niveles para realizar el modelamiento depende de la metodología de explotación.



**Figura 5. Planta con canaletas y líneas de isoley.** En rojo se representa la línea de isoley de HG y en verde la línea de LG .

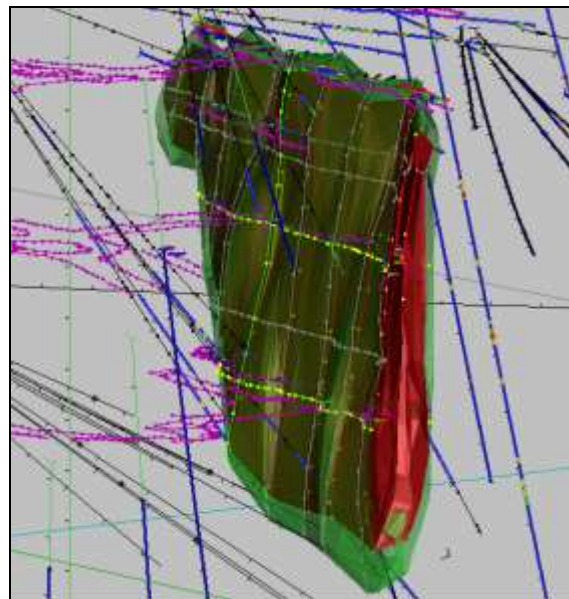
Para las secciones desde el comienzo de la veta hasta el final de la zona mineralizada, se traza una línea lo más perpendicular al rumbo de la veta a fin de no tener muchas diferencias respecto al manto real vs manto aparente.

Se realiza el mismo procedimiento donde se dibujan las líneas de isoley de alta ley y baja ley cada 10m o 5m según sean las variaciones en la planta y de ser necesario algún cambio de rumbo de la zona mineralizada, se realizan secciones auxiliares.



**Figura 6. Sección con canaletas, sondajes y líneas de isoley.** En rojo se representa la línea de isoley de HG y en verde la línea de LG .

Con las plantas y secciones, dibujadas en el software, que para este caso se utilizó el GEMS, este genera los sólidos en 3D.



**Figura 7. Vista isométrica con sólidos de HG y LG.** El sólido rojo representa la zona de HG y el sólido verde representa la zona LG .

Este sólido es chequeado que no presente errores de ser así, se realiza líneas auxiliares.

## 4 Resultados

Como resultado se obtienen estos 2 sólidos de alta ley (HG) y uno de baja ley (LG), estos son entregados al área de geología de estimación, donde se realiza un nuevo cálculo, con generación de modelo de bloques de corto plazo.

Con estos nuevos sólidos y su estimación se obtienen los siguientes resultados:

### 4.1. Optimización de Operaciones:

El modelo puede ayudar a identificar las áreas de la mina con mayor probabilidad de concentraciones de oro, optimizando la ubicación de perforaciones adicionales para obtener datos más precisos.

Además, permite una planificación más precisa de la extracción, enfocándose en las áreas con mayores leyes de oro y minimizando el movimiento de material estéril.

### 4.2. Maximización de Recursos:

Facilita la estimación precisa de los recursos minerales disponibles a corto plazo, ayudando en la toma de decisiones operativas y en la optimización de la producción.

Puede revelar zonas específicas dentro de la veta que contienen concentraciones más altas de oro, permitiendo una extracción más eficiente.

### 4.3. Reducción de Costos:

La ubicación estratégica de perforaciones basada en el modelo puede reducir los costos asociados con la perforación y el muestreo al enfocarse en áreas más prometedoras.

Ayuda a minimizar la extracción de material estéril, reduciendo los costos asociados con la eliminación y el manejo de residuos.

### 4.4. Toma de Decisiones Informada:

Facilita la planificación operativa a corto plazo al proporcionar información detallada sobre la distribución de oro en el área modelada.

Permite ajustes rápidos en las operaciones en respuesta a cambios en las condiciones geológicas o en los precios del oro.

### 4.5. Mejora en la Seguridad:

Facilita la planificación de accesos seguros a las áreas de extracción, contribuyendo a la seguridad de los trabajadores.

Permite una mejor gestión de los riesgos geotécnicos al tener en cuenta la información detallada sobre la geología subterránea.

## 5 Discusión

El nuevo modelo de corto plazo es específico para un sector del proyecto, el cual puede afectar a la planificación de largo plazo de diferentes maneras:

5.1 Reservas minerales: Si el nuevo modelo identifica y cuantifica nuevas reservas minerales, esto puede cambiar drásticamente la cantidad de recursos disponibles. Esto afectaría directamente la planificación de la extracción a lo largo del tiempo y la vida útil estimada de la mina.

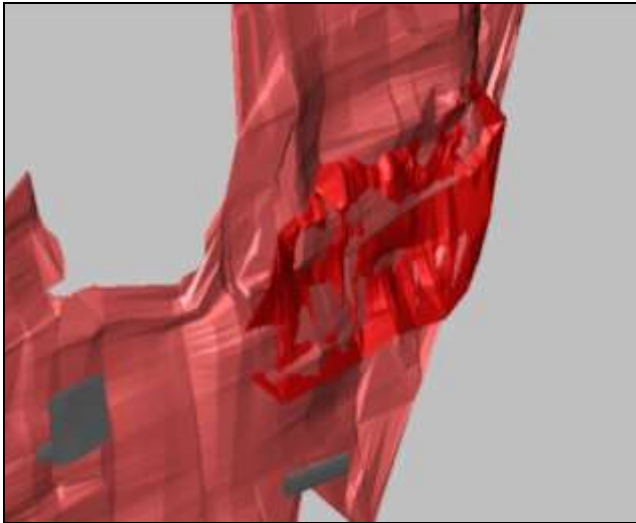
5.2 Calidad de los minerales: Una comprensión más precisa de la calidad de los minerales, respecto a dureza de la roca, alteración, presencia de minerales contaminantes (Mercurio, arsénico, plomo) presentes en el yacimiento puede afectar los métodos de procesamiento y la eficiencia de la extracción. Dependiendo de la variabilidad de la calidad, los costos de procesamiento metalúrgicos podrían cambiar, lo que impactaría en la viabilidad económica.

5.3 Ubicación de los depósitos: Si el nuevo modelo geológico reubica o redefine la ubicación de la veta o se reconoce nuevas vetas de oro, esto podría influir en la planificación de la infraestructura minera, como la ubicación de pozos, galerías, y la disposición de equipos. Cambios en la logística pueden afectar los costos operativos.

5.4 Gestión de riesgos: Una mejor comprensión de la geología puede ayudar a identificar riesgos potenciales, como zonas geotécnicas inestables o problemas de drenaje. La gestión de estos riesgos puede requerir inversiones adicionales o cambios en la estrategia operativa, lo que afectaría la viabilidad económica.

En resumen, la planificación y viabilidad económica

de un proyecto minero se ven fuertemente influenciadas por la calidad y precisión de la información geológica disponible. Los cambios en el modelo geológico pueden requerir ajustes en las estrategias operativas, inversiones adicionales, y en última instancia, pueden afectar la rentabilidad general del proyecto minero.



**Figura 8.** Vista isométrica con sólidos de HG de largo plazo vs corto plazo. El sólido rojo representa la zona de HG de corto plazo y el sólido rojo pálido representa la zona HG de largo plazo.

También el área de Geología de largo plazo, debe modificar el modelo para ajustarlo a la nueva información entregada.

## 6 Conclusiones

Este estudio sobre el modelamiento geológico de isopleya de corto plazo es crucial para la planificación y operación eficiente de proyectos mineros. Se observa que la falta de información precisa en el modelamiento de largo plazo afecta significativamente las proyecciones de tonelaje y ley de las zonas mineralizadas, así como los planes de extracción a corto plazo. La incertidumbre derivada de distancias entre sondajes y la presencia de efectos pepita y distribuciones no homogéneas de oro crea la necesidad de una evaluación periódica y ajustes en el modelo.

La metodología presentada, centrada en la recopilación de nuevos datos geológicos, estudio detallado de mineralogía y petrología, y la

generación de un modelo geológico 3D utilizando software especializado, ofrece una estrategia integral para mejorar la certeza en las leyes de extracción.

En cuanto a la recolección de datos, el muestreo de canaletas parece ser un método adecuado para sistemas de vetas en proyectos mineros. La digitalización de la información mediante software como Autocad y la utilización de software especializado como GEMS para la generación de modelos 3D son enfoques tecnológicos clave en este proceso.

Los resultados obtenidos, representados por sólidos de alta y baja ley, ofrecen beneficios sustanciales en términos de optimización de operaciones, maximización de recursos, reducción de costos y toma de decisiones informada. La capacidad del modelo para identificar áreas con mayor concentración de oro y proporcionar una planificación más precisa de la extracción puede tener un impacto significativo en la rentabilidad del proyecto.

La discusión sobre cómo el nuevo modelo de corto plazo puede afectar la planificación de largo plazo resalta la importancia de la información geológica en áreas clave, como reservas minerales, calidad de los minerales, ubicación de depósitos, gestión de riesgos y costos operativos. Este análisis subraya la necesidad de adaptabilidad en la planificación a medida que se obtiene nueva información.

En resumen, el estudio destaca la importancia de un modelamiento geológico preciso y actualizado para la toma de decisiones efectiva en la industria minera. El modelamiento cíclico y repetitivo refleja la naturaleza dinámica de la minería, donde la adaptabilidad y la mejora continua son clave para el éxito a largo plazo.

## 7. Referencias

Henley, R.W. & Berger, B.R., 1993. What is a Model Anyway? – An Analysis of the Cognitive Development and Use of Models in Mineral Exploration. In: Kirkham et al. (editors) Mineral Deposit Modeling, Geological Association of Canada, Special Paper 40, p. 41-67.