



## WORKSHOP ASGMI

Noviembre 2025

# PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE MUESTRAS EN LA EXPLORACIÓN GEOQUÍMICA

**SERNAGEOMIN – CHILE**

**Felipe Astudillo  
Rafael Mardones**

# CONTENIDO

## OBJETIVO

## DEFINICIONES Y METODOLOGÍAS

- Tipos de errores
- Estimación del error
- Muestras de Control
- Estrategia para el armado de lotes de muestras

## PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD

- Control de los Lotes de Muestras
- Evaluación de la Exactitud
- Evaluación de la Precisión
- Informe de Control de Calidad

# OBJETIVO

En la exploración geoquímica, el control de calidad corresponde a un conjunto de procedimientos que tienen el objetivo de **garantizar la confiabilidad de los datos.**

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar la **confiabilidad** de los lotes de muestras
- Verificar la **exactitud** de los datos
- Verificar la **precisión** de los datos



# **DEFINICIONES Y METODOLOGÍAS**

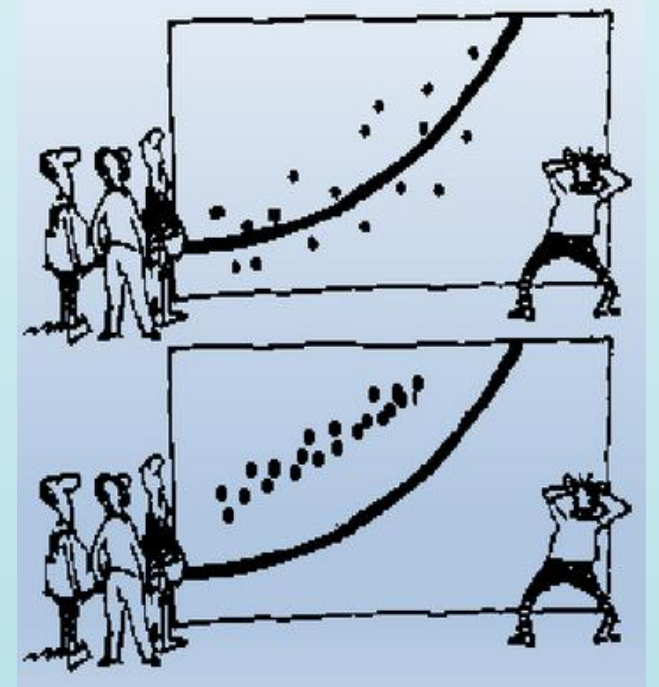
# TIPOS DE ERRORES

## ERRORES ALEATORIOS

Variaciones impredecibles en los resultados, causadas por **factores naturales** como, por ejemplo, la heterogeneidad del sedimento en el área de muestreo.

## ERRORES SISTEMÁTICOS

Desviaciones constantes en los resultados, provocadas por procedimientos incorrectos que generan sesgos.



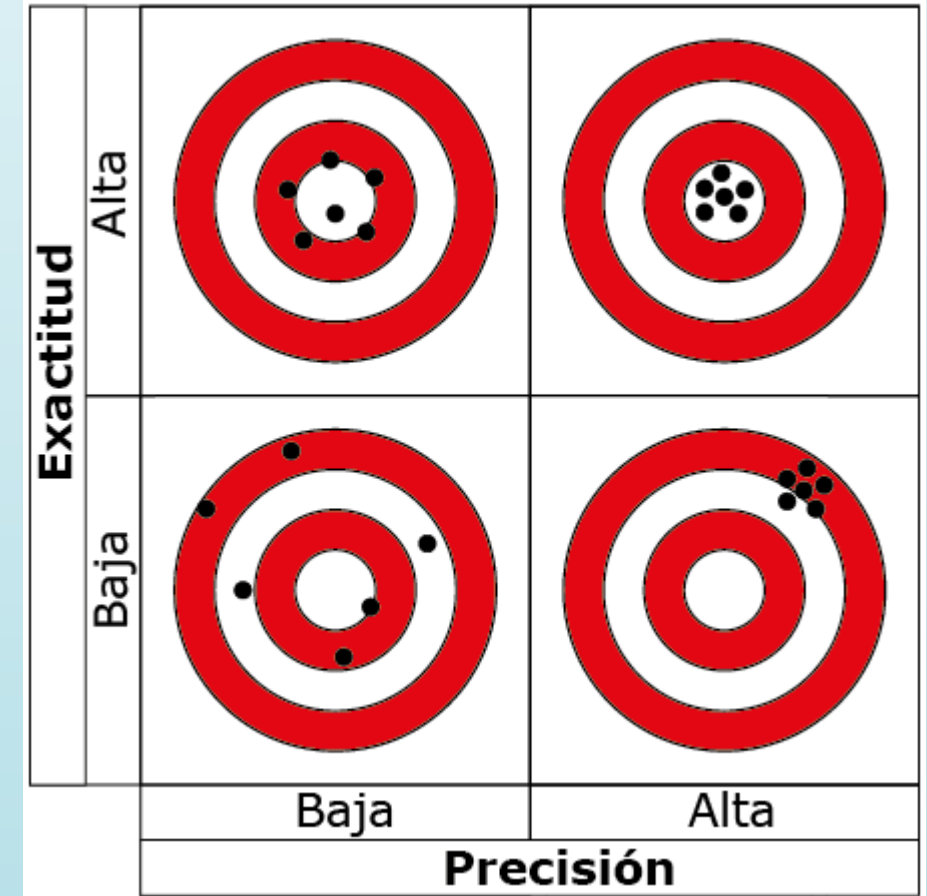
# ESTIMACIÓN DEL ERROR

## EXACTITUD

Proximidad de una medición a un valor conocido (certificado). Refleja el efecto de los **errores sistemáticos**.

## PRECISIÓN

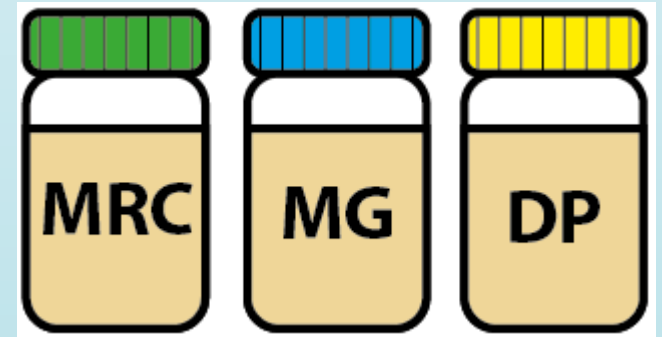
Habilidad de repetir consistentemente los resultados de una medición (bajo condiciones similares). Refleja el efecto de los **errores aleatorios**.



# MUESTRAS DE CONTROL

Para implementar un programa de control de calidad, es necesario incorporar en el flujo de análisis muestras de control.

- Material de referencia certificado (MRC)
- Muestra gemela (MG)
- Duplicado de pulpa (DP)

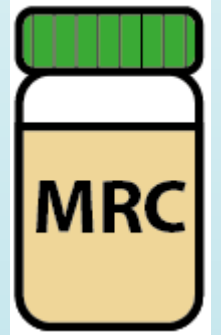


Frascos preparados con muestras para el análisis químico.

# MUESTRAS DE CONTROL

## MATERIAL DE REFERENCIA CERTIFICADO (MRC)

Muestra con valores químicos conocidos y certificados, **adquirida** de laboratorios acreditados.



Usos principales:

- **Verificar la confiabilidad** de los lotes de muestras.
- **Evaluar la exactitud** de los análisis químicos.

Entre el **3% y el 5%** de las muestras enviadas a análisis son de MRC.



### CCRMP

Canadian Certified Reference Materials Project

CANMET Mining and Mineral Sciences Laboratories  
555 Booth Street, Ottawa, Ontario, Canada K1A 0G1  
Tel.: (613) 995-4738, Fax: (613) 943-0573  
E-mail: [ccrmp@nrcan.gc.ca](mailto:ccrmp@nrcan.gc.ca)  
[www.ccrmp.ca](http://www.ccrmp.ca)

# MUESTRAS DE CONTROL

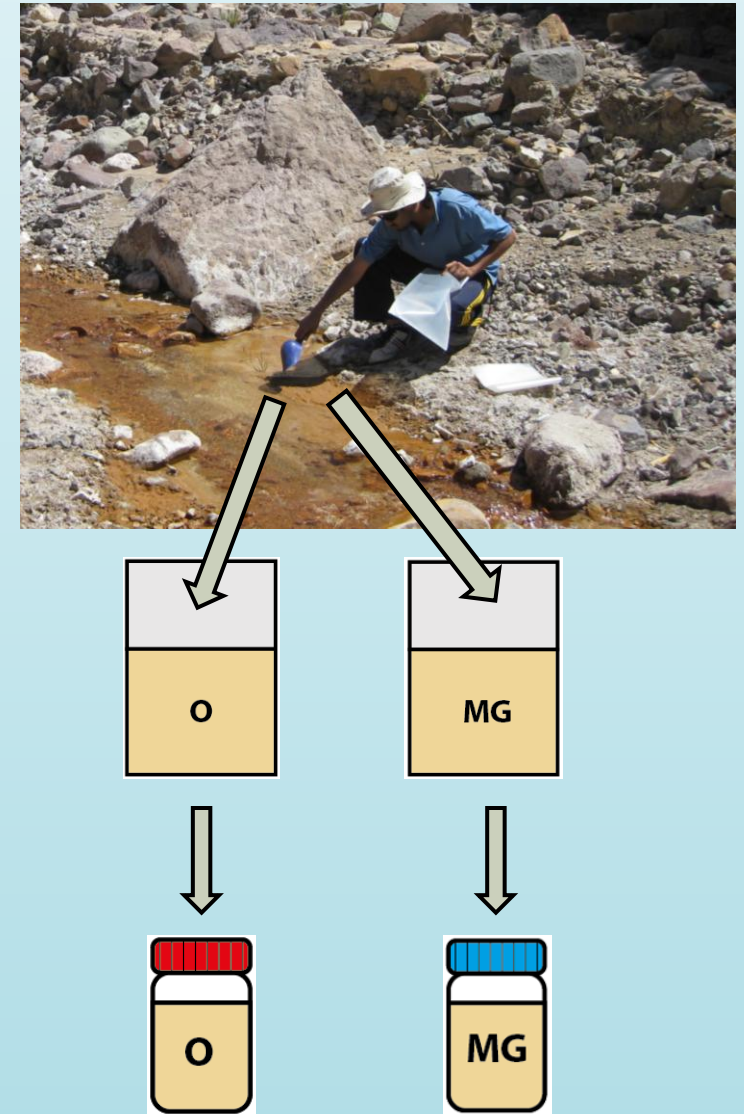
## MUESTRA GEMELA (MG)

Muestra **recolectada en terreno**, inmediatamente después de la muestra original (O) y bajo las mismas condiciones.

Uso principal:

- **Evaluar la variabilidad** de los resultados asociada a la **etapa de muestreo** (heterogeneidad geológica).

Entre el **3% y el 5%** de las muestras levantadas en terreno son MG.



# MUESTRAS DE CONTROL

## DUPLICADO DE PULPA (DP)

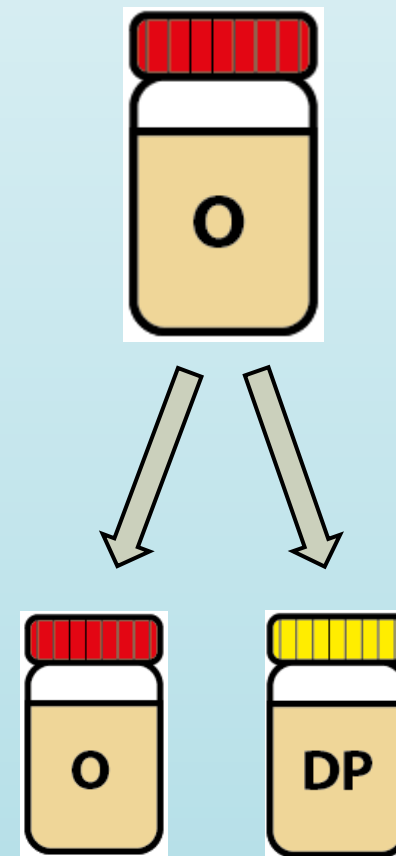
Muestra preparada en el laboratorio al dividir la pulpa\* de una muestra original (O).

Uso principal:

- **Evaluar la precisión** de los resultados del **análisis químico**.

Entre el **3% y el 5%** de las muestras enviada a análisis son de este tipo.

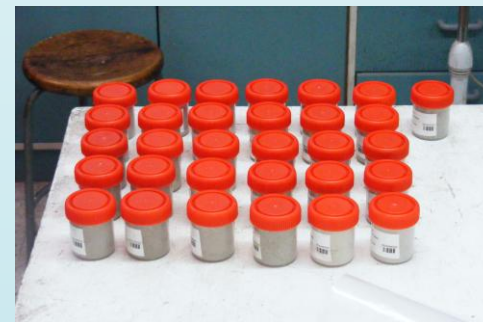
*\*Pulpa: muestra preparada en el laboratorio antes análisis químico. Secado - tamizado - pulverizado.*



# ESTRATEGIA PARA EL ARMADO DE LOTES DE MUESTRAS

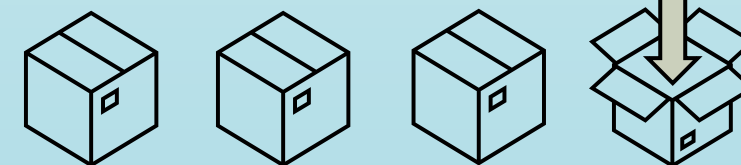
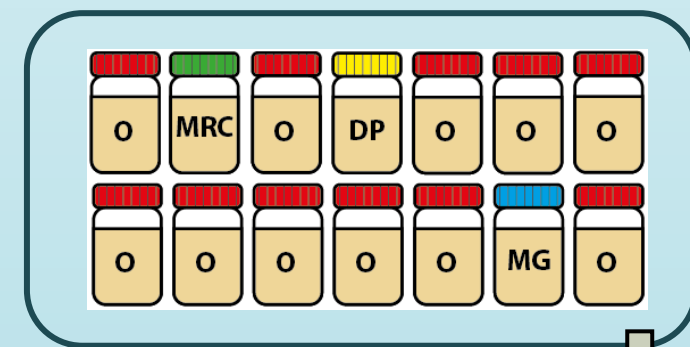
## 1° Dividir en lotes:

Agrupar las muestras originales (O) en función de la cantidad de MRC que se desea incorporar.



## 2° Incorporar muestras de control:

- Cada lote debe tener al menos una muestra de MRC.
- La muestra gemela y su muestra correspondiente deben ir en el mismo lote.
- El duplicado de pulpa y su muestra correspondiente deben ir en el mismo lote.



# PREPARACIÓN DE LOS LOTES DE MUESTRAS

Ejemplo para un caso de 600 muestras:

Tipo de muestra	Cantidad de muestras totales	Cantidad de muestras en Lote 1 de 24
Muestra original (O)	600	25
Muestra gemela (MG)	24 (4%)	1
Duplicado de pulpa (DP)	24 (4%)	1
Material de referencia certificado (MRC)	24 (4%)	1

# **PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD**

# ETAPAS

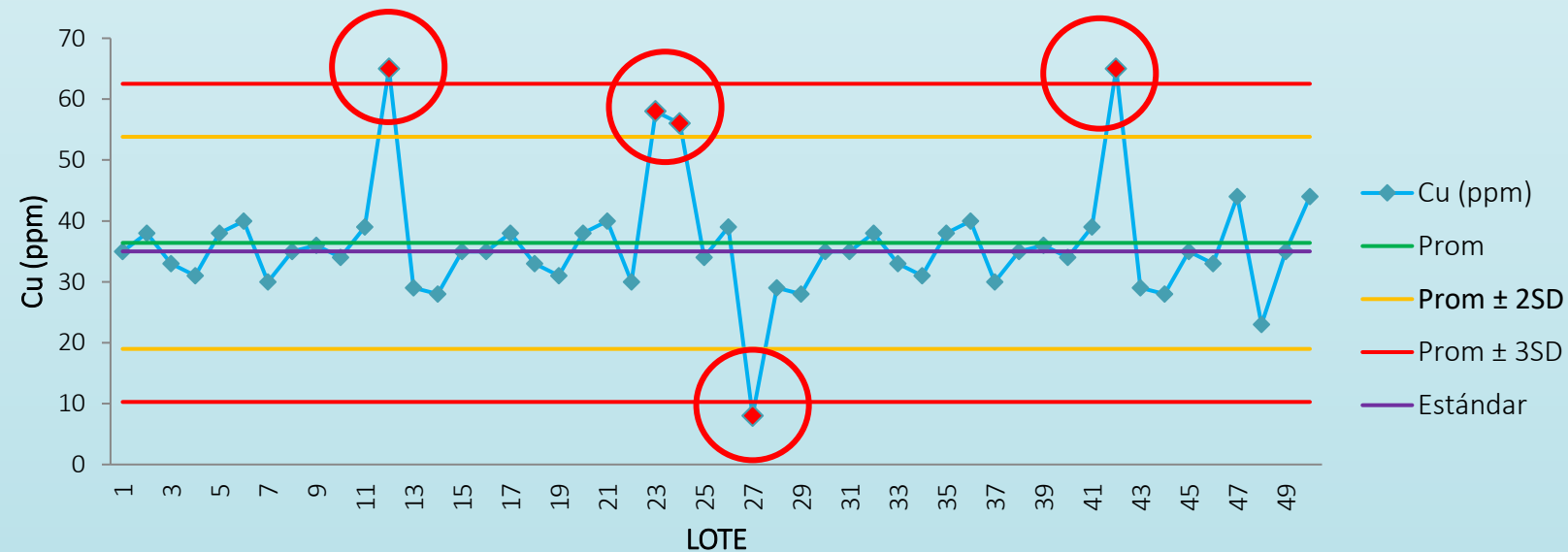
1. **Control de los lotes de muestras.** Se verifica que los resultados de cada lote estén dentro de un **intervalo de confianza**, utilizando las muestras de MRC.
2. **Evaluación de la exactitud** comparando los resultados obtenidos con los valores certificados del MRC.
3. **Evaluación de la precisión** para las etapas de **muestreo** (muestras gemelas), y de **análisis químico** (con duplicados de pulpa).
4. **Informe de Control de Calidad.** Detalla los **resultados obtenidos**, identifica **áreas de mejora** y se proponen **acciones correctivas**.

# CONTROL DE LOS LOTES DE MUESTRAS

Gráfico de control: se comparan las mediciones del MRC con sus valores certificados.

**1°** Se verifica la tendencia de las mediciones del MRC

**2°** Se verifica si las mayores desviaciones se replican en los demás elementos del mismo lote



## Condiciones de rechazo de un lote:

- Más del 10% de los elementos de un mismo lote tienen valores  $> \text{Prom} \pm 3\text{SD}$
- Más del 25% de los elementos de un mismo lote tienen valores  $> \text{Prom} \pm 2\text{SD}$

# CONTROL DE LOS LOTES

## REPORTE DEL CONTROL DE LOTES

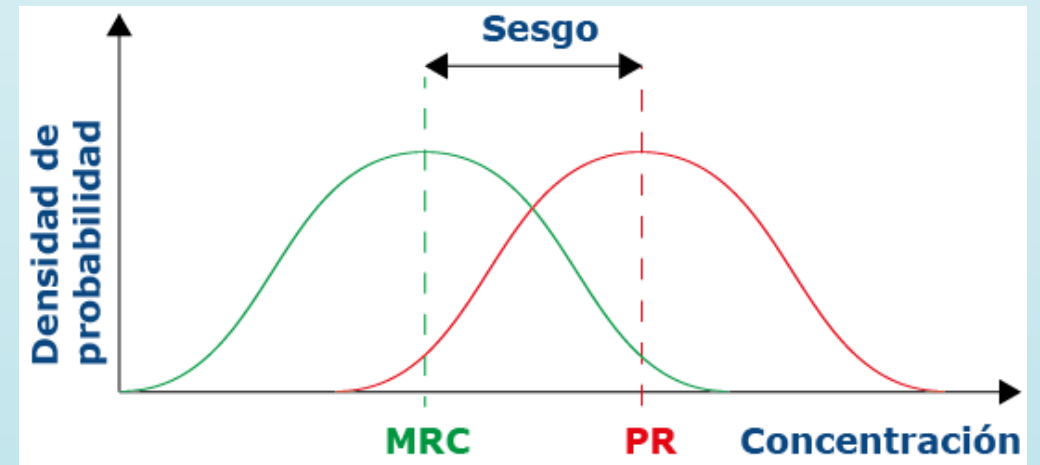
Lote	Elemento fuera de control	Total de elementos fuera de control	% de elementos fuera de control
2015_11	Na-Sr	2	4
2016_21	Y	1	2
2016_22	MgO	1	2
2016_23	-	0	0
2016_24	-	0	0
2016_25	Sn	1	2

# EVALUACIÓN DE LA EXACTITUD

Se determina mediante el **sesgo**. Mide la diferencia porcentual que hay entre una medición y su correspondiente valor conocido (certificado).

Para su cálculo se utiliza el valor certificado del **MRC** y el promedio (**PR**) de sus mediciones en los distintos lotes:

$$\text{Sesgo} = \left( \frac{\text{PR}}{\text{MRC}} - 1 \right) \times 100$$



La **exactitud** de cada elemento se clasifica según la magnitud del sesgo:

- **Alta:**  $|\text{sesgo}| < 10\%$
- **Media:**  $10\% \leq |\text{sesgo}| < 20\%$
- **Baja:**  $|\text{sesgo}| \geq 20\%$

# EVALUACIÓN DE LA EXACTITUD

## REPORTE DE LA EXACTITUD

Elemento	Unidad de medida	Promedio (PR)	Valor certificado (MV)	Sesgo (%)	Alta $ \text{Sesgo}  < 10\%$	Medio $10\% <  \text{Sesgo}  < 20\%$	Baja $20\% <  \text{Sesgo} $
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	10,94	10,9	0,34	x	-	-
Dy	ppm	5,42	5,4	0,38	x	-	-
Nd	ppm	32,82	33	0,55	x	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	6,10	6,2	1,64	x	-	-

# EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN

Se mide utilizando el **error relativo (ER)**. Corresponde a la diferencia porcentual que hay entre los resultados de dos mediciones repetidas.

$$ER = \frac{|V_0 - V_d|}{(V_0 + V_d)/2}$$

Donde:

- $V_0$  : Concentración de la muestra original
- $V_d$  : Concentración de la muestra gemela o duplicada

Etapas controladas	Tipo de muestra de control	¿Qué es lo que se evalúa?
Muestreo	Muestra Gemela	Repetibilidad del muestreo
Análisis Químico	Duplicado de Pulpa	Consistencia de las mediciones

# EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN

## 1º Grafico de evaluación

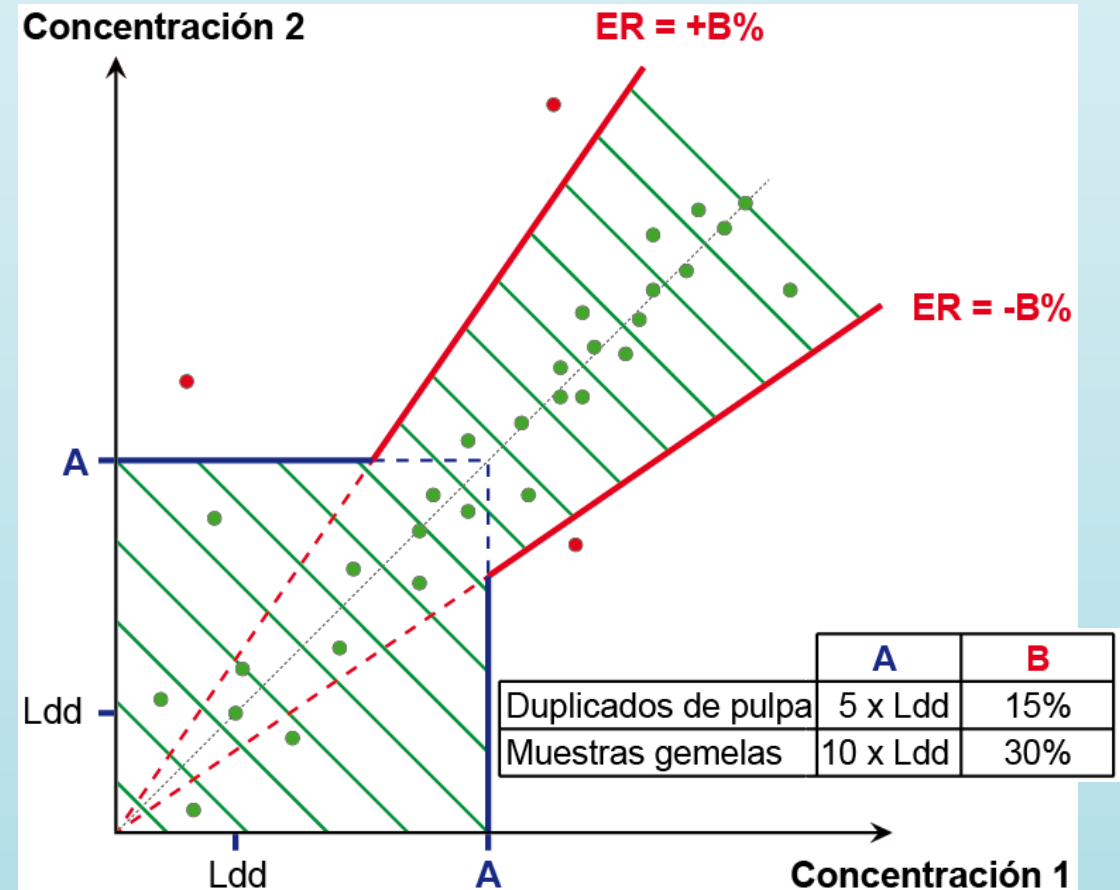
- Límites de tolerancia para el **ER**
- Límites de tolerancia para el **Ldd**
- Pares de muestras **O/MG** u **O/DP**

## 2º Calcular parámetro "FR"

Porcentaje de mediciones fuera de los límites de tolerancia (FR: Fuera de rango).

**3º Evaluar la precisión** de cada elemento según el valor de **FR**:

- **Aceptable:**  $FR < 10\%$
- **Poco aceptable:**  $10\% \leq FR < 20\%$
- **Cuestionable:**  $FR \geq 20\%$



# EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN

## REPORTE DE LA PRECISIÓN

Elemento	Muestras gemelas			Precisión del muestreo		
	Pares de muestras	Total fallos	% de pares fallidos (FR)	Aceptable	Poco aceptable	Cuestionable
				FR < 10%	10% < FR < 20%	FR > 20%
B ppm	40	3	8	x	-	-
Hf ppm	40	3	8	x	-	-
Th ppm	40	3	8	x	-	-
Zr ppm	40	3	8	x	-	-
Au ppb	40	2	5	x	-	-

# INFORME DE CONTROL DE CALIDAD

**1.Datos de identificación del análisis:** fecha, laboratorio, lotes, tipos de muestra, entre otros.

**2.Resultados del control:** evaluación de los lotes, evaluación de la exactitud y precisión.

**3.Interpretación:** identificar las principales imprecisiones y sus posibles causas.

**4.Recomendaciones:** identificar mejoras en los procesos y proponer acciones correctivas.



# REFERENCIAS

- Oliva, P.; Astudillo, F.; Lacassie, J.P.; Mardones, R.; Baeza, L.; Barrera, J.; Carrasco F.; Espinoza, F.; Miralles, C.; Ramírez, C. 2022. Base de datos de geoquímica de sedimentos de la Hoja Taltal, regiones de Antofagasta y de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Base de Datos 11: 33 p., 1 base de datos, 1 anexo (1 DVD versión 1.0). Santiago.
- Oliva, P.; Astudillo, F.; Lacassie, J.P.; Mardones, R.; Águila, B.; Díaz, A.; López, G. 2024. Base de datos de geoquímica de sedimentos de la Hoja Aguas Blancas, región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Base de Datos 14: 30 p., 1 base de datos, 1 anexo. Santiago.
- Simón, A. (2011). Applications and Experiences of Quality Control. Chapter 30. A Discussion on Current Quality Control. Practices in Mineral Exploration. AMEC International Ingeniería y Construcción Ltda. Chile. URL: <http://www.intechopen.com/books/applications-and-experiences-of-quality-control/a-discussion-on-current-quality-control-practices-in-mineral-exploration>
- Simón, A. (2014). Taller de Aseguramiento y control de la Calidad en la Exploración Geológica. Sesión 9. Control de la Calidad. AMEC International Ingeniería y Construcción Ltda.
- Simón, A. (2014). Aseguramiento y Control de la Calidad en la Exploración Geológica. AMEC International Ingeniería y Construcción Ltda. Chile. URL: <http://es.scribd.com/doc/197426201/QAQC-EN-GEOLOGIA#scribd>
- Simón, A. (2014). AMEC International Ingeniería y Construcción Ltda. Control Sample Insertion Rate: Is There an Industry Standard. URL: <http://es.scribd.com/doc/185455015/Microsoft-PowerPoint-02-Taller-de-ACC-Aseguramiento-de-La-Calidad-V6-3#scribd>

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

**SERNAGEOMIN – CHILE**

**Felipe Astudillo  
Rafael Mardones**