

*Primera Jornada de Forénsica Ambiental
6 y 7 de abril de 2016*



FORÉNSICA AMBIENTAL EN MINERÍA: CASOS DE ESTUDIO

*María Carolina Soto
Gerencia Sustentabilidad*

Forénsica Ambiental - Introducción

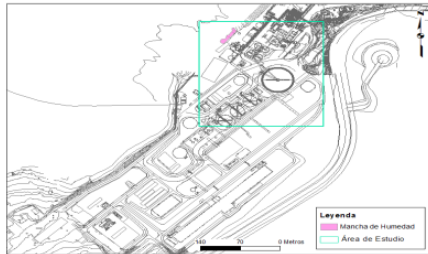
- La **forénsica ambiental** es un área de creciente interés dentro de la disciplina ambiental, cuyo objetivo es responder a la necesidad de evaluar el **origen** y la **extensión** de **potenciales contaminantes** derivados de procesos industriales, los que pueden afectar distintas matrices ambientales (agua, suelo, sedimento, aire, biodiversidad).
- La metodología permite determinar el origen de la contaminación, investigar las vías y la contribución de distintas fuentes, ya sean naturales o antrópicas, a la formación de la misma, permitiendo evaluar los impactos ambientales asociados a dicha contaminación y sus respectivas medidas de mitigación.



Metodología

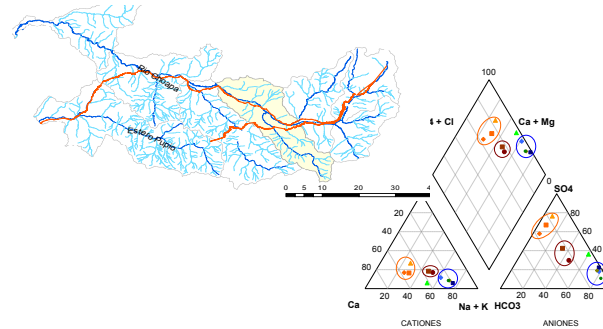
ETAPA 1

Identificación del problema y definición del área de interés



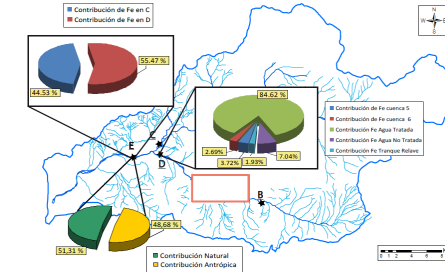
ETAPA 2

Caracterización Química y/o Delimitación de la Contaminación



ETAPA 3

Determinación del origen y contribución de las fuentes



Proponer e implementar medidas de gestión

Levantamiento y sistematización de información ambiental actual e histórica que puede ser utilizada en otros estudios

Metodología

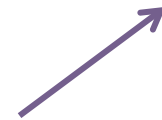
ETAPA 1

Identificación del problema y definición del área de interés



- Revisión de antecedentes históricos y estudios previos
- Visitas a terreno
- Ajustes metodológicos
- Identificación de fuentes potenciales

Fuentes Potenciales



Naturales: Unidades geológicas, zonas de alteración, fuentes geotermales, arrastres fluviales, otros.



Antrópicas: Actividades agrícolas, ganaderas, mineras, industriales, asentamientos humanos, otras fuentes fijas.



Metodología

ETAPA 2

Caracterización
Química y/o
Delimitación de la
Contaminación



- Diseño y ejecución del plan de muestreo
- Aplicación de diferentes técnicas y análisis
 - Depende del objetivo del estudio
 - Depende de la información existente
 - Depende del presupuesto
- Importancia del background
- Calidad de laboratorios

ETAPA 3

Determinación del
origen y
contribución de las
fuentes



- Distintos métodos de análisis de los resultados



Casos de estudio: experiencias en minería

Caso N°1

Objetivo: caracterizar y establecer el origen de una “mancha de humedad” con el fin de proponer eventuales medidas de mitigación.

Muestreo:

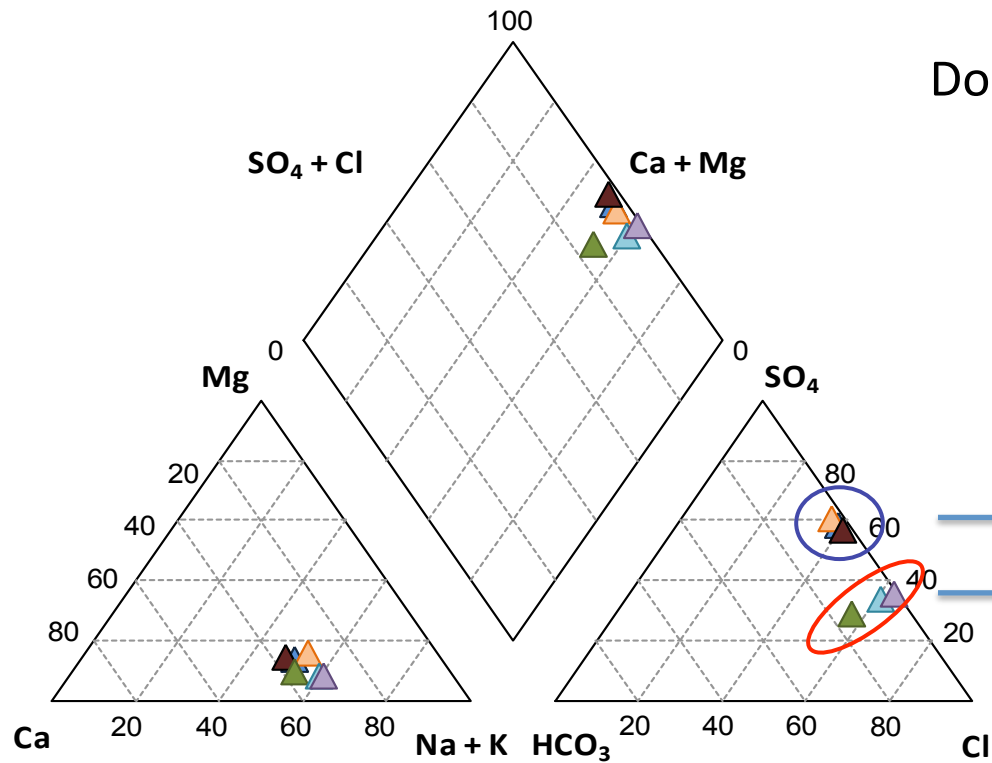
- Precipitado sector humedad
- Suelo sector humedad y background
- Aguas de proceso de 4 fuentes diferentes
- Agua potable
- Entrada y Salida Planta de Tratamiento de aguas servidas



Tipo de muestra	Análisis
Agua proceso	ICP-Masa, cationes y aniones
Agua potable	ICP-Masa, cationes y aniones
PTAS	ICP-Masa, cationes y aniones
Precipitado	ICP-Masa, mineralogía (DRX)
Suelo background	ICP-Masa, mineralogía (DRX)

Resultados

- **Cationes y Aniones: Clasificación de aguas**



Dos tipos de agua:

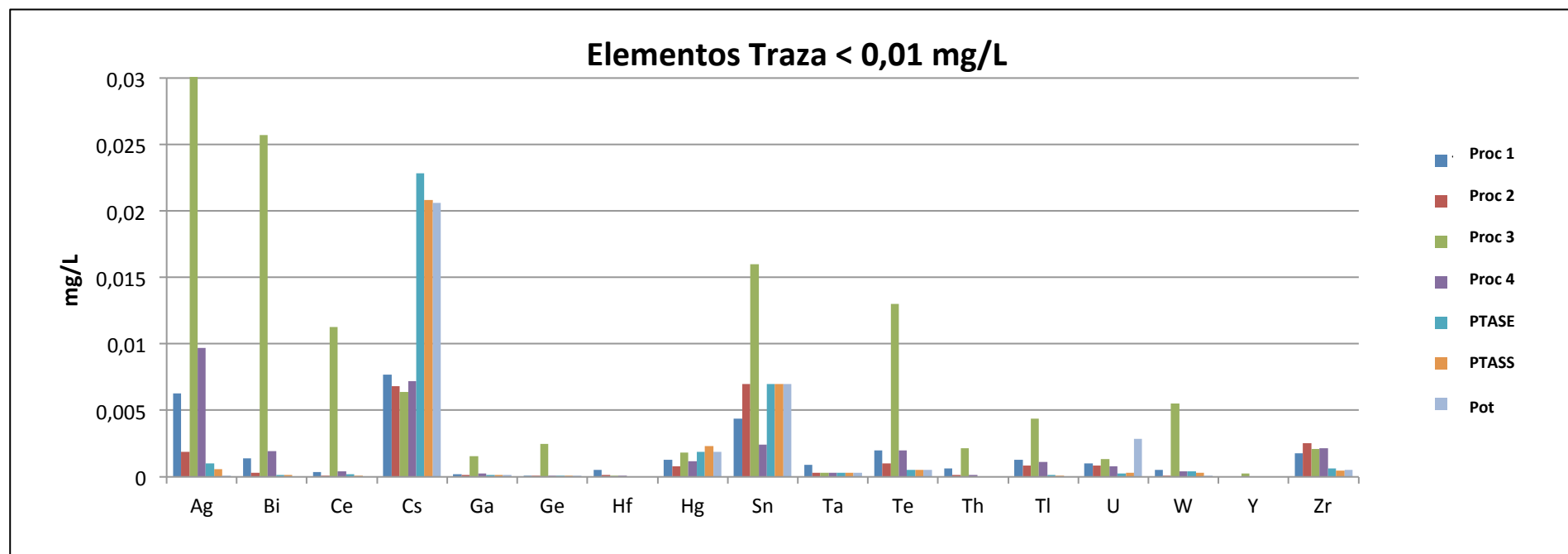
- **Clorurada sódica (Cl-Na)**
- **Sulfatada sódica (SO₄²⁻-Na)**

→ Aguas de proceso

→ Agua potable, entrada y salida PTAS

Resultados

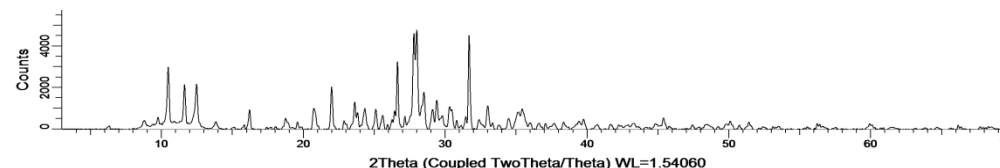
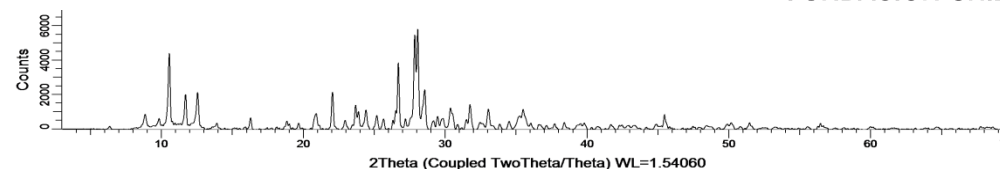
- Elementos traza en muestras de potenciales fuentes



Elementos enriquecidos en muestras del sector de la mancha de humedad con respecto al background: **Ag, As, Cd, Cu, Hg, Mo, Se, Tl, Bi, In, Re, Te, W, Al, Ba, Be, Co, Cs, Hf, K, Li, Mn, Nb y Ni.**

Resultados

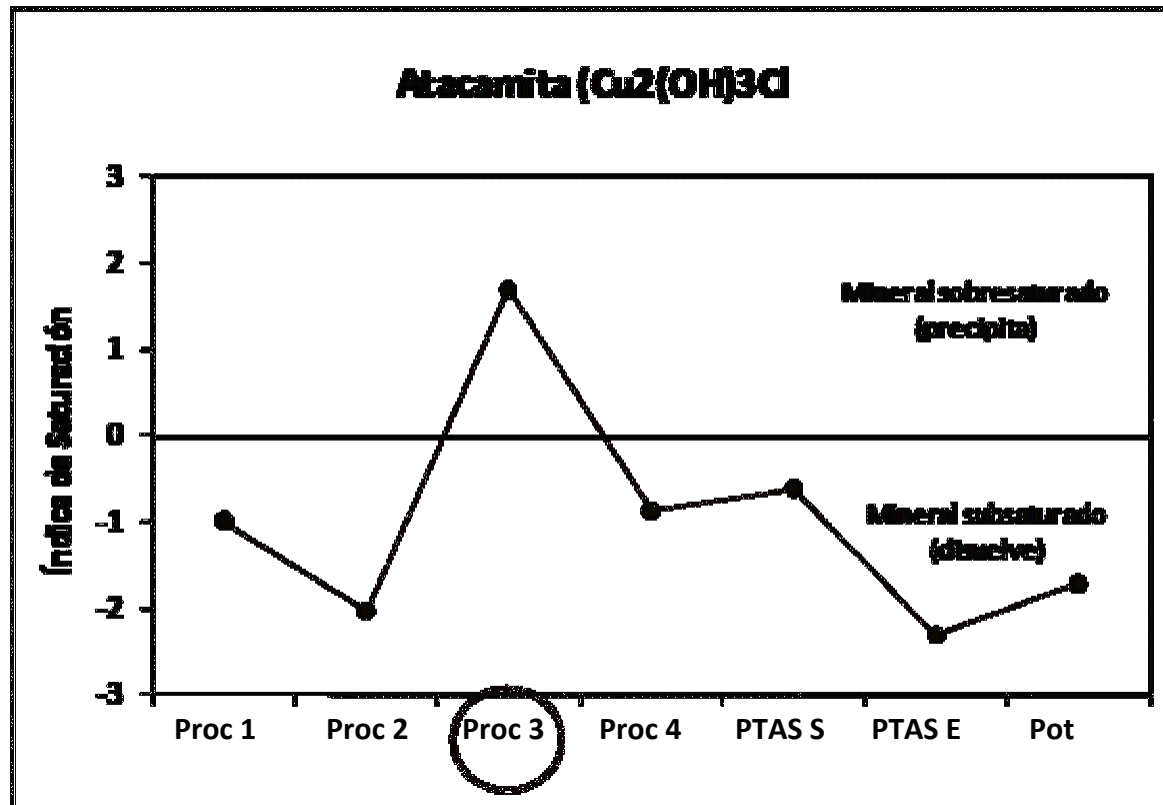
- **Difracción de Rayos-X en muestras de precipitado sector humedad**



Mineral	Fórmula
Cuarzo	SiO ₂
Albita	Na(AlSi ₃ O ₈)
Ferroactinolita	(Ca, Na, K) ₂ Fe ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂
Anfíbol	Al _{3.2} Ca _{3.4} Fe _{4.0} K _{0.6} Mg _{6.0} Na _{1.0} Si _{12.8} O ₄₄ (OH) ₄
Fluorflógopita	K(Mg _{0.83} Mn _{0.17}) ₃ (Si _{0.69} Al _{0.31}) ₄ O ₁₀ F ₂
Clinocloro	(Mg, Al, Fe) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈
Yeso	CaSO ₄ (H ₂ O) ₂
Halita	NaCl
Atacamita	Cu ₂ Cl(OH) ₃

Resultados

- Índices de Saturación mineral (SI) en muestras de aguas de potenciales fuentes (PHREEQC)



- $SI > 0 \rightarrow$ Solución sobresaturada en el mineral \rightarrow mineral puede precipitar
- $SI = 0 \rightarrow$ Solución en equilibrio con el mineral
- $SI < 0 \rightarrow$ Solución subsaturada en el mineral \rightarrow mineral puede disolver

Casos de estudio: experiencias en minería

Caso N°2

Objetivo:

Caracterizar las fuentes naturales y antrópicas y determinar posibles trazadores para identificación de metales en matrices ambientales



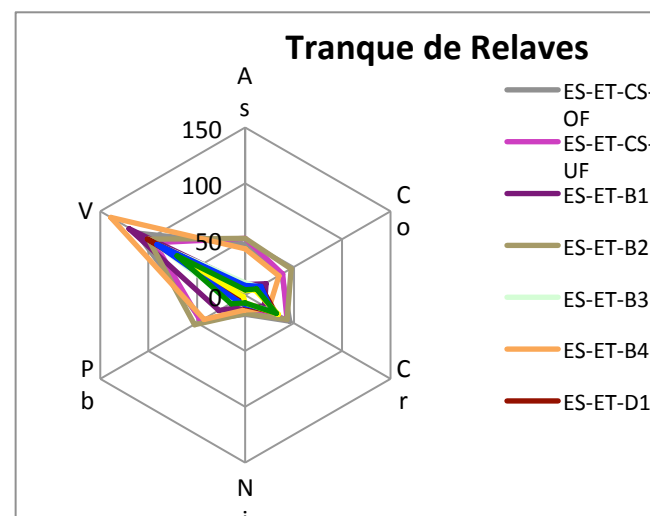
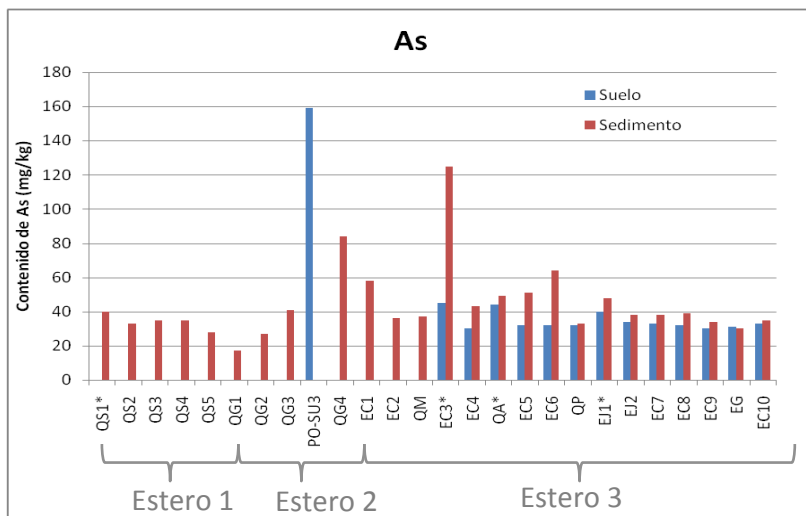
Plan de Muestreo:

- Muestreo de suelo, sedimento y agua superficial en curso fluvial
- Muestreo de roca, sedimento y agua superficial en sector background
- Muestreo de fuentes naturales (unidades geológicas) y fuentes antrópicas (residuos mineros masivos)

Caracterización Geoquímica de Fuentes y Receptores

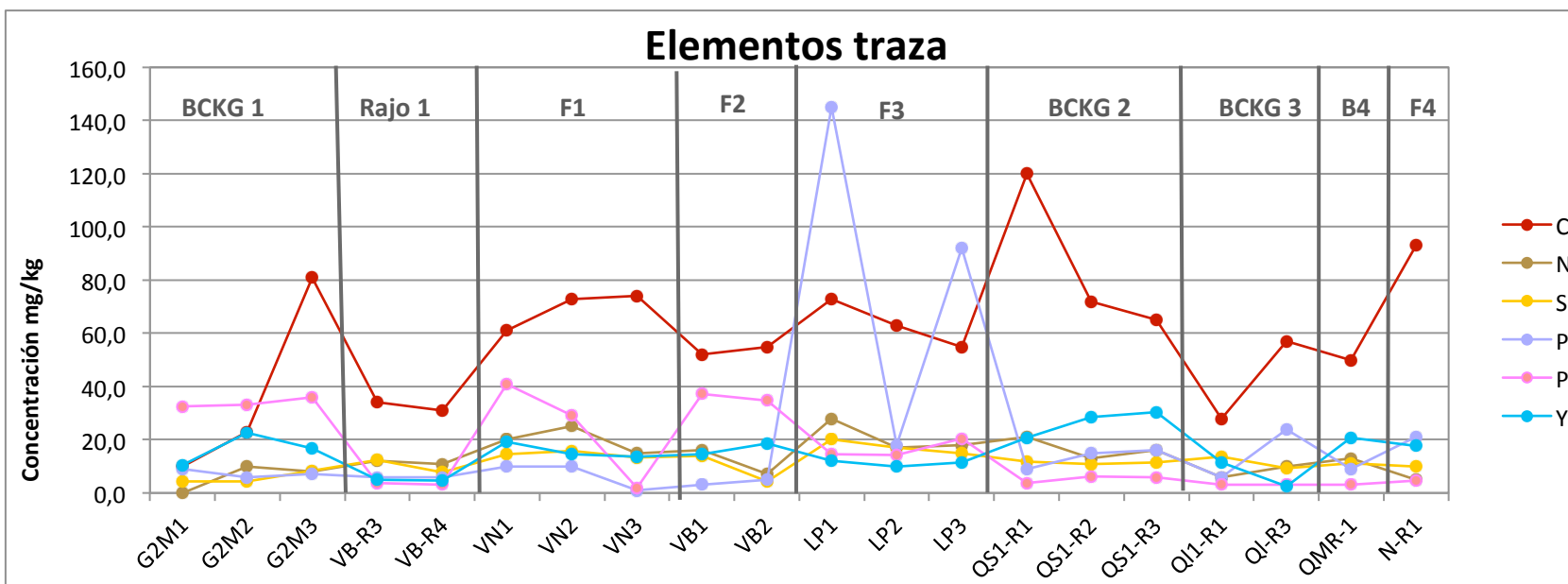
Análisis Realizados

Comparación suelo y sedimento

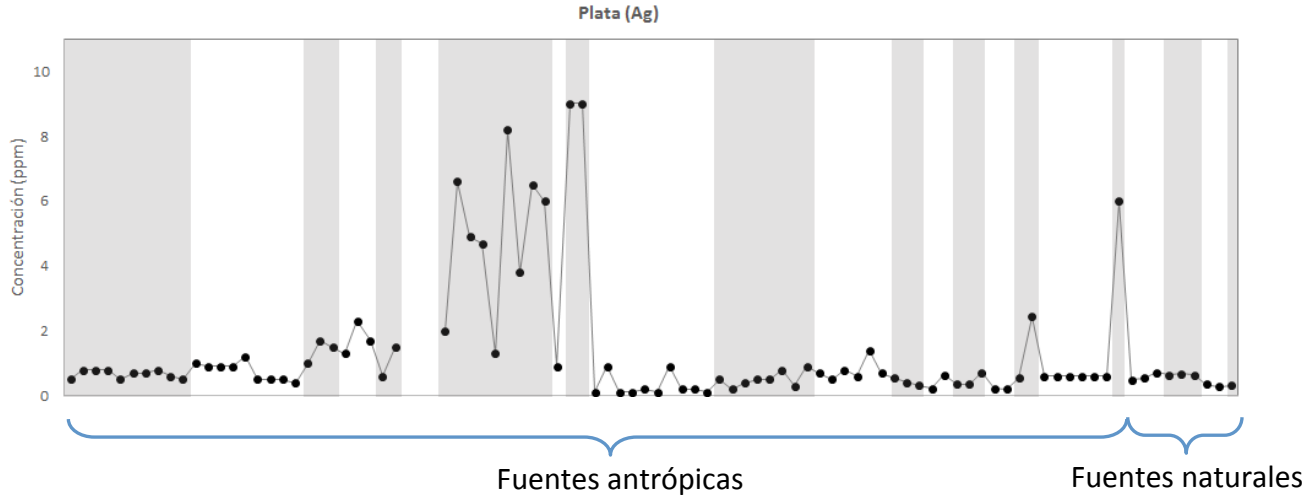


Caracterización de fuentes

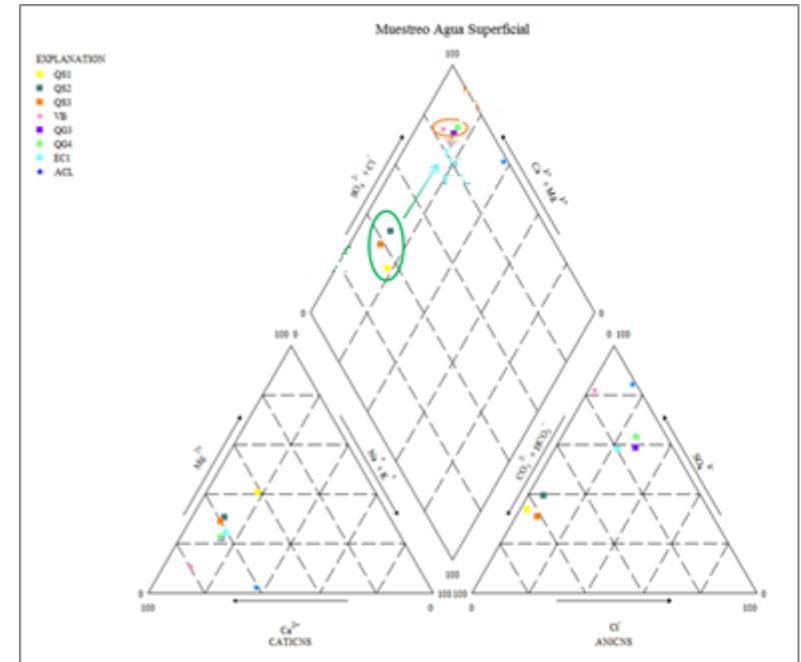
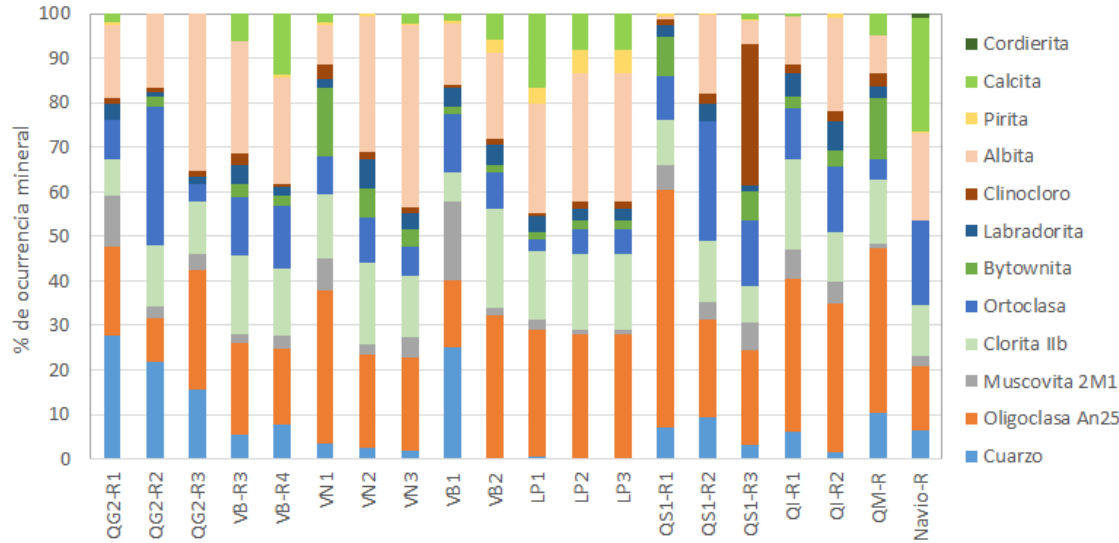
Determinación de trazadores



• **Análisis realizados**



- Caracterización geoquímica por elemento
- Caracterización mineralógica
- Geoquímica de aguas superficiales y subterráneas



- Factores de Contaminación y Enriquecimiento

El factor de contaminación (CF)

$$CF = C_{\downarrow metal} / C_{\downarrow background}$$

Escala	Descripción
CF < 1	Baja contaminación
1 < CF < 3	Contaminación moderada
3 < CF < 6	Contaminación considerable
CF > 6	Contaminación muy alta

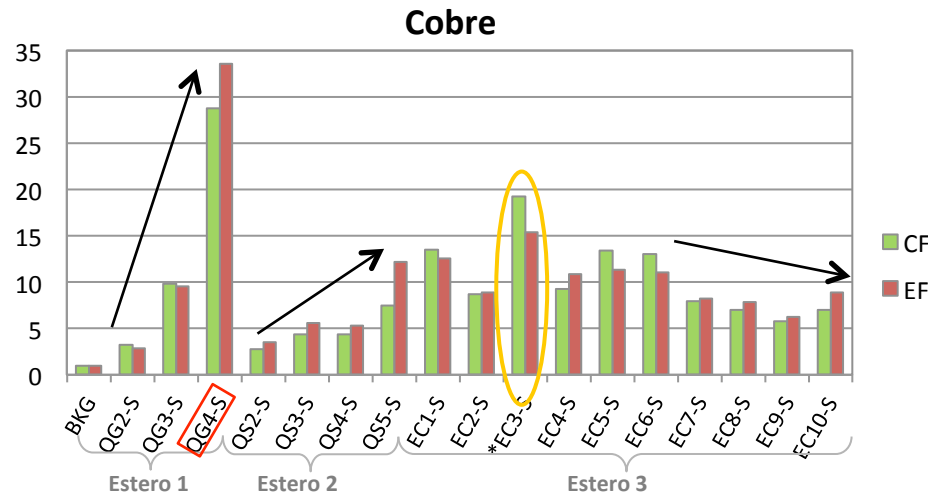
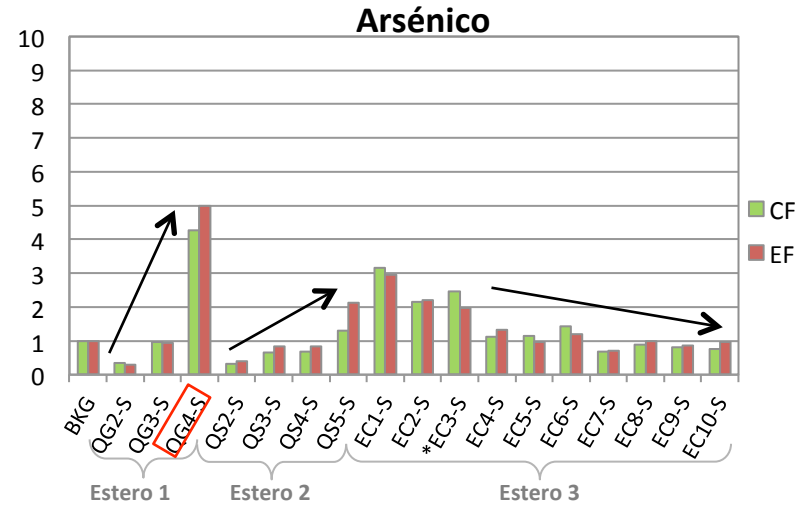
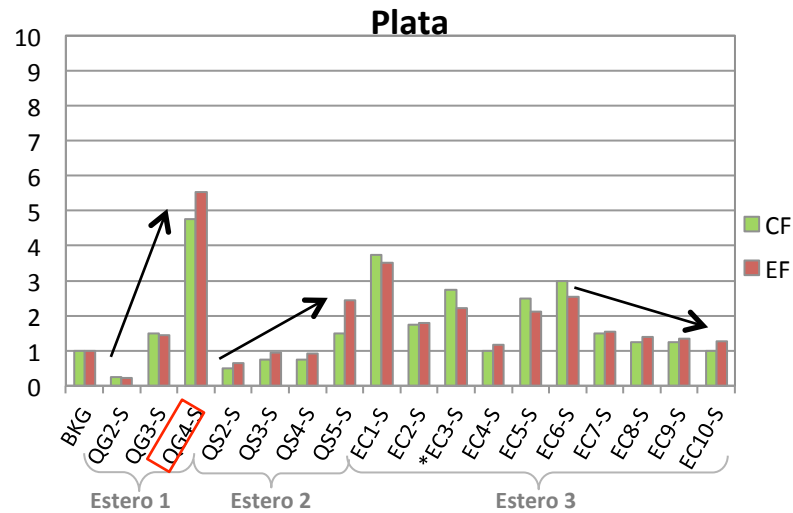
El factor de enriquecimiento (EF)

$$EF = (Metal / M_{normalizador})_{muestra} / (Metal / M_{normalizador})_{Background}$$

Escala	Descripción
EF < 1	Sin enriquecimiento
EF < 3	Enriquecimiento leve
3 < EF < 5	Enriquecimiento moderado
5 < EF < 10	Enriquecimiento moderado a severo
10 < EF < 25	Enriquecimiento severo
25 < EF < 50	Enriquecimiento muy severo
EF > 50	Enriquecimiento extremadamente severo



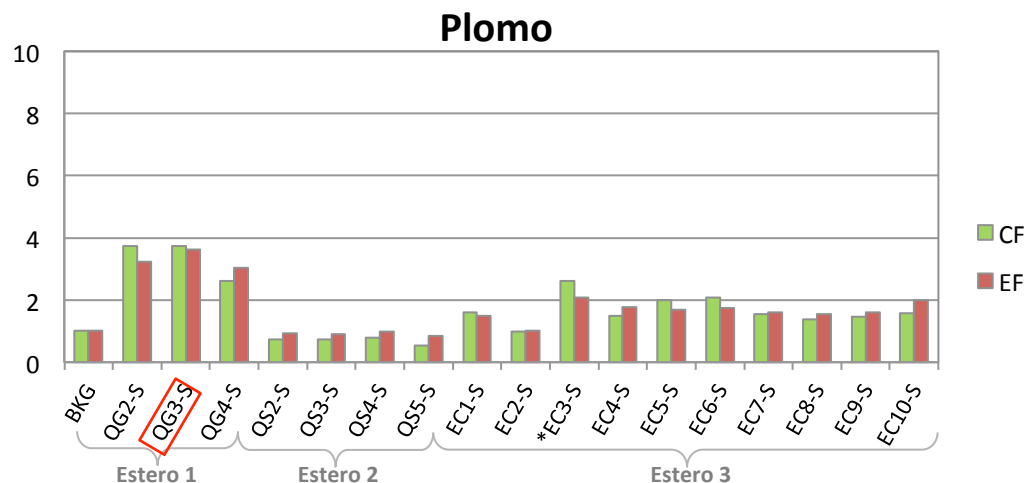
• Factores de Contaminación y Enriquecimiento



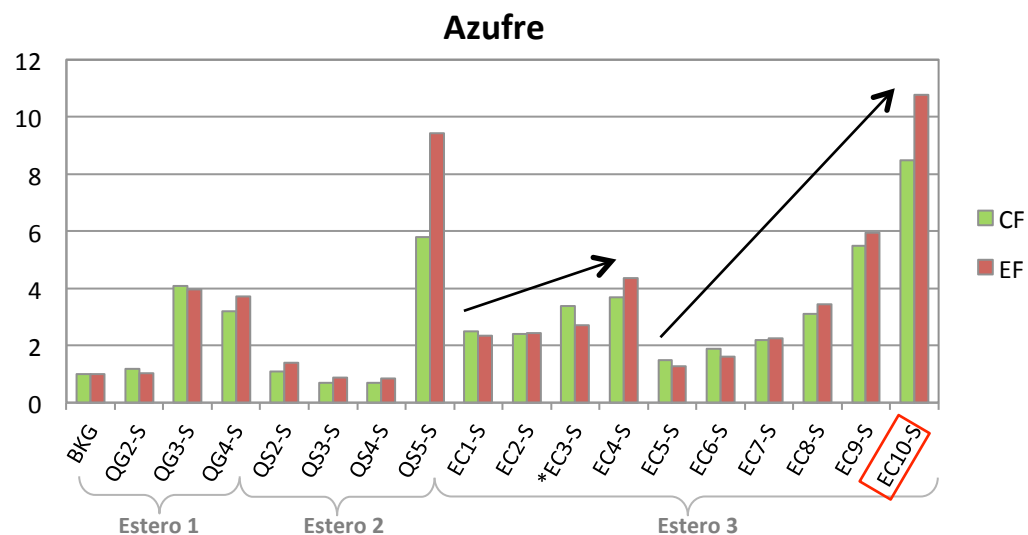
Es posible observar 3 puntos principales de enriquecimiento o contaminación.



• Factores de Contaminación y Enriquecimiento



Permitió identificar elementos químicos asociados a fuentes específicas.



Permitió identificar elementos con influencia de otras fuentes antrópicas en el sector.



Conclusiones – Aspectos Relevantes

- Existen métodos y análisis que permiten establecer la “huella geoquímica” de las potenciales fuentes
- Forénsica ambiental es un conjunto de herramientas
- Elección de los tipos de análisis dependen del problema y el objetivo de estudio
- Muestreo es una de las etapas fundamentales
- Calidad de los laboratorios



FCH



María Carolina Soto
Líder Minería Responsable
Gerencia de Sustentabilidad

mcarolina.soto@fch.cl
+56 2 224 00 606