



# **Categorización de recursos y densidad de información**

**Rodrigo Riquelme**

**Gerente de recursos y reservas**

**18 de abril 2013**

# Temario

- Objetivos
- Recursos en Chile
- Modelamiento geológico
- Clasificación de los recursos
- Densidad de información y clasificación de recursos (Ton/metro)
  - Discusión
- Conclusiones

# Objetivos

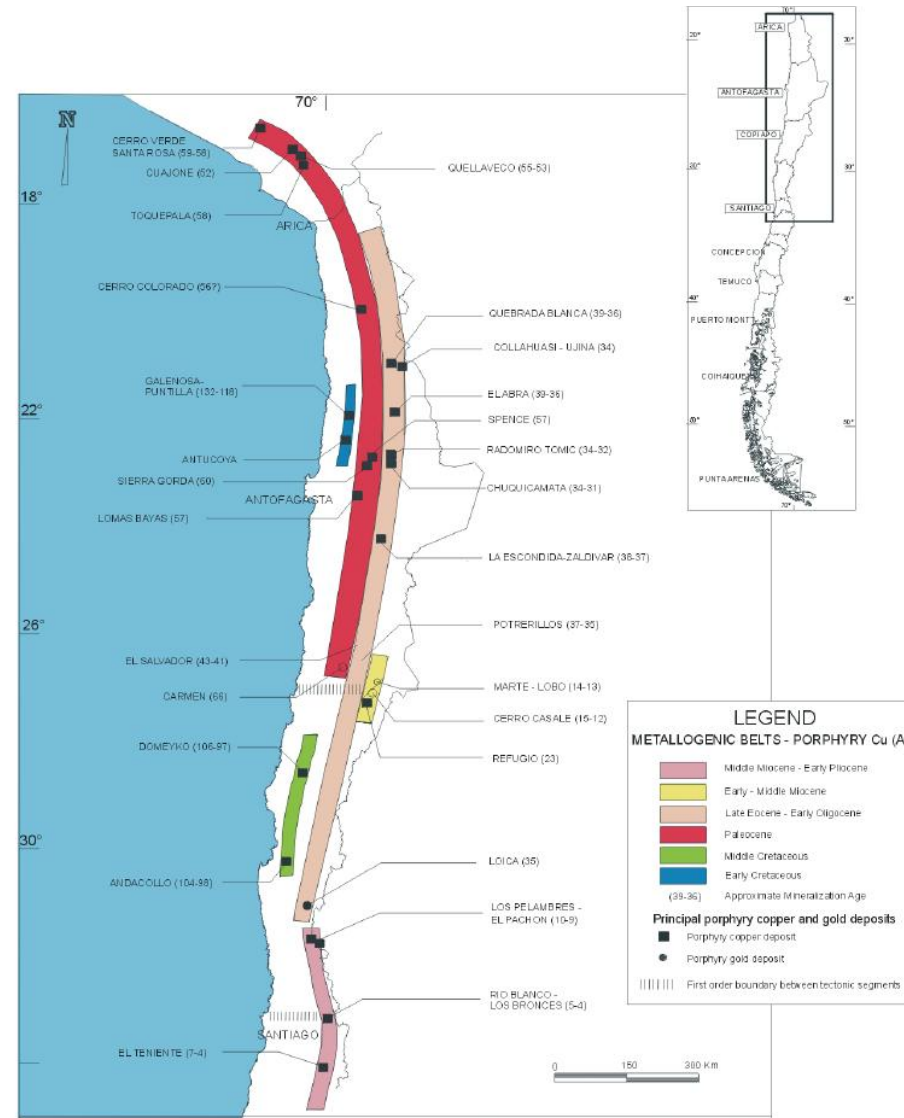
- Compartir experiencias sobre modelos de geológicos de recursos
- Clasificación de recursos minerales
- Categorización de recursos y densidad de información **(Toneladas/metros)**



# Recursos en Chile

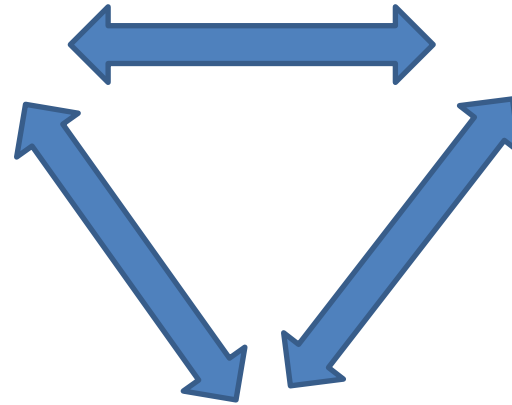
- Inventario recursos público 2009 (61).
  - NI43-101, reporte anuales, etc.
- Chile, hay más de 600 Mton cobre fino en recursos
- Producción anual
  - **Chile 5.3 Mton**
  - **Mundial 18 Mton**

Fuente: Sernageomin y Cochilco



# Modelamiento Geológico

**Conceptualización  
geológica**

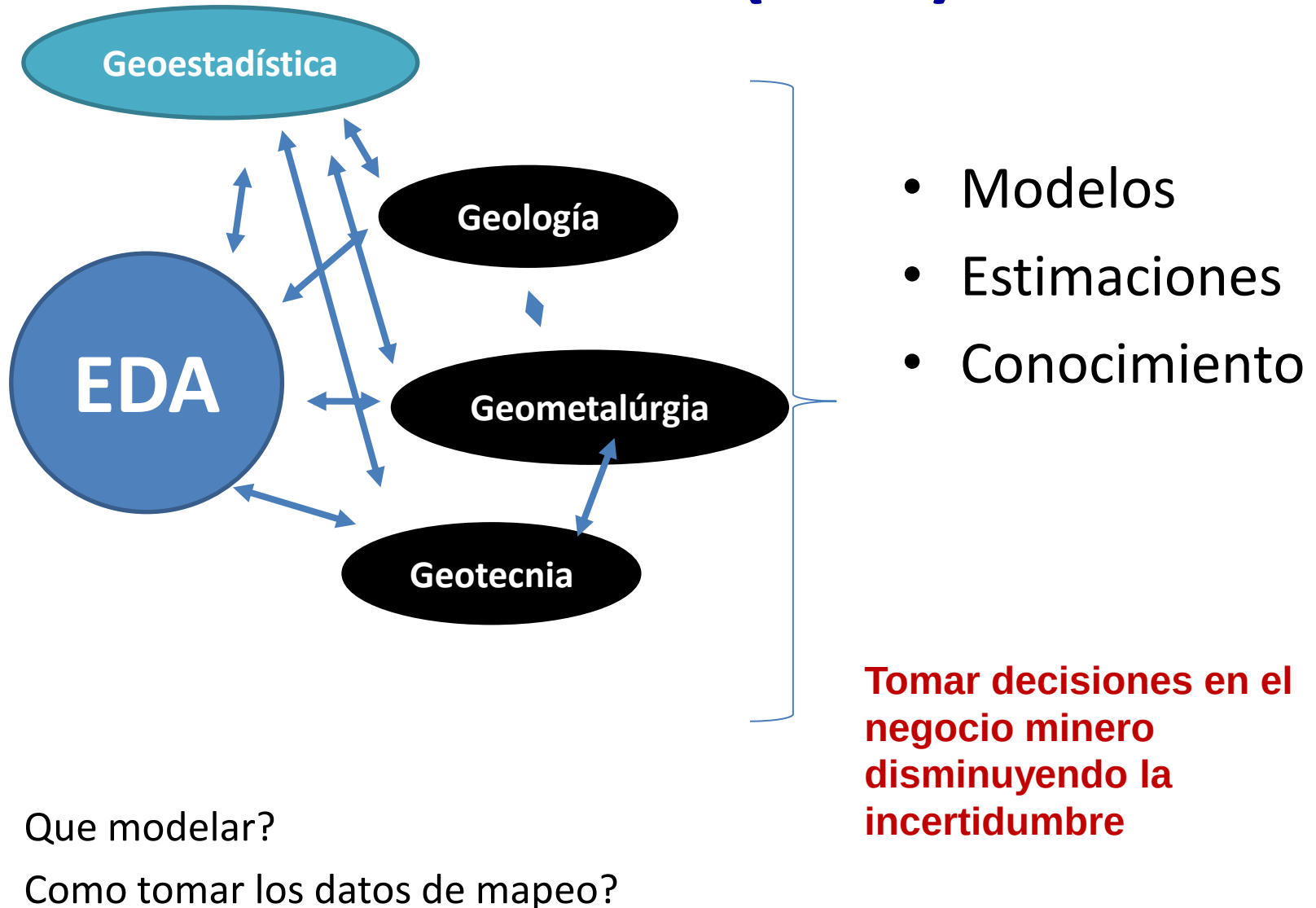


**Construcción de  
modelos**

**Análisis exploratorio de  
datos geológicos**

- Que modelar?
- Como tomar los datos de mapeo?

# Análisis Exploratorio de Datos (EDA)



# Conceptualización modelos geológicos

- Modelo geológico -> representación de realidad.
  - Unidades de acuerdo atributos geológicos: litología, alteración, zona mineral, dominios estructurales.
- Conocimiento de la geología cambia con el tiempo.

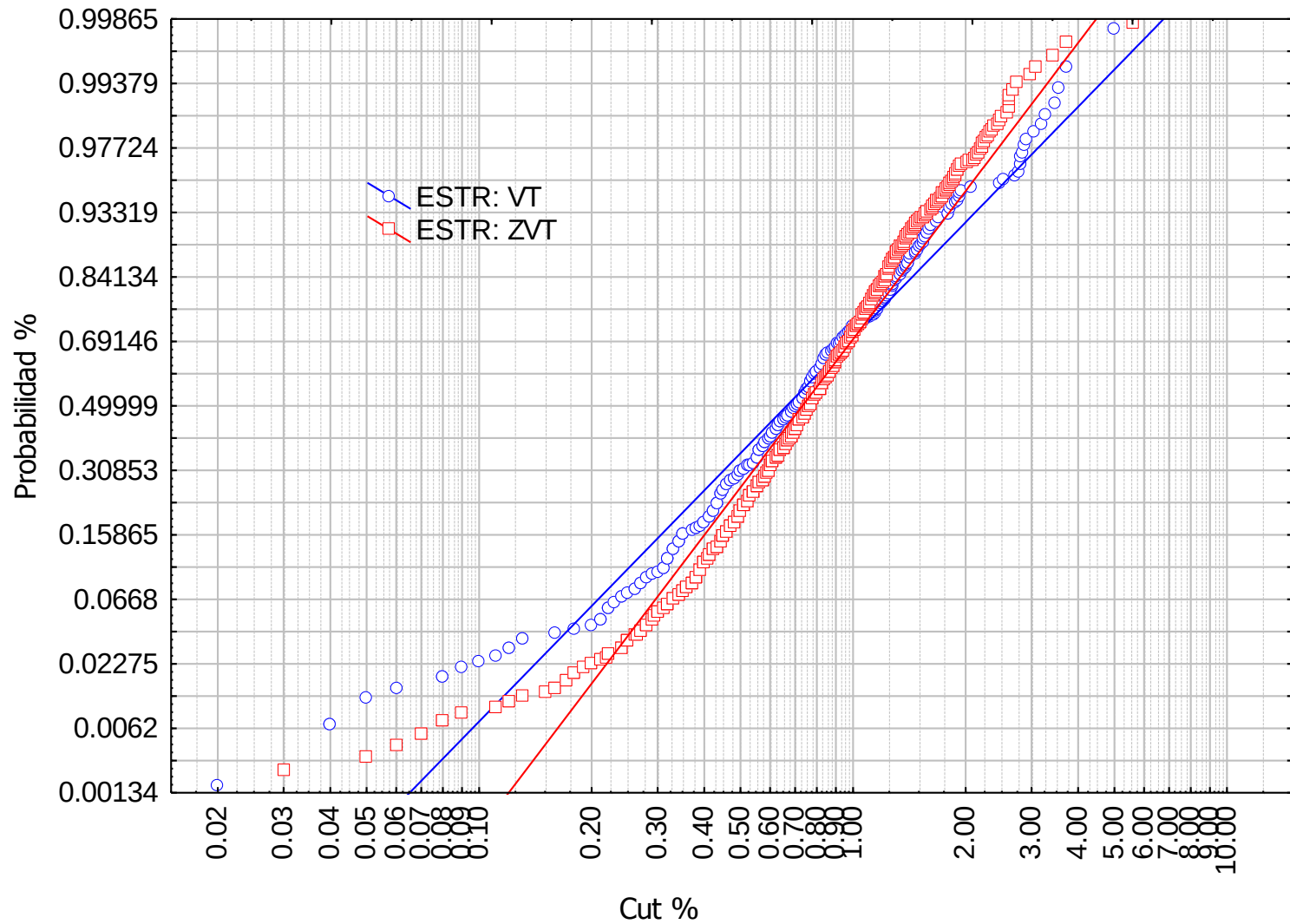
**La correcta conceptualización geológica es clave para la caracterización de un proyecto minero**

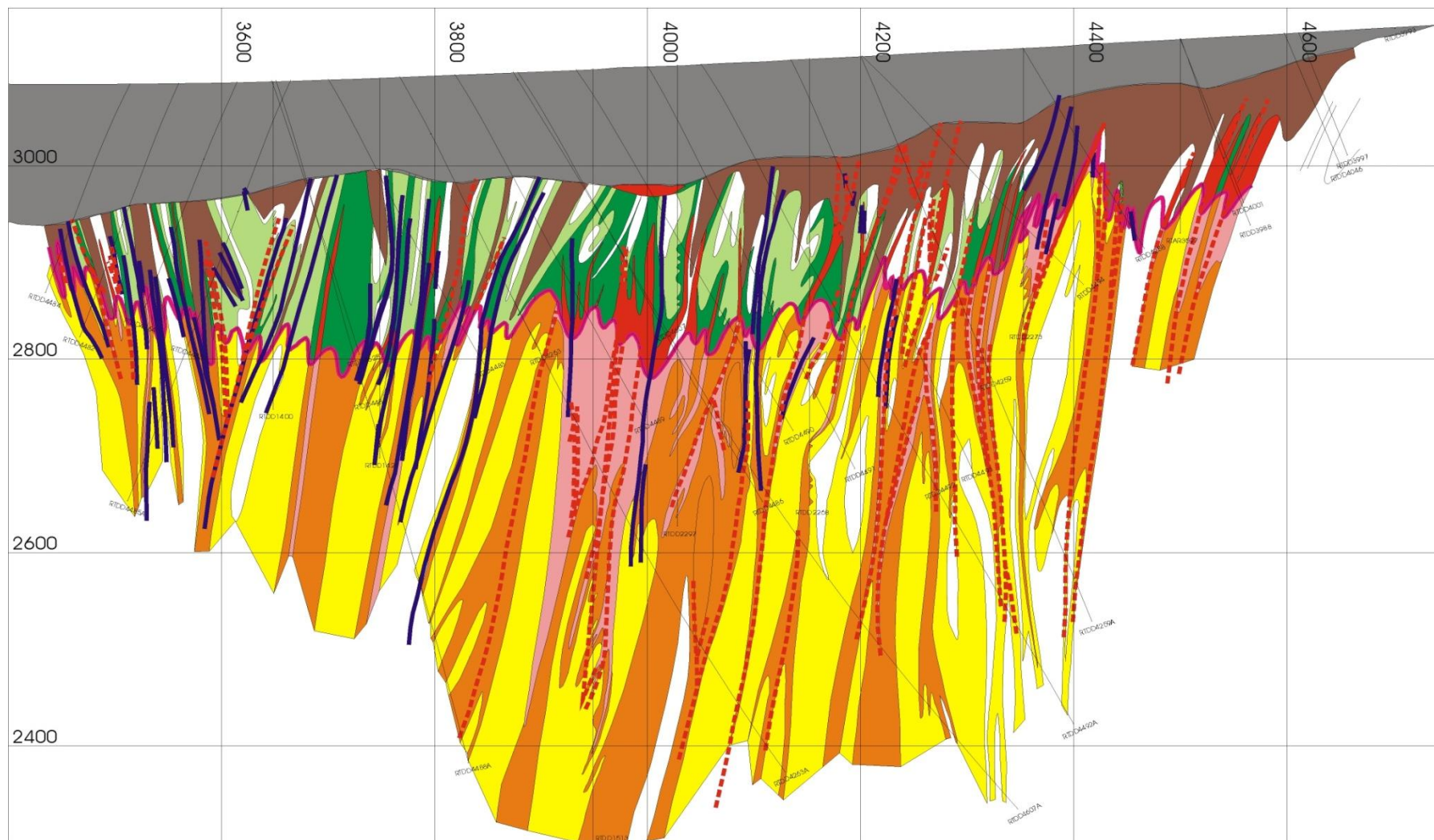
- **Continuamente validar las hipótesis de trabajo**



# Cruce de mapeo estructural con leyes en sulfuros

Probability Plot: CUT SULFUROS





LIXIVIADO

OXIDOS (CuS)

0.2% - 0.50.2%  
0.5% - 1.00.5%  
> 1.0%

LEYENDA

SULFURO (CuT)

0.2% - 0.50.2%  
0.5% - 1.00.5%  
> 1.0%

ESTRUCTURAS  
VETAS

FALLAS

TRAZA SONDAJE

TECHO SULFUROS

# Control estructural en bancos



# Construcción modelos geológicos

- **Modelos determinísticos**

- **Contorneo a mano**

- Proyección de polígonos, un set de interpretaciones
    - Dos set de interpretaciones planta y sección

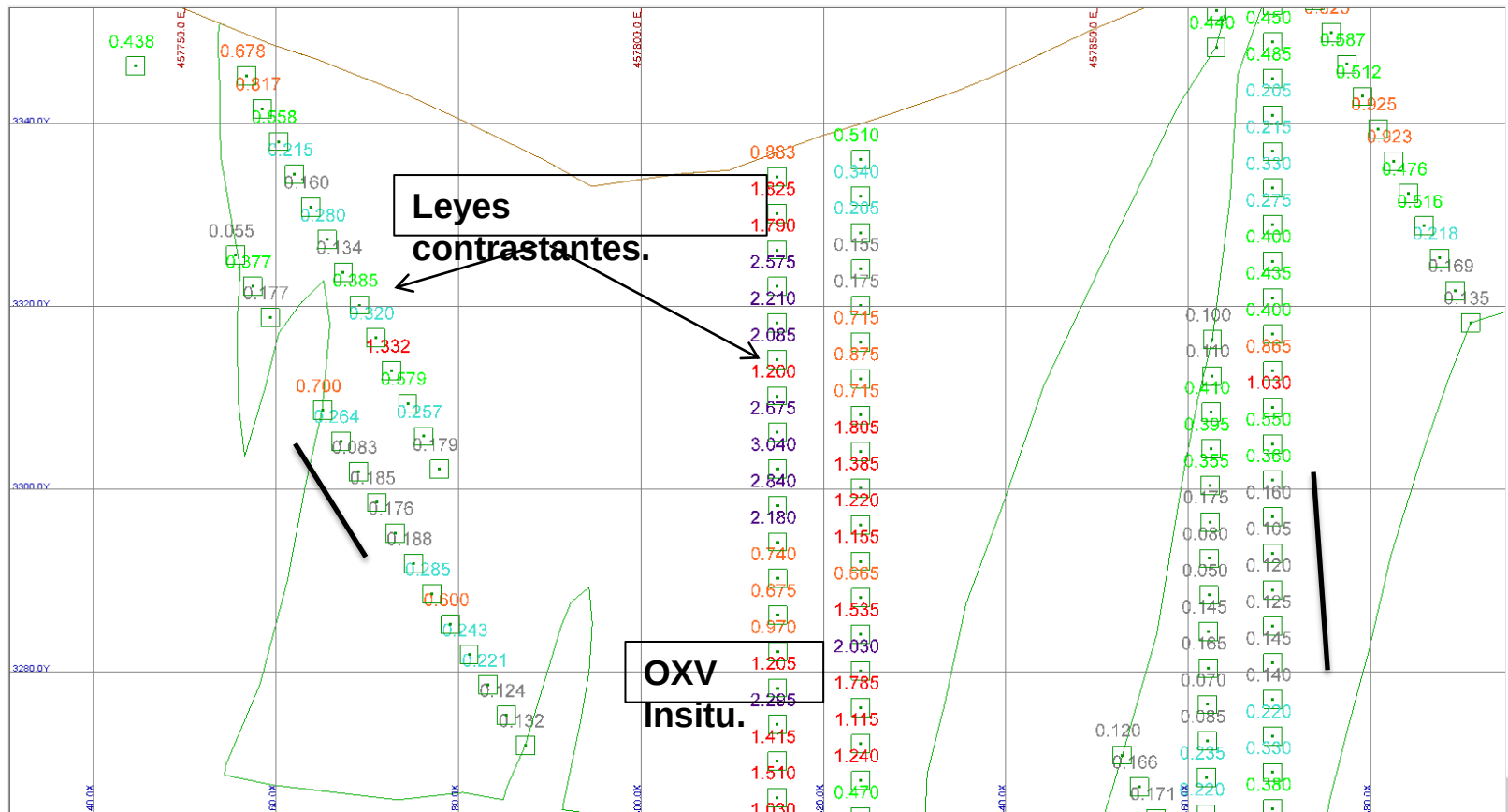
- **Modelos implícitos**

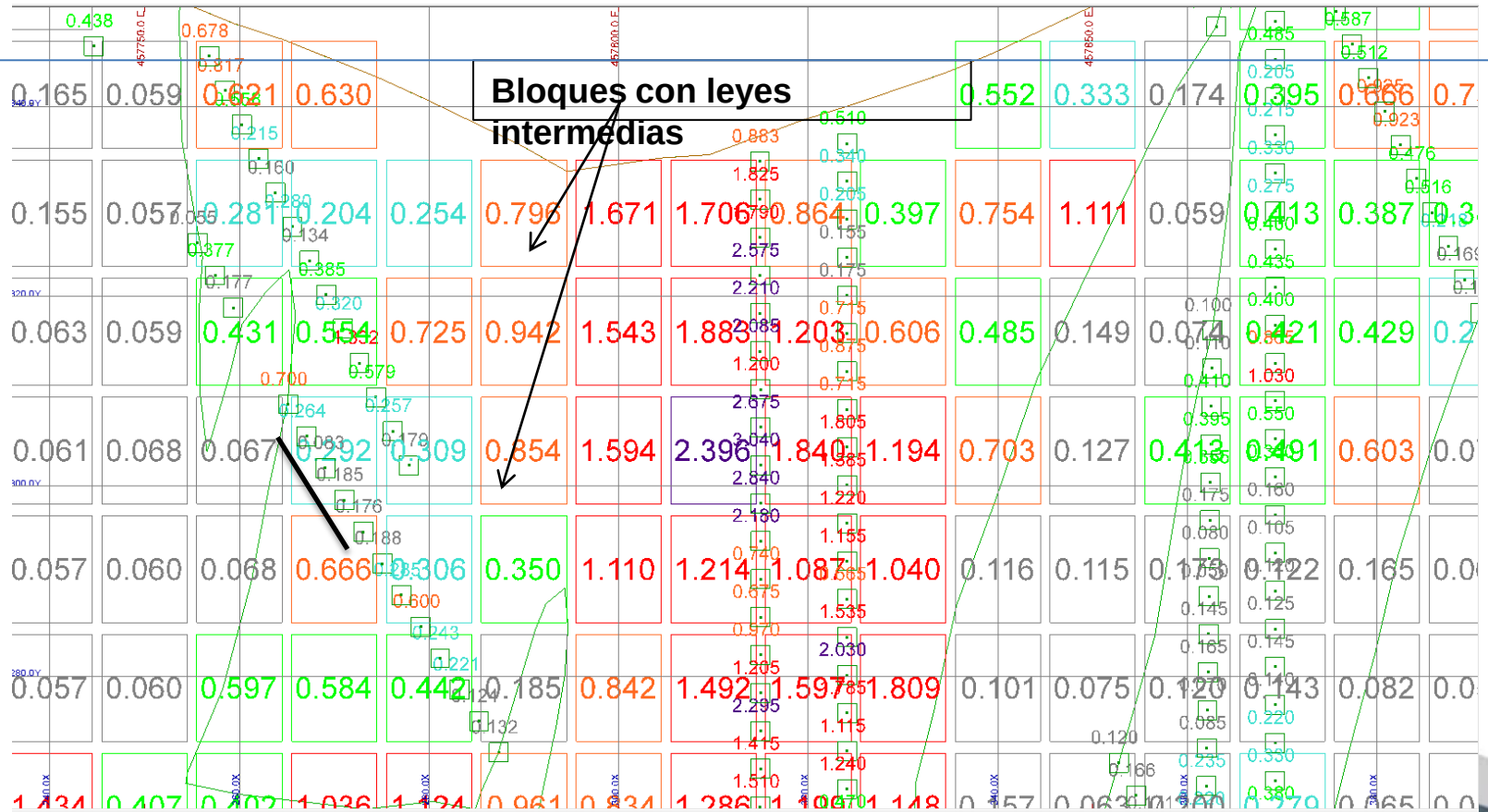
- **Otras aproximaciones numéricas**

- **Modelos estocásticos**

- **Métodos geoestadísticos**

- Sequential indicator simulation, Truncated Gaussian simulation, Plurigaussian simulation, Multiple-point simulation





# Clasificación de recursos



# Algunas medidas de confiabilidad usadas recursos minerales

- Cantidad de datos usados para estimar
- Número de datos usados para estimar ley
- Pasada de estimación
- Varianza de kriging
- Pendiente de regresión de estimación
- Distancia relativa de los datos basado en el alcance del variograma
- → **continuidad de la mineralización más complejo**

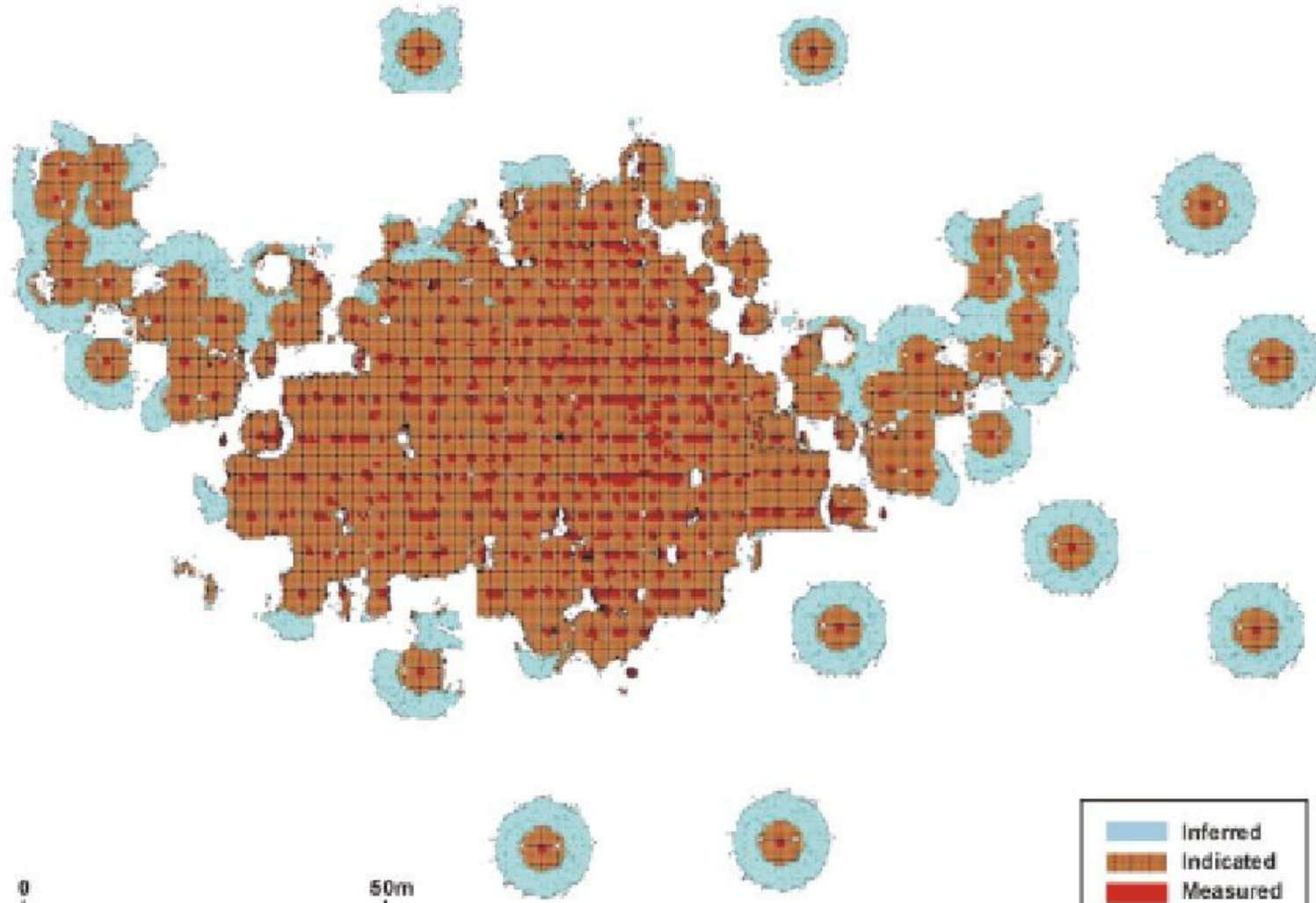
# Evitar en los criterios de clasificación de recursos (1)

- Criterios de clasificación bloque a bloque
  - Se deben suavizar
- No anidados: medido en contacto con inferido
- Criterios basados en variogramas (cambian)
- Que no toman en cuenta el conocimiento del geólogo del proyecto
- Reproducibles

## Evitar en los criterios de clasificación de recursos (2)

- Criterios que no son corcondantes con anisotropía de la mineralización
- ***Tener conciencia de las limitación del criterio de clasificación usado.***

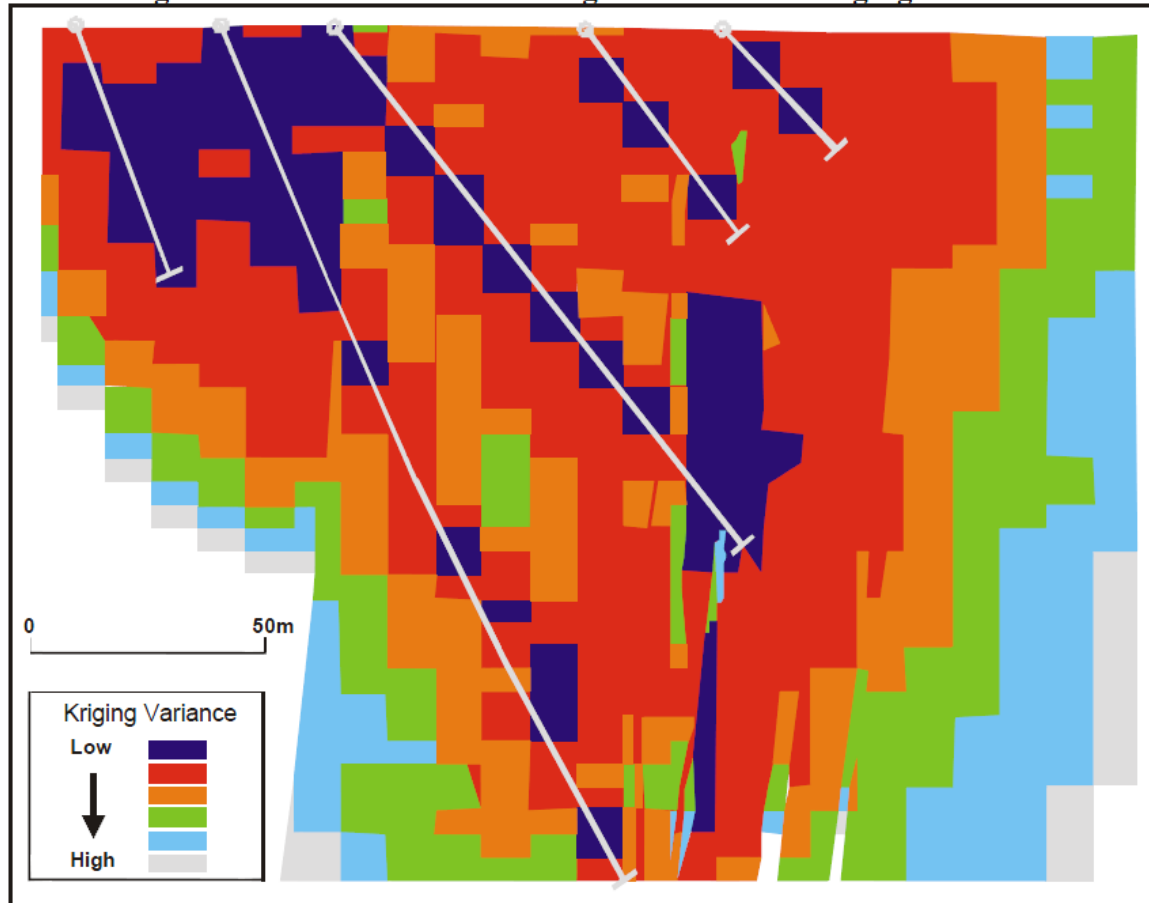
# Clasificación “SPOTTED DOG”



- Fuente: Pat Stephenson 2006, Mineral resource classification – It's time to shoot the “SPOTTED DOG”!

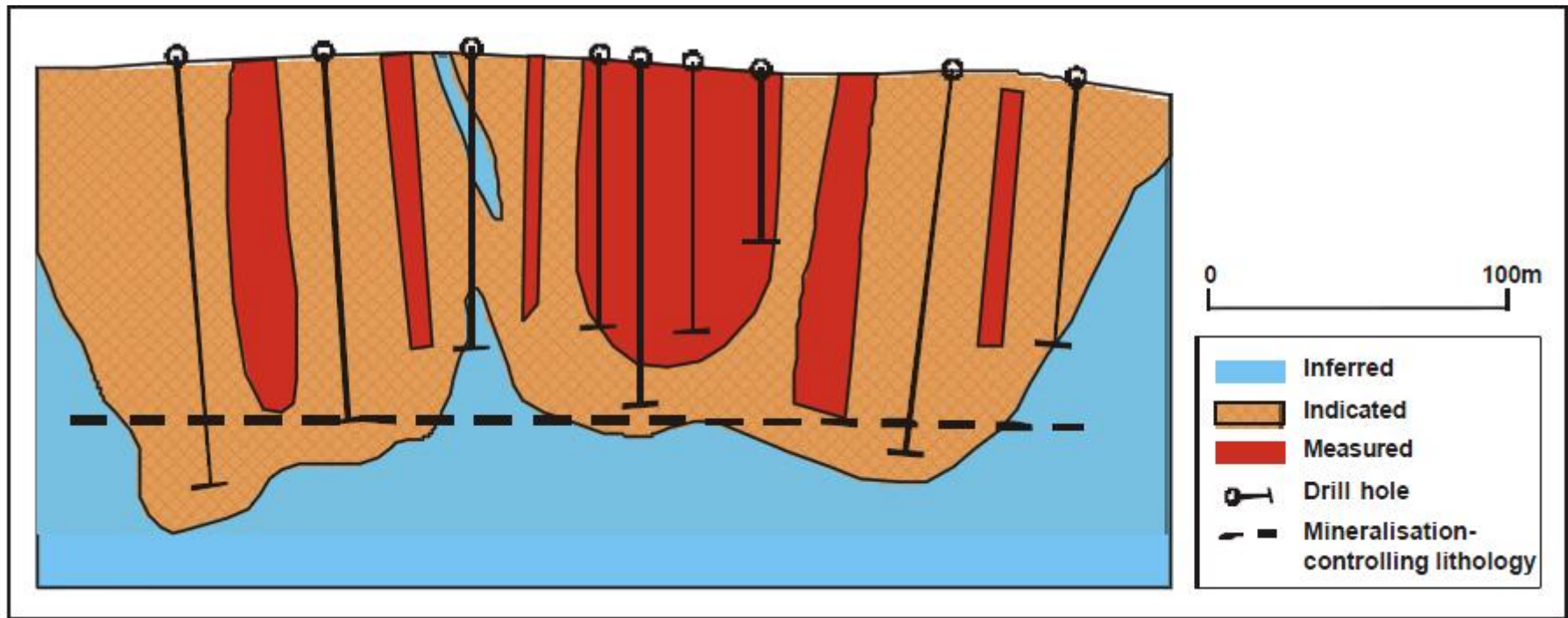
# Clasificación varianza de kriging

Figure 2 – Cross Section showing Variations in Kriging Variance



- Fuente: Pat Stephenson 2006, Mineral resource classification – It's time to shoot the "SPOTTED DOG"!

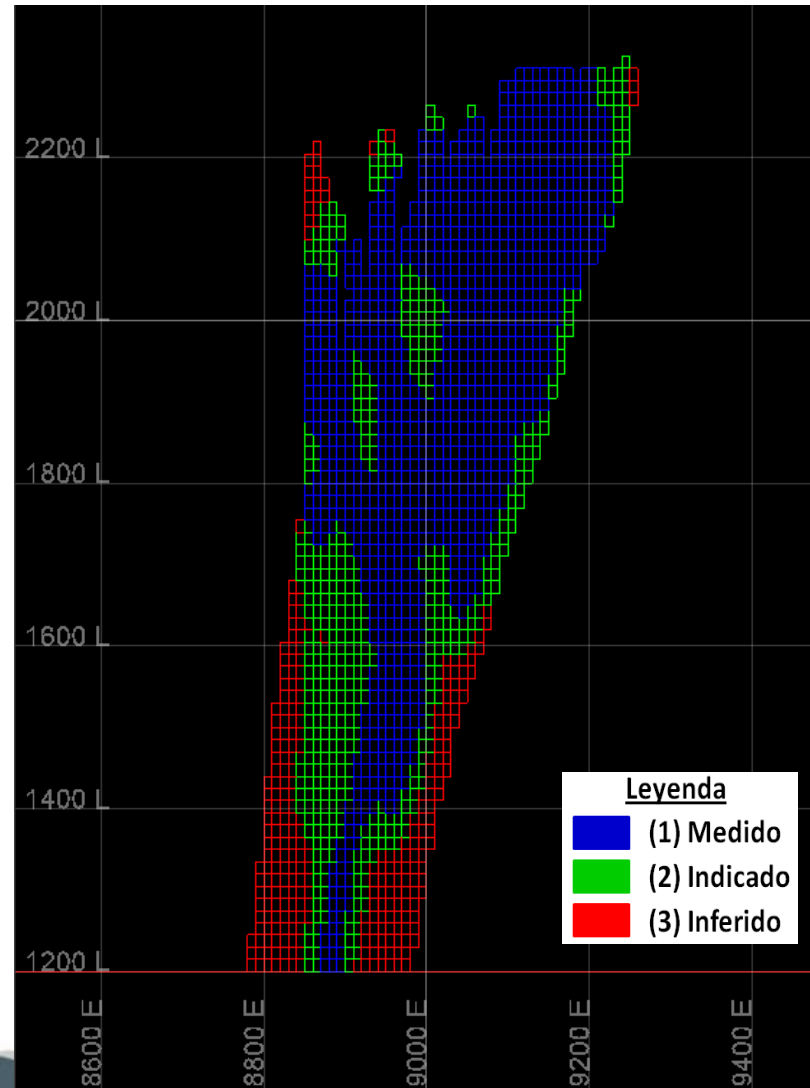
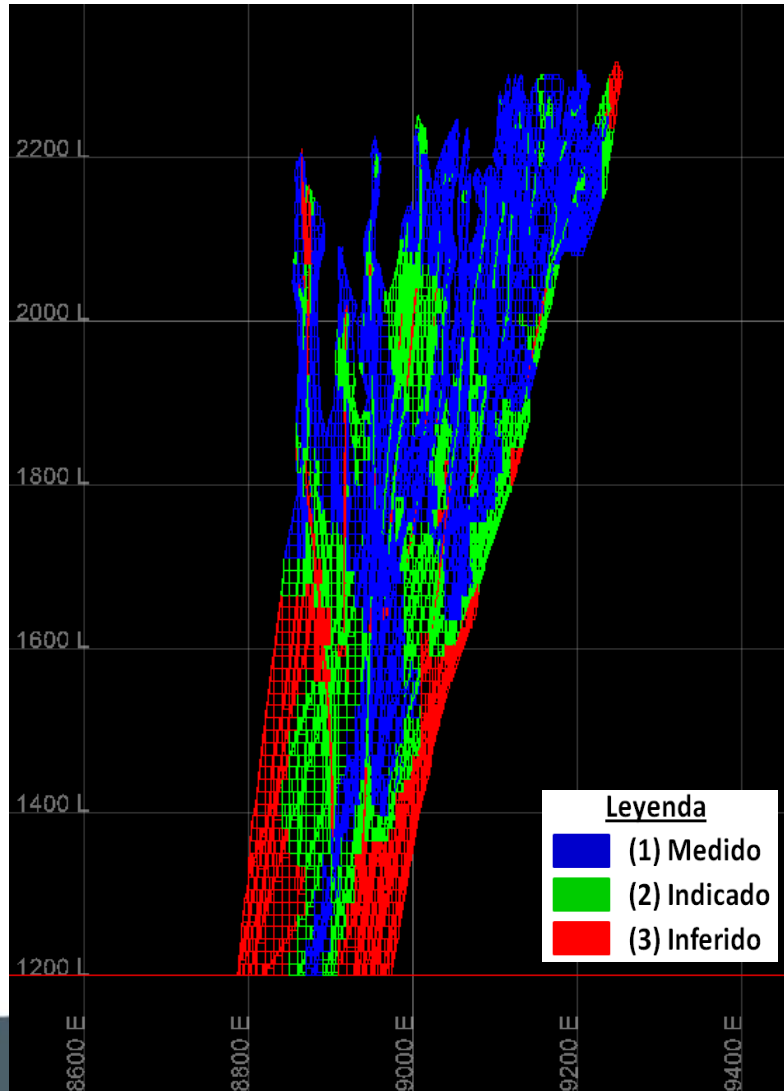
# Clasificaciones por radios de búsqueda



- Fuente: Pat Stephenson 2006, Mineral resource classification – It's time to shoot the "SPOTTED DOG"!

# Categoría Suavizada

Categoría suavizada



# Densidad de información y clasificación de recursos (Ton/metro)



# Metodología

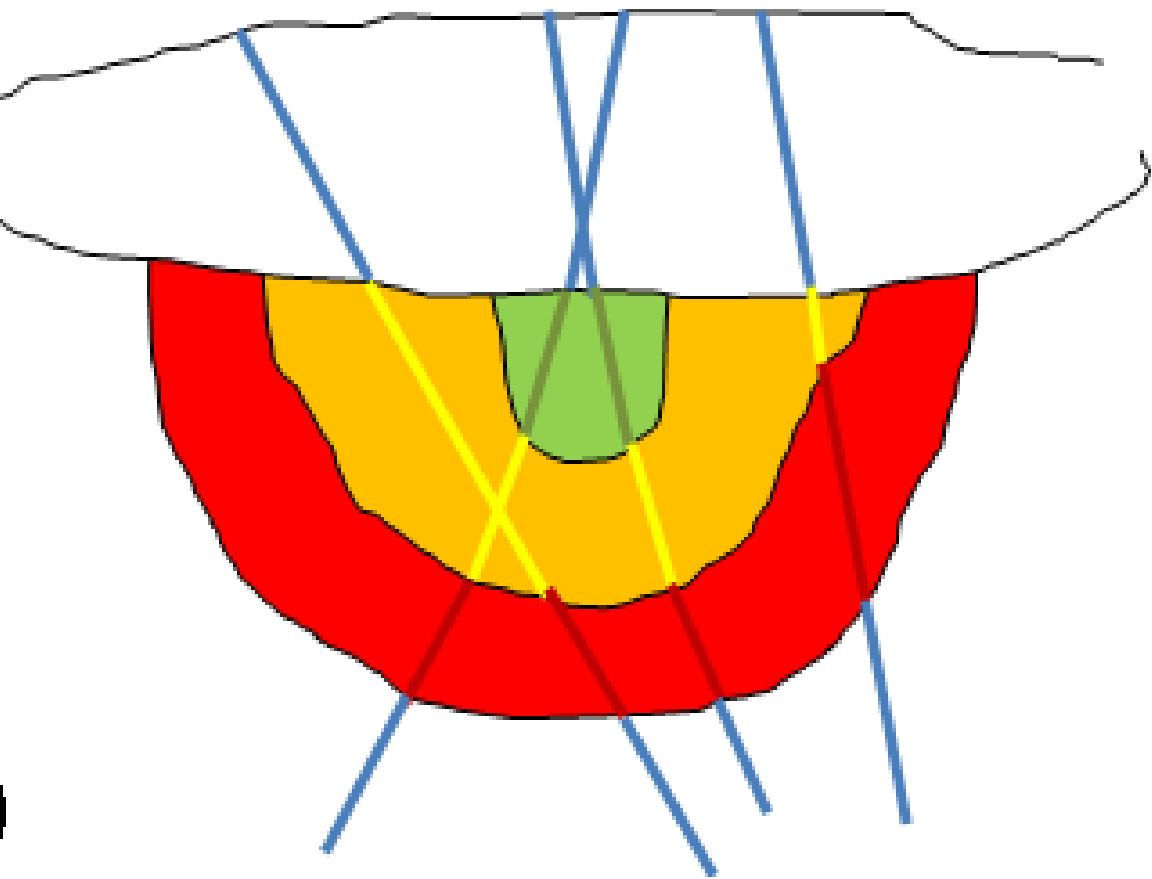
- Información de entrada
  - **Base de datos estimación**
  - **Modelo de bloques con categorías**
  - i. Recursos por categoría  $CuT \geq 0.1\%$
  - ii. Se asigna la categoría de los bloques a sondajes
  - iii. Largos de sondajes por categoría  $CuT_{MB} > 0.1\%$
  - iv. Ton/metros de sondajes por categoría (óxidos sulfuros)

# Metodología

- Información de entrada
  - Base de datos estimación
  - Modelo de bloques con categorías
    - i. Recursos por categoría  $CuT \geq 0.1\%$
    - ii. Se asigna la categoría de los bloques a sondajes
    - iii. Largos de sondajes por categoría  $CuT_{MB} > 0.1\%$
    - iv. Ton/metros de sondajes por categoría (óxidos sulfuros)

***Toneladas por metros efectivos en mineralización y categoría***

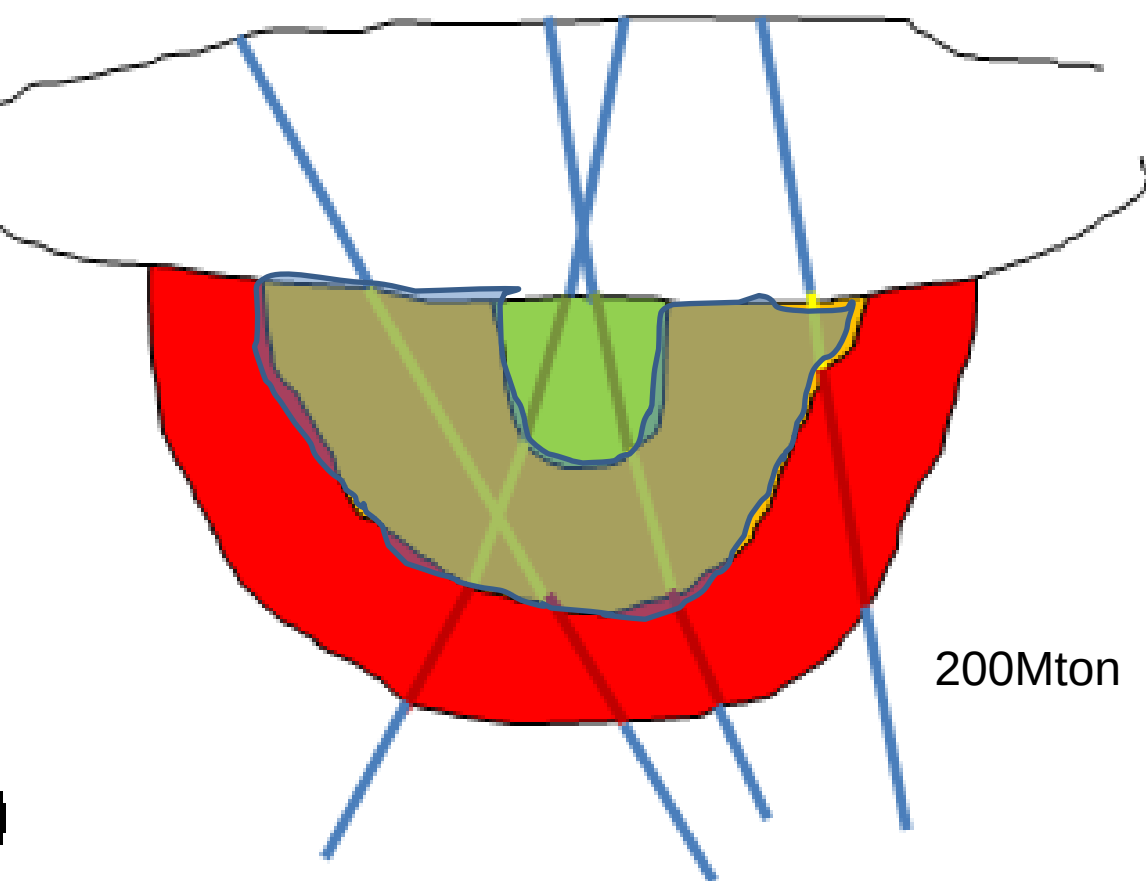
# Metodología



## Leyenda

-  Medido
-  Indicado
-  Inferido

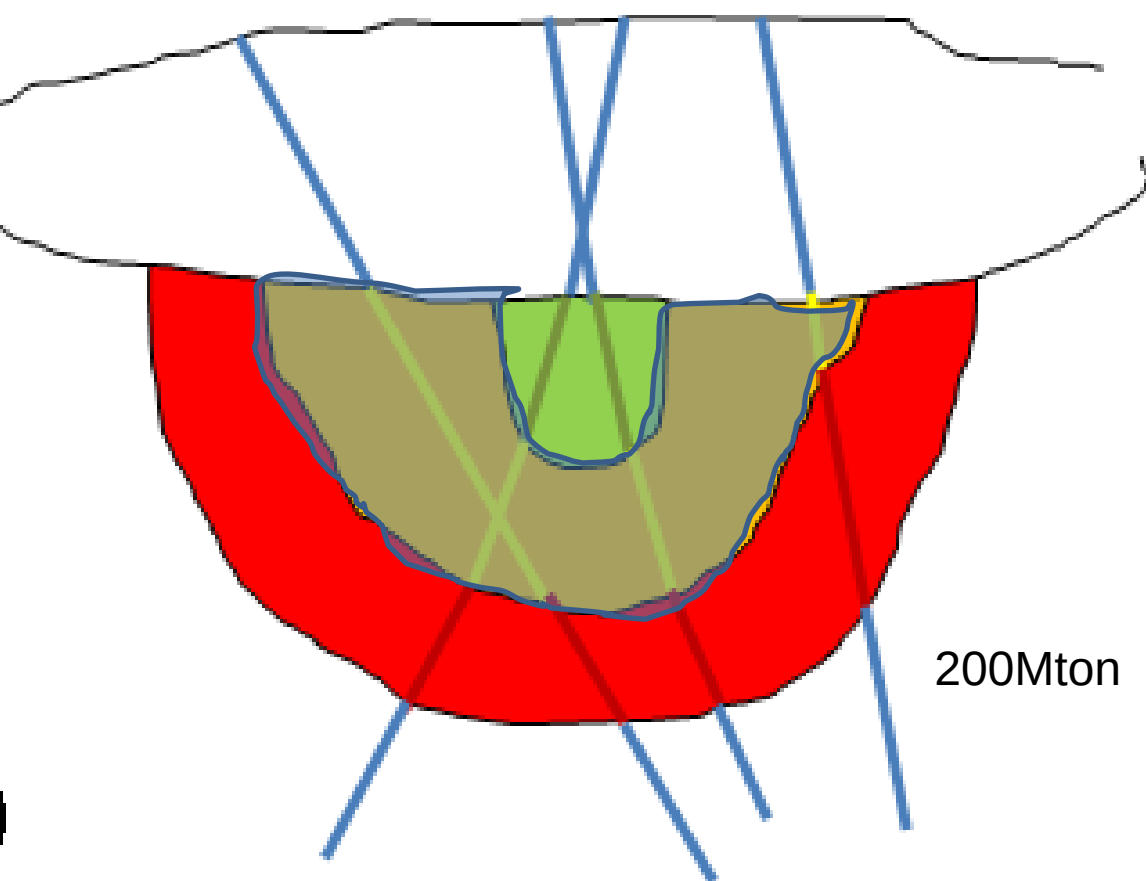
# Metodología



## Leyenda

-  Medido
-  Indicado
-  Inferido

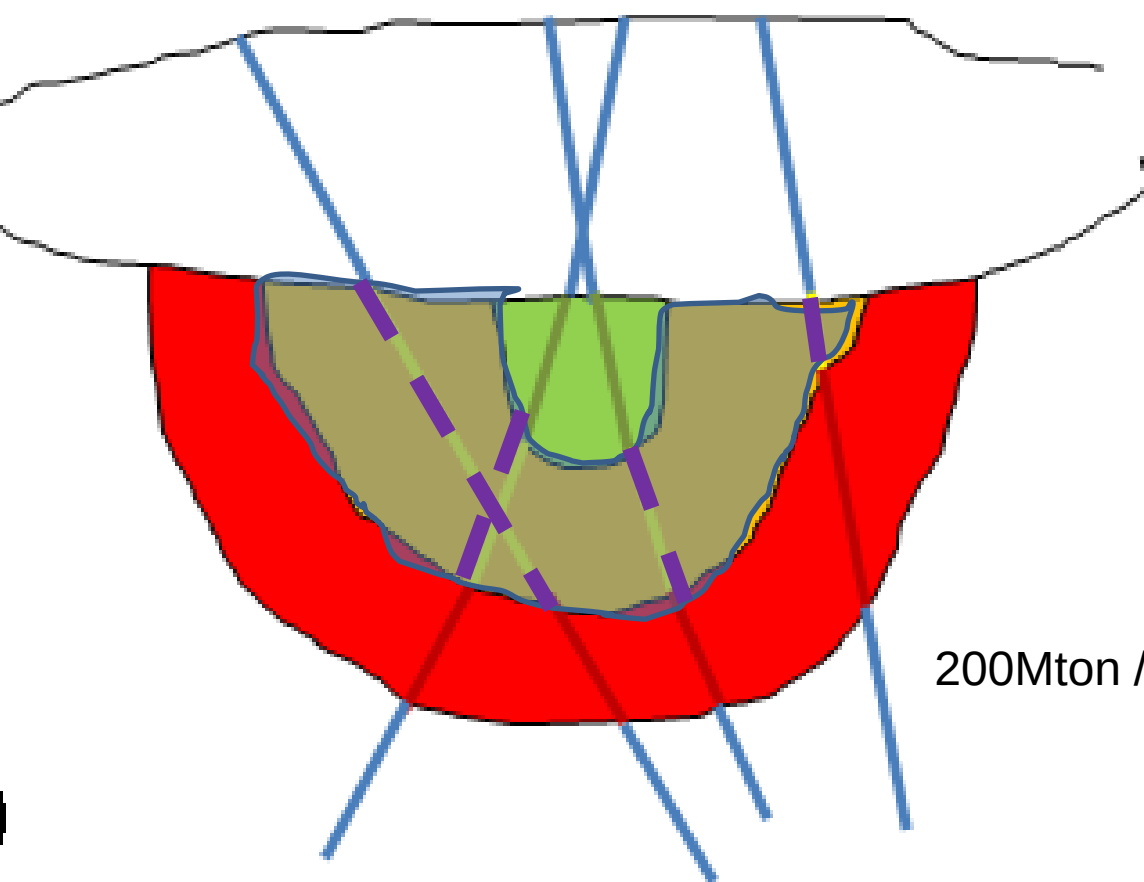
# Metodología



## Leyenda

-  Medido
-  Indicado
-  Inferido

# Metodología

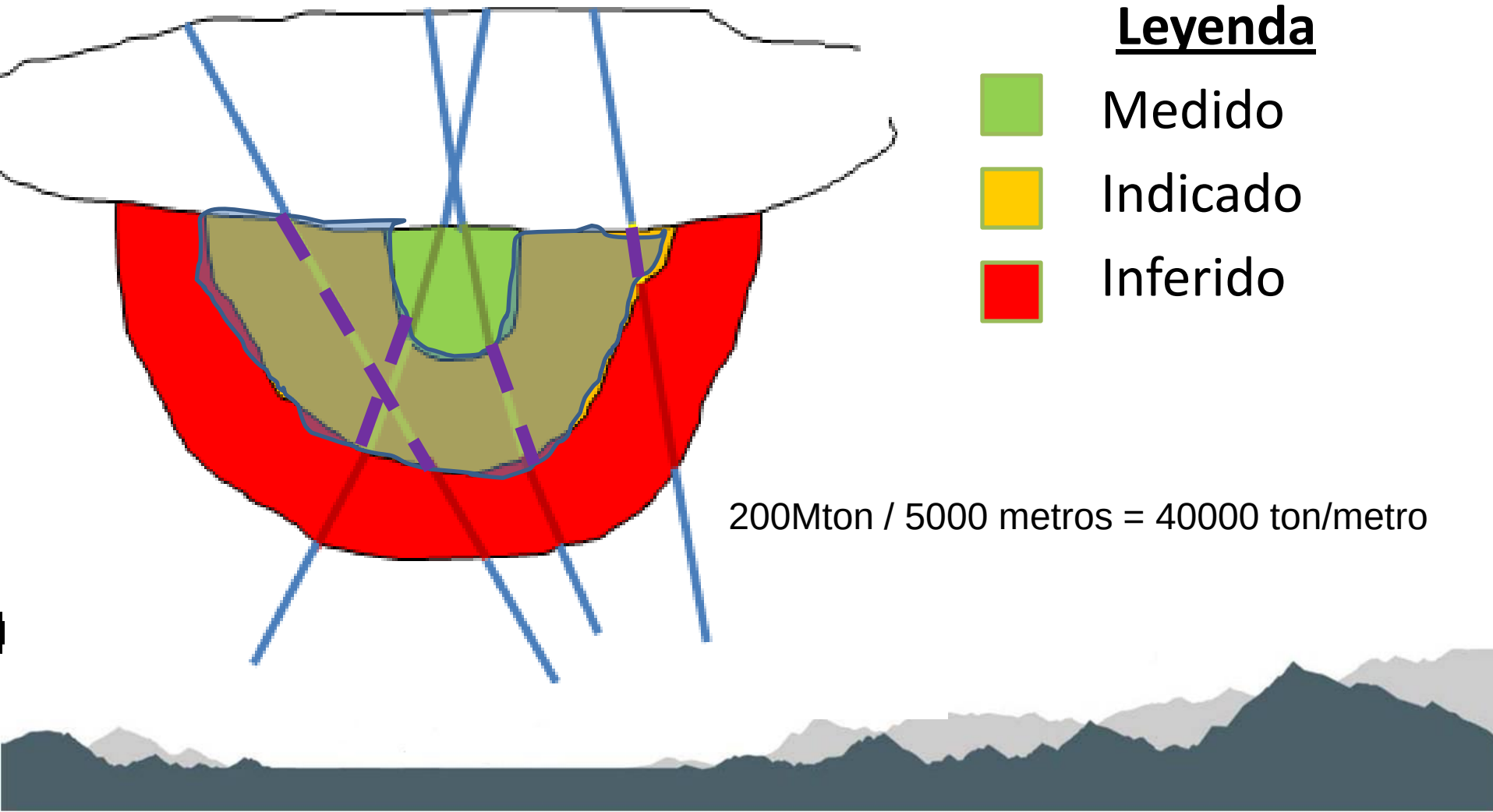


## Leyenda

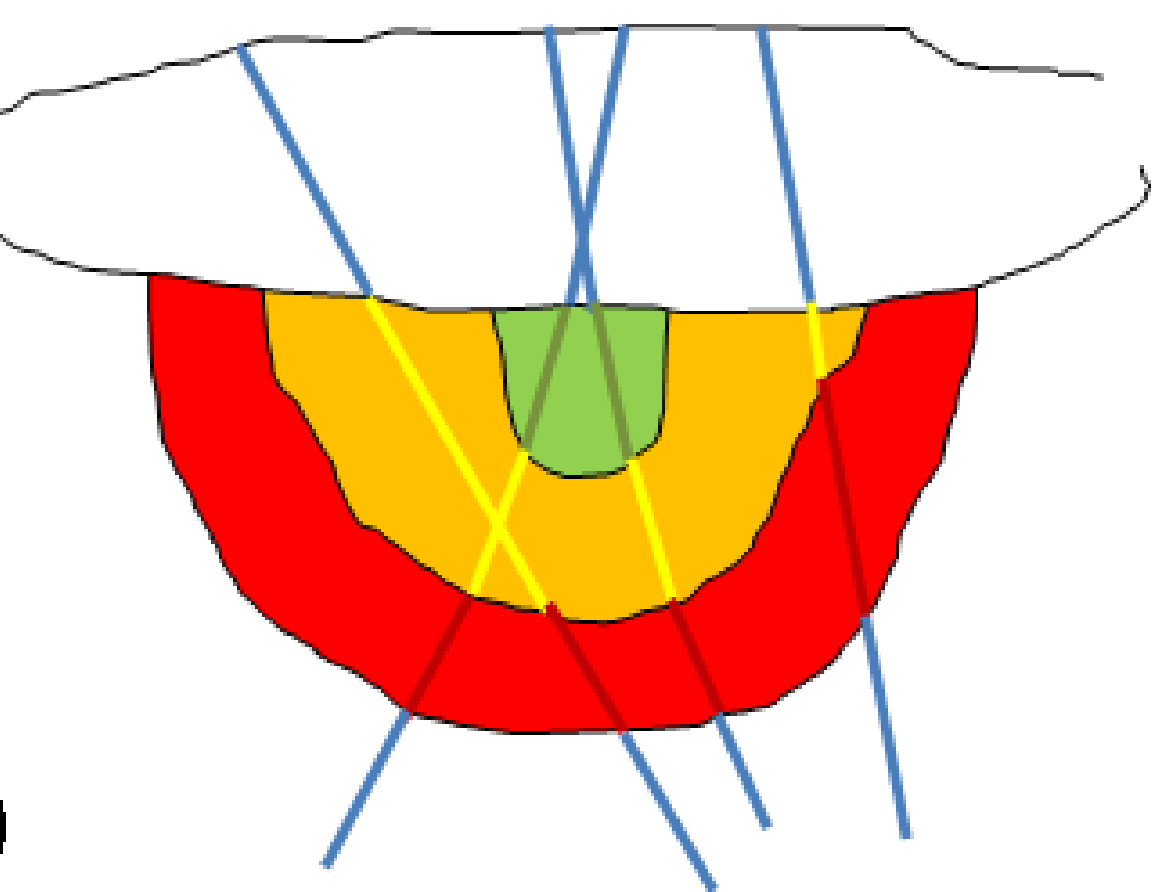
-  Medido
-  Indicado
-  Inferido

200Mton / 5000 metros

# Metodología



# Metodología



## Leyenda

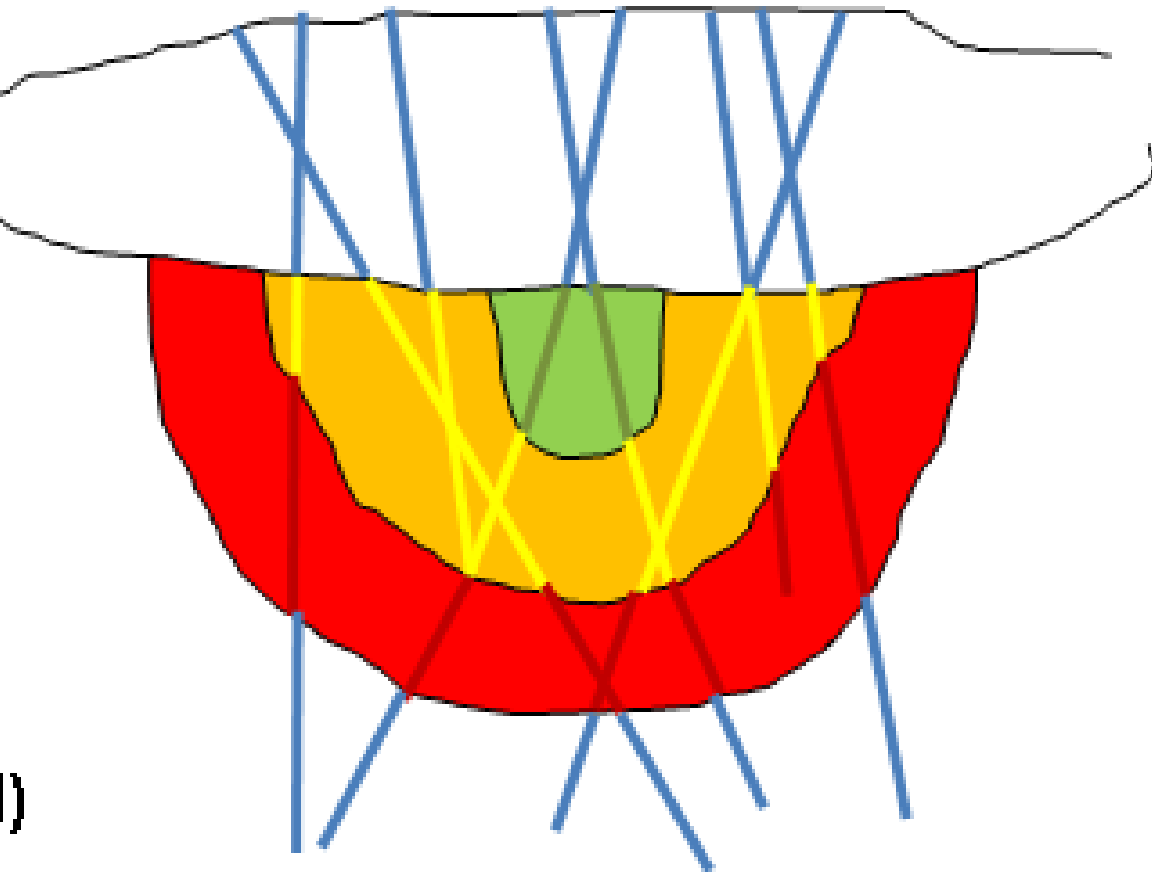
-  Medido
-  Indicado
-  Inferido

# Metodología

## Leyenda

-  Medido
-  Indicado
-  Inferido

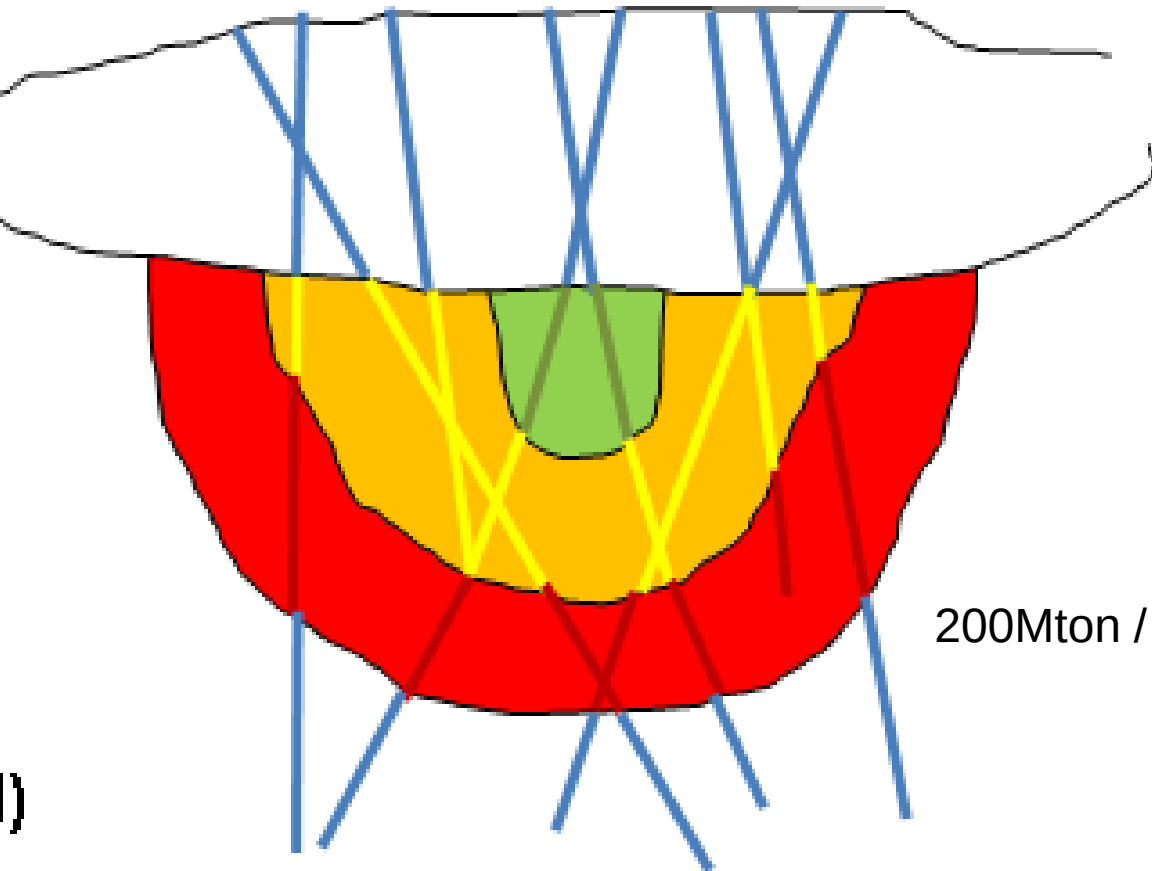
Se agregan 3000 mt  
en indicados



# Metodología

## Leyenda

-  Medido
-  Indicado
-  Inferido



200Mton / 8000 metros = 25000 ton/metro

# Benchmarking

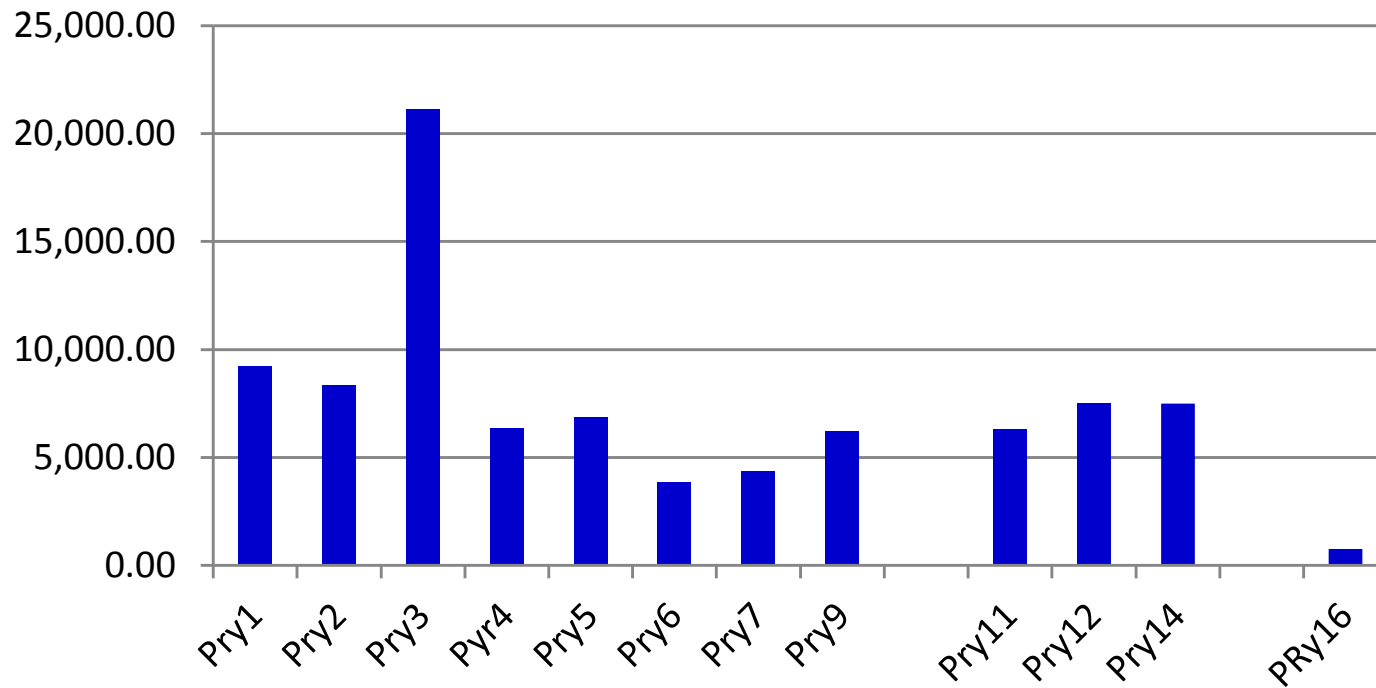
- 16 depósitos de cobre
  - Mayoritariamente Chile
  - 6 operaciones y resto proyectos
  - Características geológicas principales conocidas 15
- 15 pórfidos cupríferos y un estrato-ligado
- Depósitos de: Codelco, AMSA, Xstrata copper, AngloAmerican entre otros...

# **Toneladas / metros de sondajes Sulfuros**



# Ton/metros categoría medido

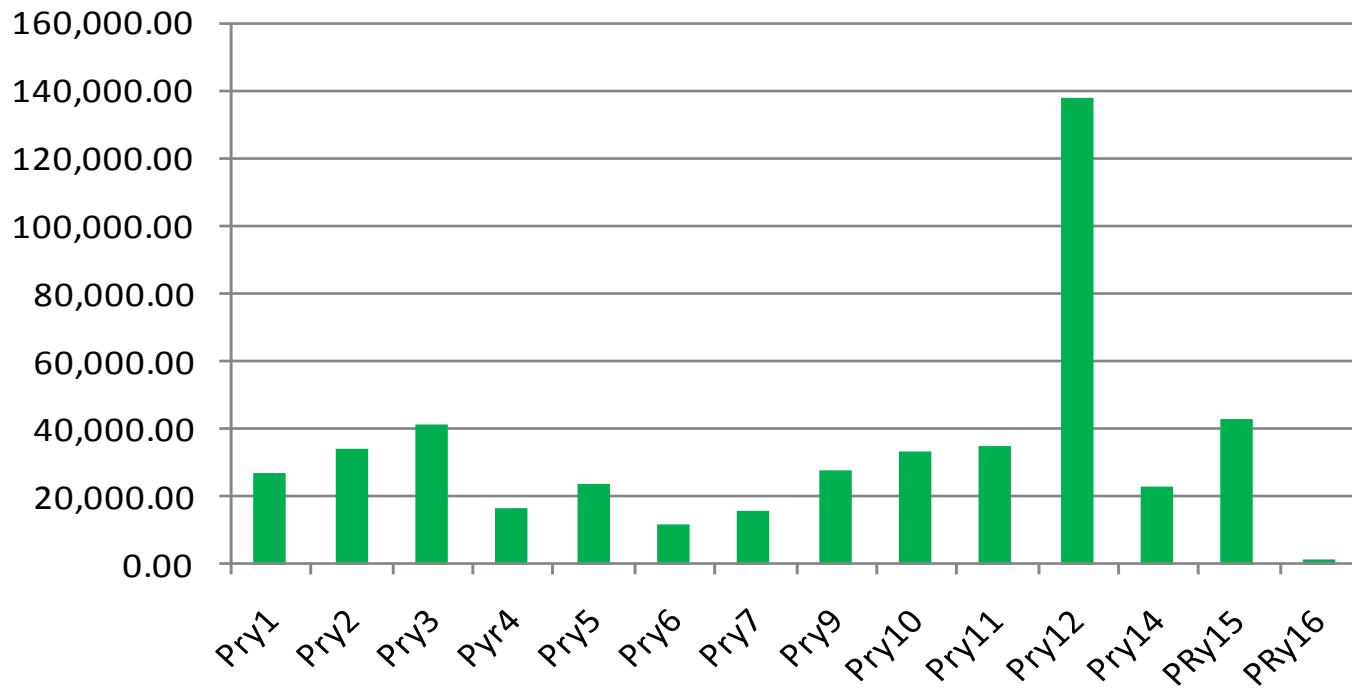
Medido Sulfuros [Ton/m]



- Medido promedio 6500 ton/metro (sin 3 y 16)

# Ton/metros categoría indicado

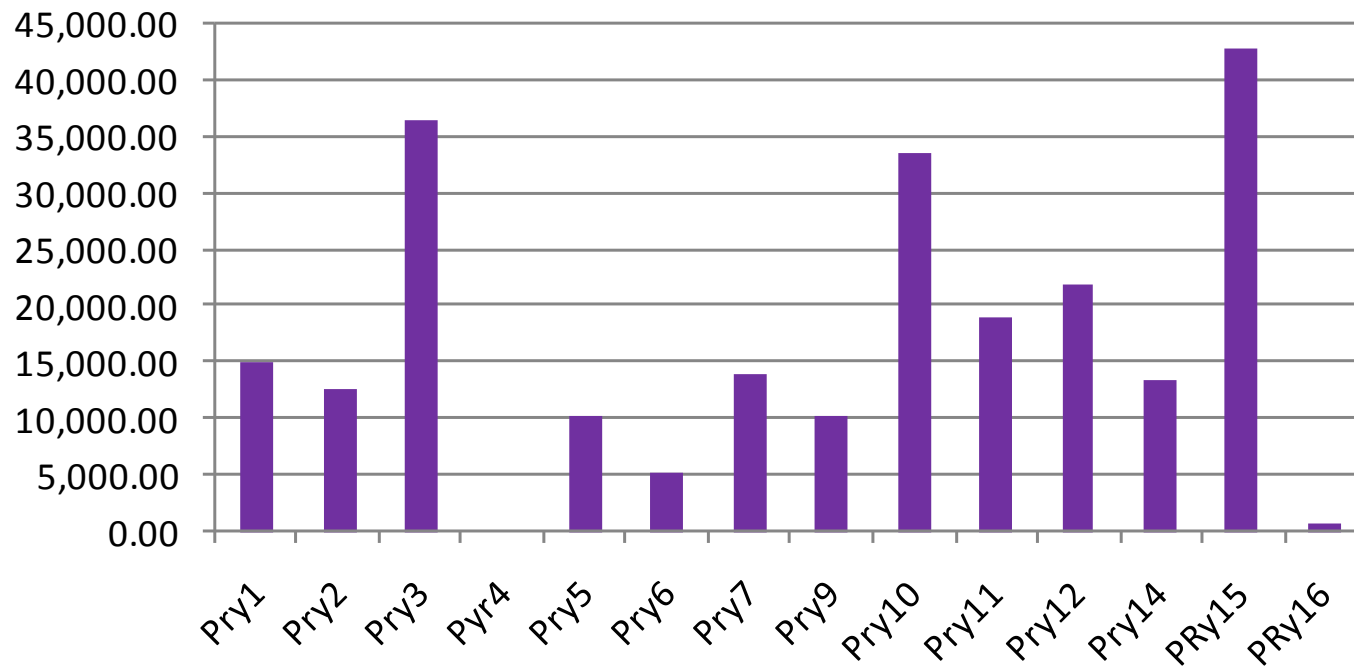
Indicado Sulfuros [Ton/m]



- Medido promedio 27700 ton/metro (sin 12 y 16)

# Ton/metros categoría medido + indicado

**Demostrado Sulfuros [Ton/m]**

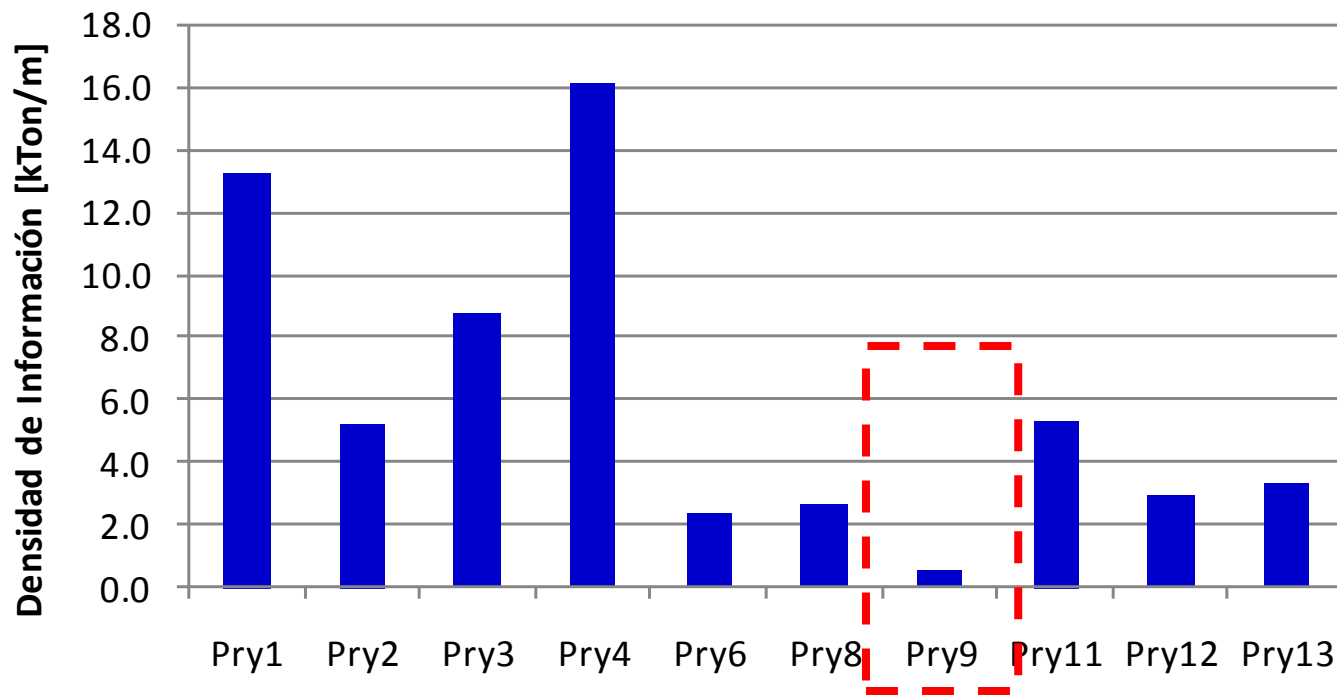


- **Medido promedio 18150 ton/metro**

# **Toneladas / metros de sondajes Óxidos**

# Ton/metros categoría medido

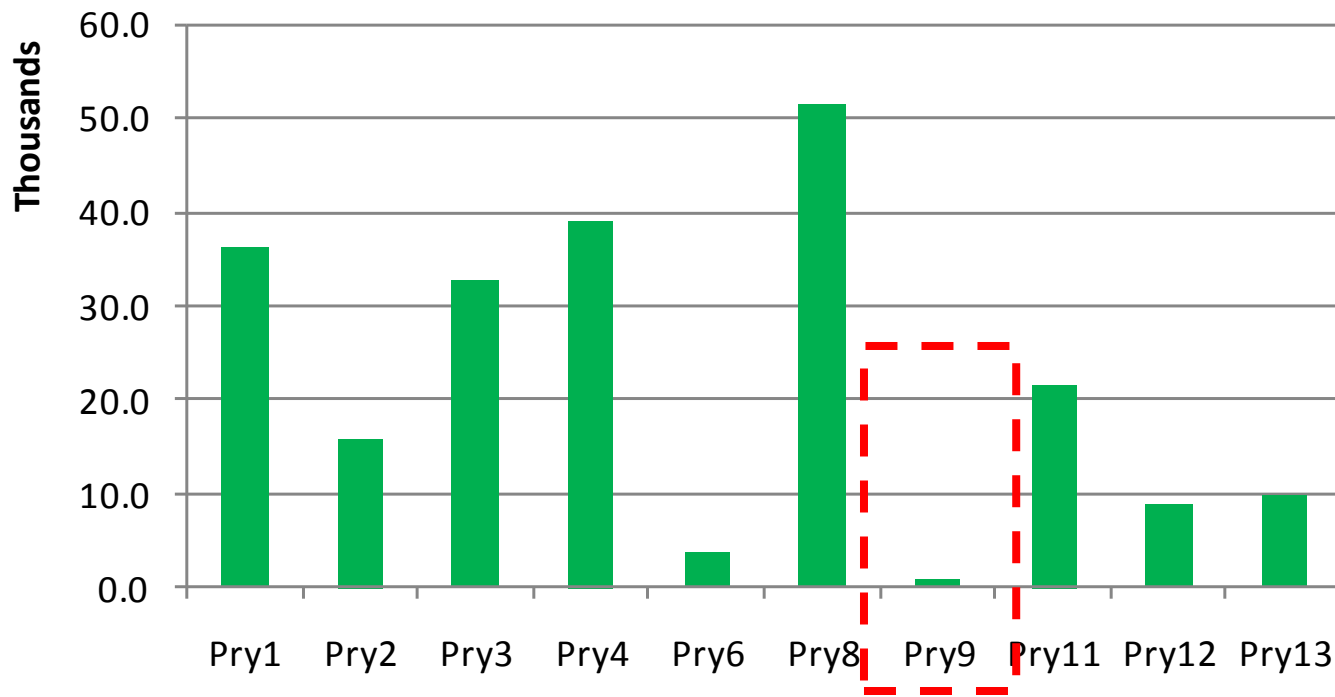
## Medido Óxidos [Ton/m]



- Medido promedio 5500 ton/metro (elimando 2 extremos)

# Ton/metros categoría indicado

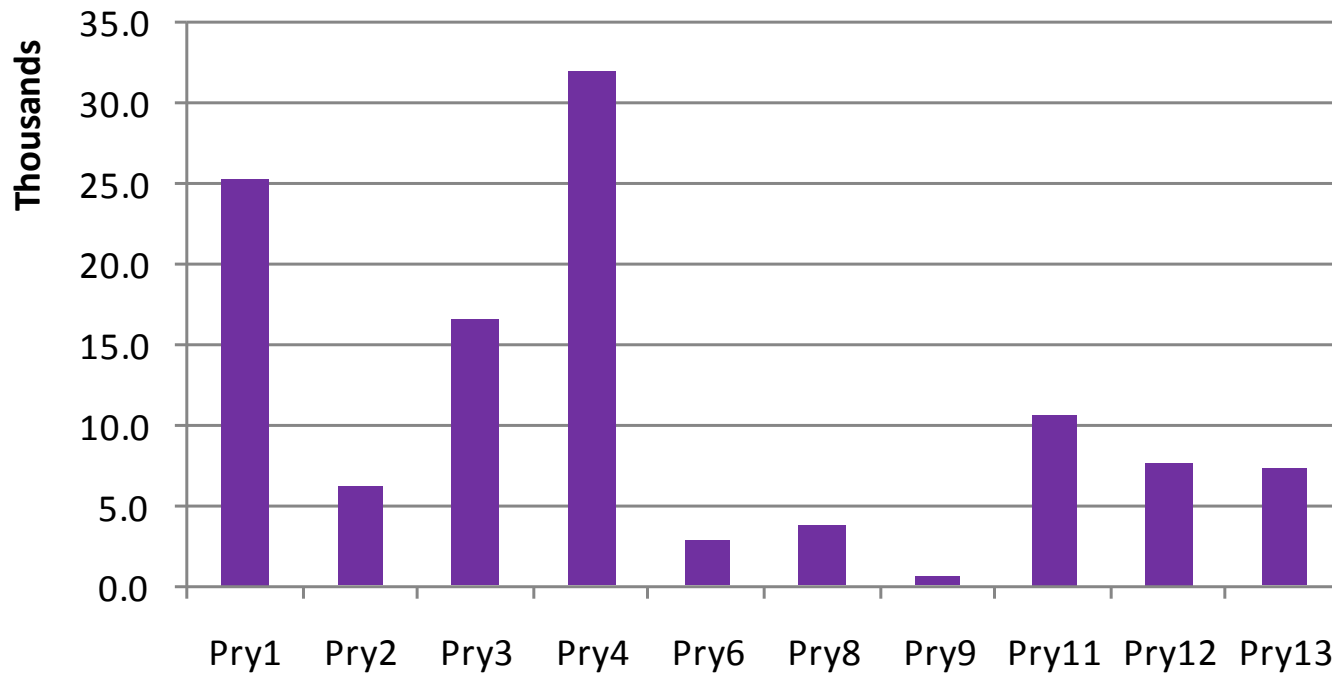
Indicado Óxidos [Ton/m]



- Medido promedio 21000 ton/metro

# Ton/metros categoría medido + indicado

**Demostrado Óxidos [Ton/m]**



- **Medido promedio 10000 ton/metro (eliminado 2 extremos)**

# Discusión 1

- Benchmarking (en construcción)
  - Requiere conocimiento de distintos de depósitos
- Contextualizar la categorización de un depósito
- Usa una métrica reproducible
- Metros efectivos en mineralización, no considera sobrecarga (+- 70%)
- Regla de mano para estimar cantidad de metros

## Discusión 2

- Ejemplo: 1000 Mton para indicar en promedio (27700)
  - → 36100 metros efectivos
  - Asumiendo 70% en mineralización 51000 metros

# Conclusiones (1)

- Cada depósito tiene características
  - Falta QA QC de mapeo geológico
  - Modelo geológico (Testear hipótesis)
- Industria minera debe avanzar en realizar benchmarking técnicos para minimizar costos operacionales y inversionales
  - Número de muestras geometalúrgicas

## Conclusiones (2)

- En resumen el benchmarking basado

|                   | Sulfuros   | Óxidos     |
|-------------------|------------|------------|
|                   | Ton/metros | Ton/metros |
| Medido            | 6,500      | 5,500      |
| Indicado          | 27,700     | 21,000     |
| Medido + Indicado | 18,150     | 10,000     |



Muchas gracias!!!

