



PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE CALIDAD DE MUESTRAS EN LA EXPLORACIÓN GEOQUÍMICA

WORKSHOP ASGMI

Noviembre 2025

SERNAGEOMIN – CHILE

Felipe Astudillo
Rafael Mardones



SERNAGEOMIN
Ministerio de Minería

Gobierno de Chile

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

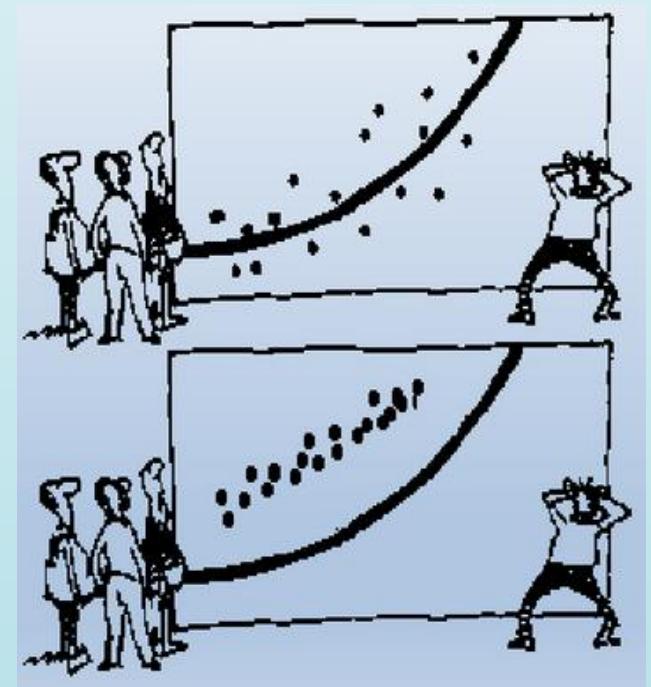
TIPOS DE ERRORES

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.



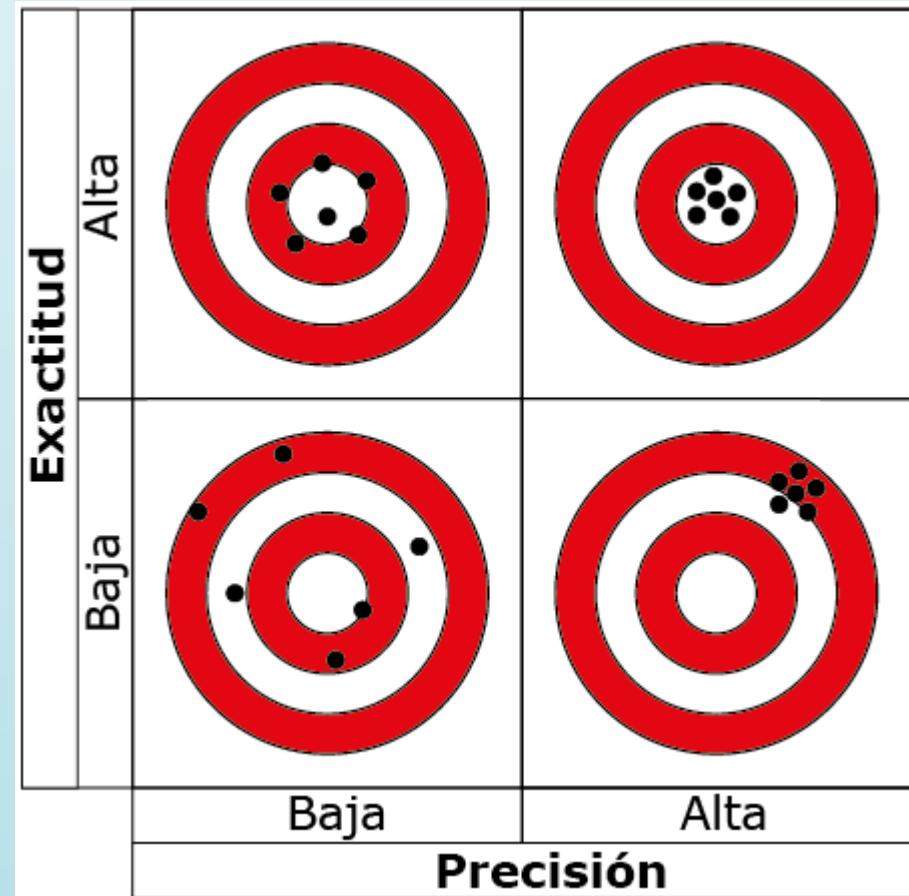
ESTIMACIÓN DEL ERROR

EXACTITUD

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

PRECISIÓN

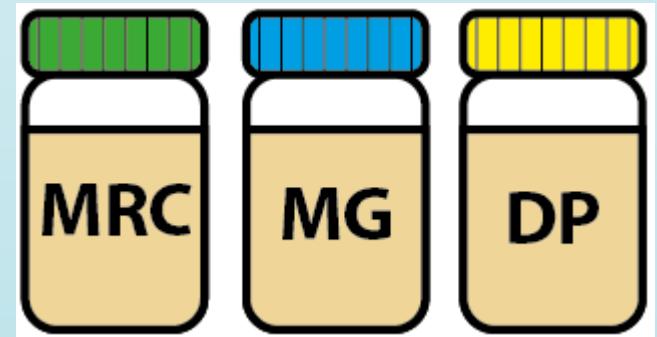
Habilidad de repetir consistentemente los resultados de una medición (bajo condiciones similares). Refleja el efecto de los **errores aleatorios**.



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)

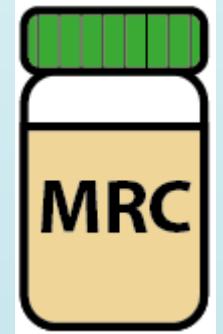


Frascos con muestras preparados para el análisis químico.

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

www.ccrmp.ca

MUESTRAS DE CONTROL

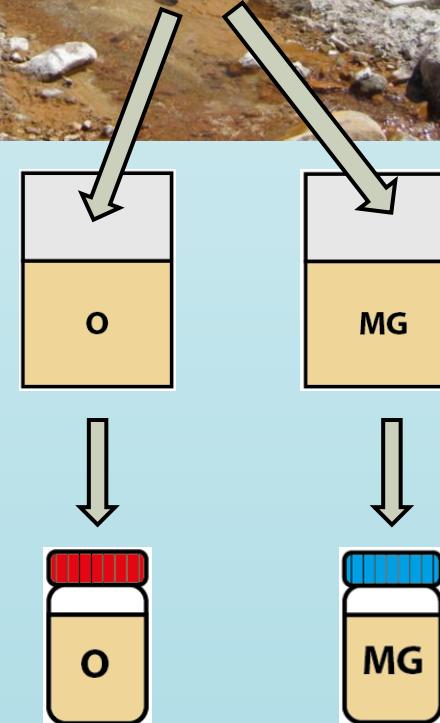
MUESTRA GEMELA (MG)

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)

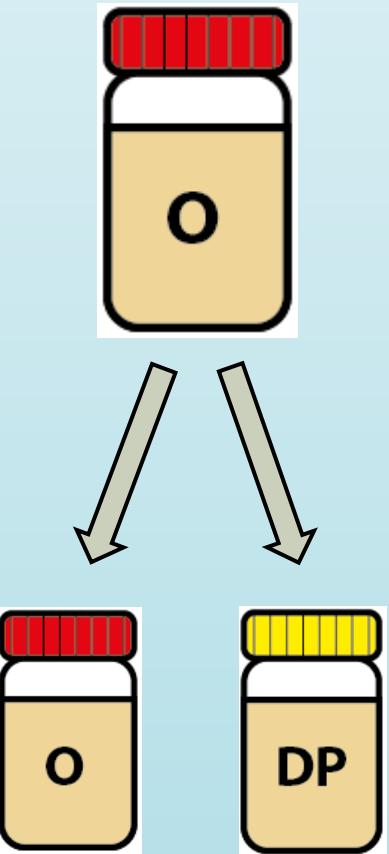
Muestra preparada en el laboratorio al dividir la pulpa* de una muestra original (O).

Uso principal:

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

Entre el **3%** y el **5%** de las muestras enviadas 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

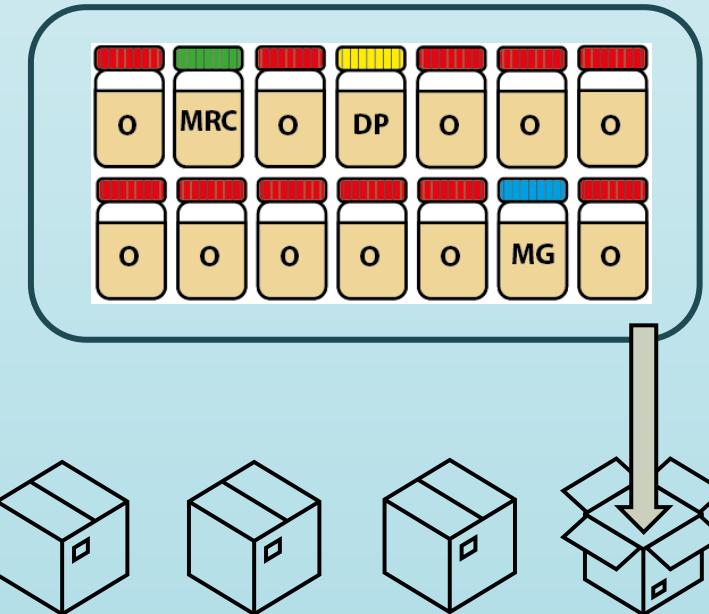
1º Dividir en lotes:

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



2º 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

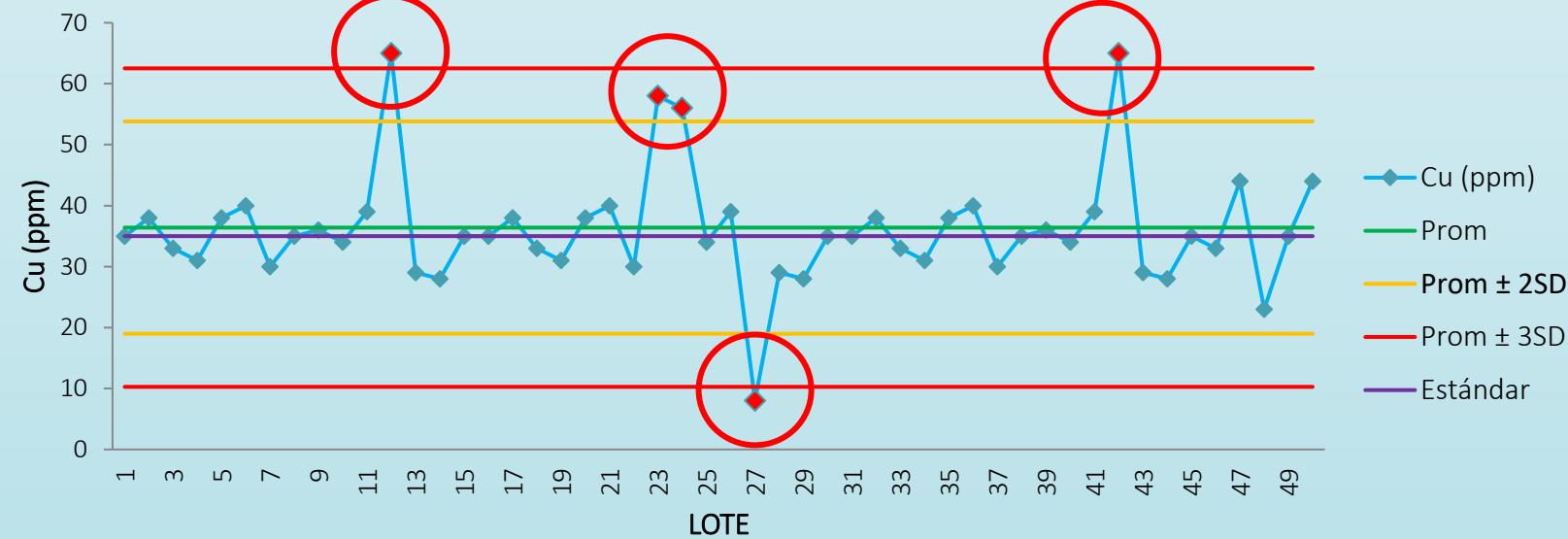
1. **Control de los lotes de muestras.** Se verifica que los resultados de cada lote estén dentro de un intervalo de confianza, utilizando las muestras de MRC.
2. **Evaluación de la exactitud** comparando los resultados obtenidos con los valores certificados del MRC.
3. **Evaluación de la precisión** 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.

1º Se verifica la tendencia de las mediciones del MRC

2º 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

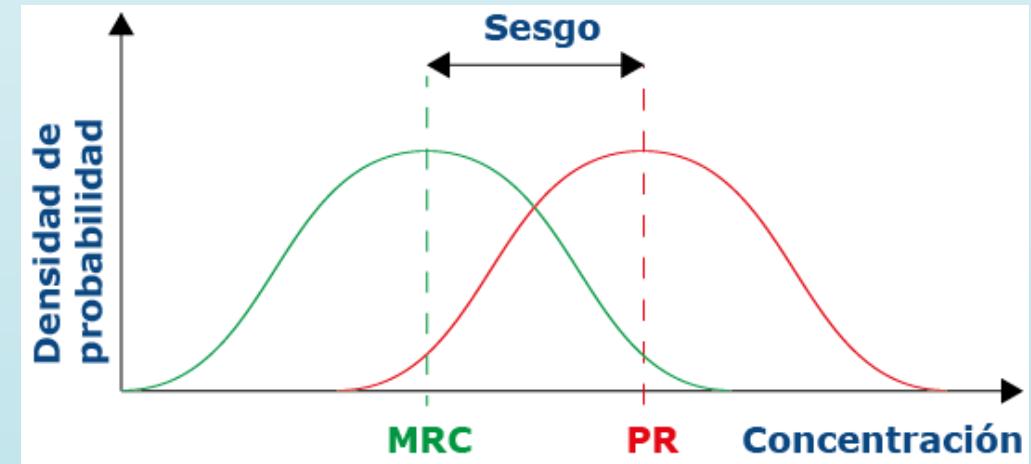
Lote	Elemento fuera de control	Total de elementos fuera de control	% de elementos fuera de control
2015_11	Na-Sr	2	4
2016_21	Y	1	2
2016_22	MgO	1	2
2016_23	-	0	0
2016_24	-	0	0
2016_25	Sn	1	2

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 Sesgo <10%	Medio 10%< Sesgo <20%	Baja 20%< Sesgo
Al ₂ O ₃	%	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 ₂ O ₃	%	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

Etapa controlada	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

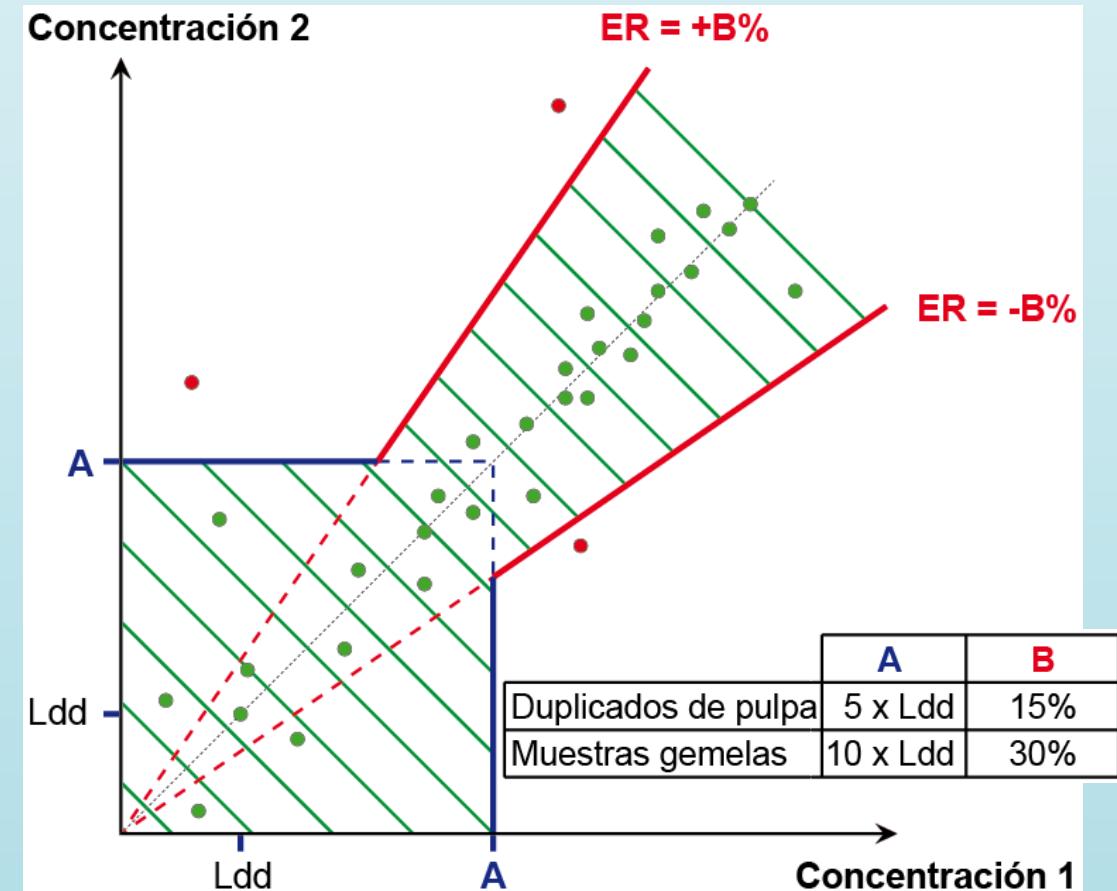
- Límites de tolerancia para el **ER**
- Límites de tolerancia para el **Ldd**
- Pares de muestras **O/MG** u **O/DP**

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:** $FR \geq 20\%$



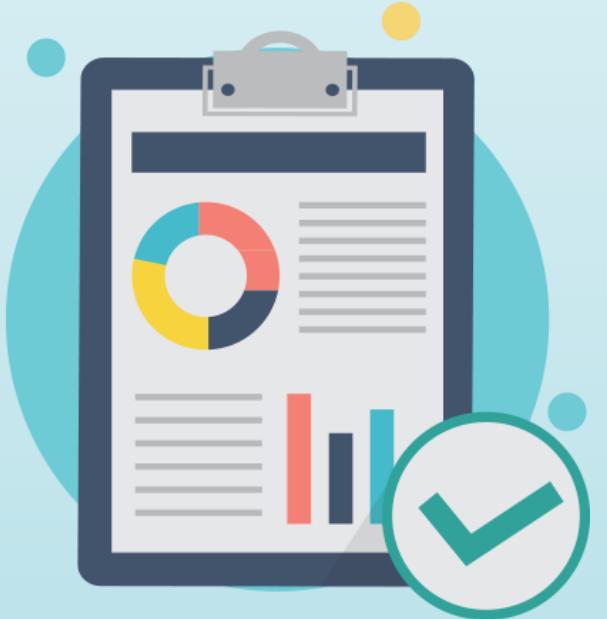
EVALUACIÓN DE LA PRECISIÓN

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**



SERNAGEOMIN
Ministerio de Minería

Gobierno de Chile

