

# Avances Programa I+D RECUPERACIÓN DE ELEMENTOS DE VALOR DESDE RELAVES



Proyecto apoyado por

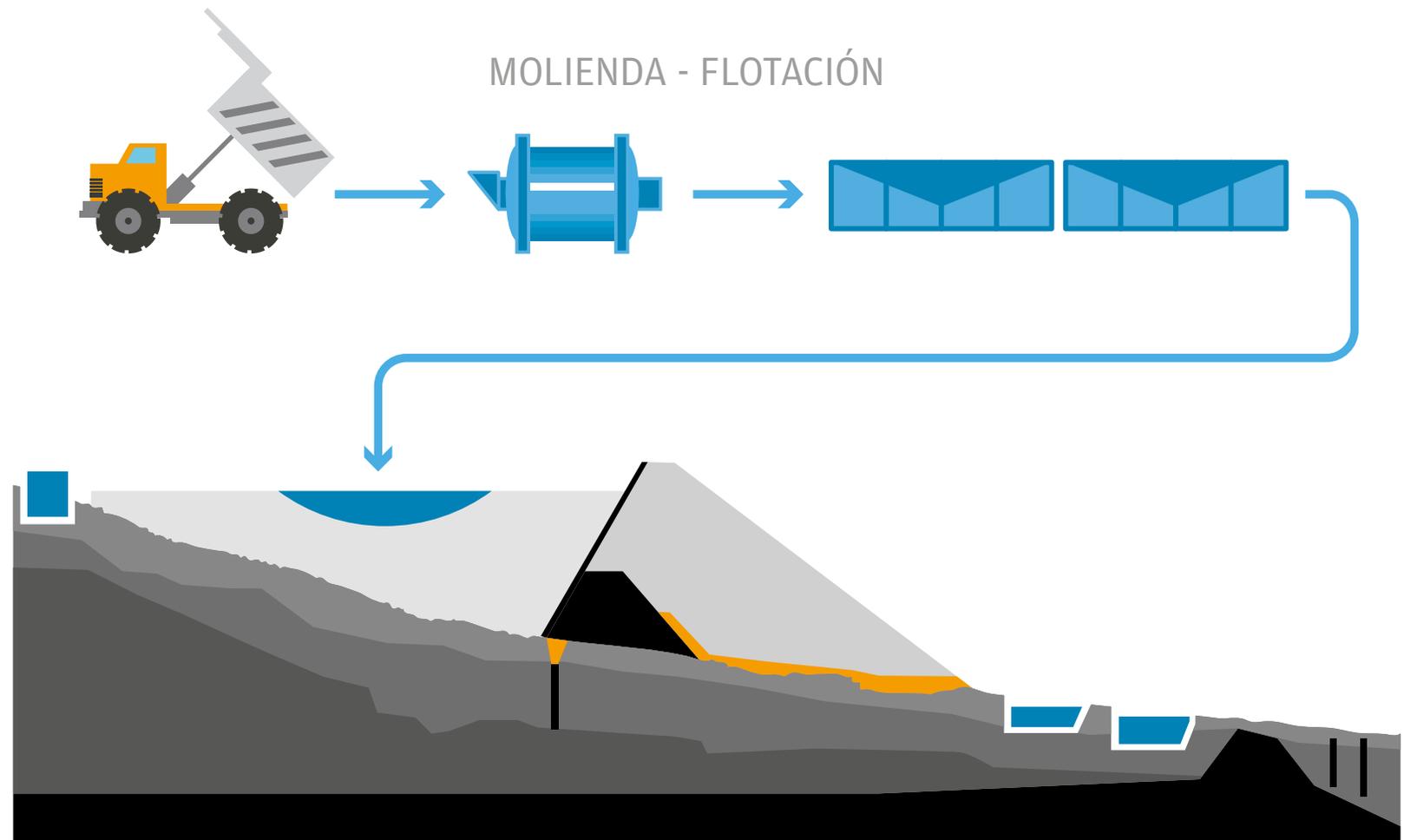


# De la mina al tranque: Los cambios químicos

Procesos que modifican las características químicas de un depósito de relaves:

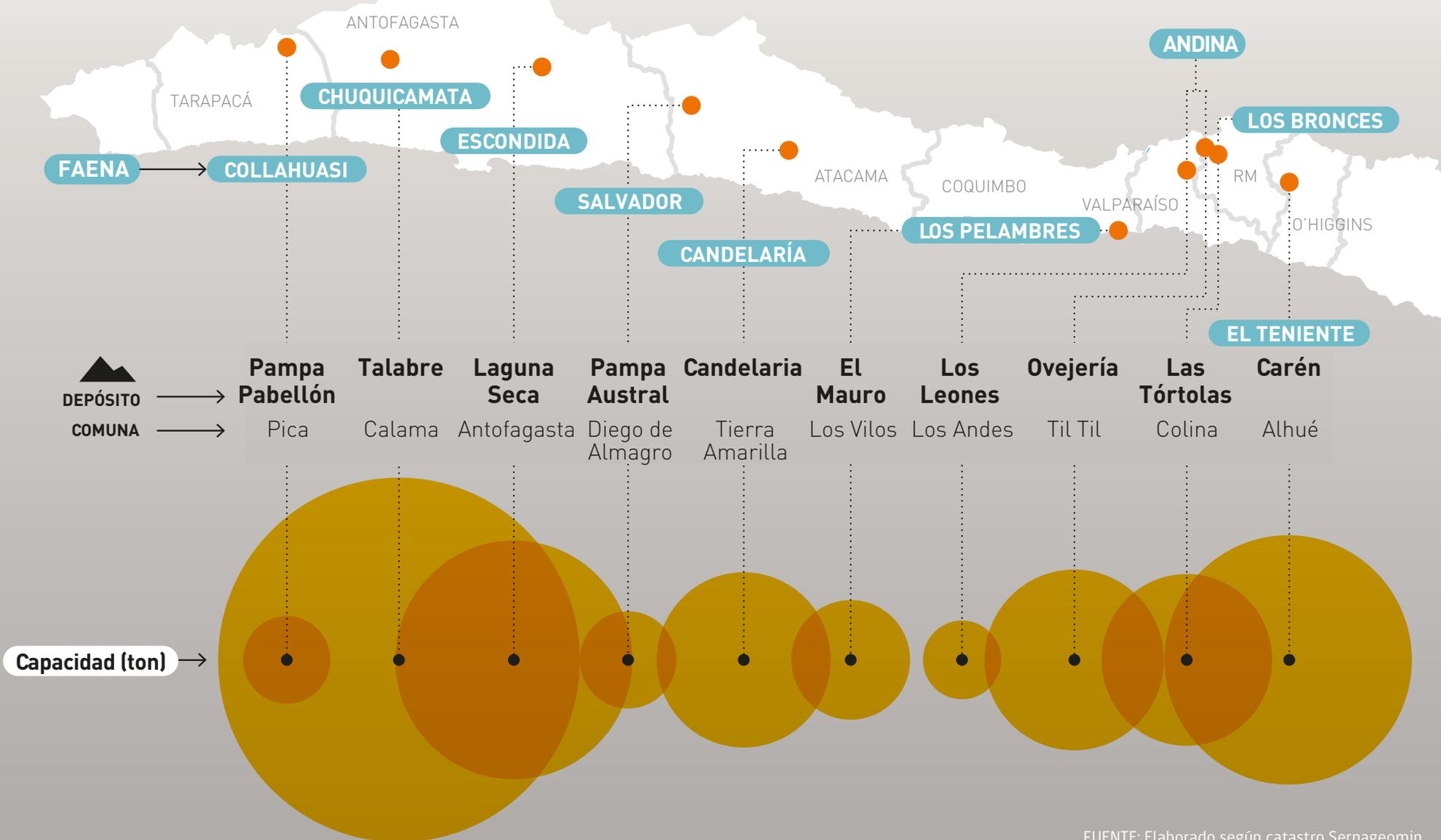
- Migración de elementos químicos en el cuerpo del relave
- Contaminación de aguas (superficiales e infiltradas)

## Unidades Geometalúrgicas (UGM)



# RELAVES TOP 10

Representan el **90%** del tonelaje total de los 740 tranques catastrados por Sernageomin. Suman **6.600 millones** de toneladas, las que aumentan a razón de un **10% anual**.



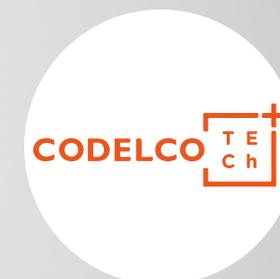
FUENTE: Elaborado según catastro Sernageomin.

# INICIATIVAS PÚBLICO PRIVADAS ASOCIADAS A RELAVES

Programa Tecnológico de  
Monitoreo en Línea de Depósitos  
de Relaves.



Programa identificación,  
cuantificación y extracción  
(bio) tecnológica de minerales/  
elementos de valor contenidos  
en depósitos de relaves.



Programa I+D para  
la recuperación de  
elementos de valor  
desde relaves.



# Línea de tiempo programa del consorcio CODELCOTECH-AMTC-MVC



## ETAPA I

## ETAPA II



Elementos de valor en relaves en Chile



Selección de relaves para toma de muestras y caracterización



Desarrollo o adaptación de tecnologías de estabilización y reúso



Técnicas de concentración, recuperación y estabilización



Desarrollo o adaptación de tecnologías de extracción



Propuestas de Marco Regulatorio

2017

2018

2019

2020

2021



Estudio comercial de elementos estratégicos



Técnicas muestreo y caracterización



Modelamiento de tranques



Estrategias para la protección de PI

# Caracterización y cuantificación mineralógica y química de tranques de relaves seleccionados

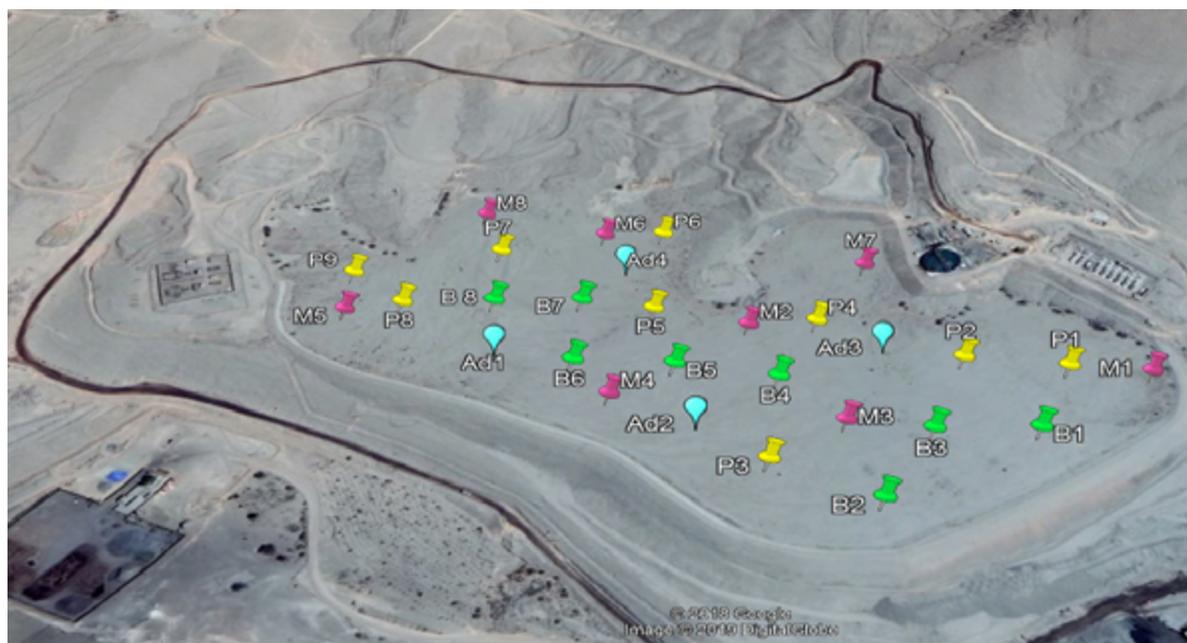
Información preliminar indica que los tranques de PuCobre tienen concentraciones atractivas de elementos críticos como Elementos de Tierras Raras (REE) y Cobalto (Co).

Se están realizando campañas de sondajes y toma de muestras en tranques de relaves de PuCobre:

- **San José (5 Mton), tranque inactivo.**
- **El Buitre (15 Mton), tranque inactivo.**
- **Las Cruces (120 Mton), tranque activo.**

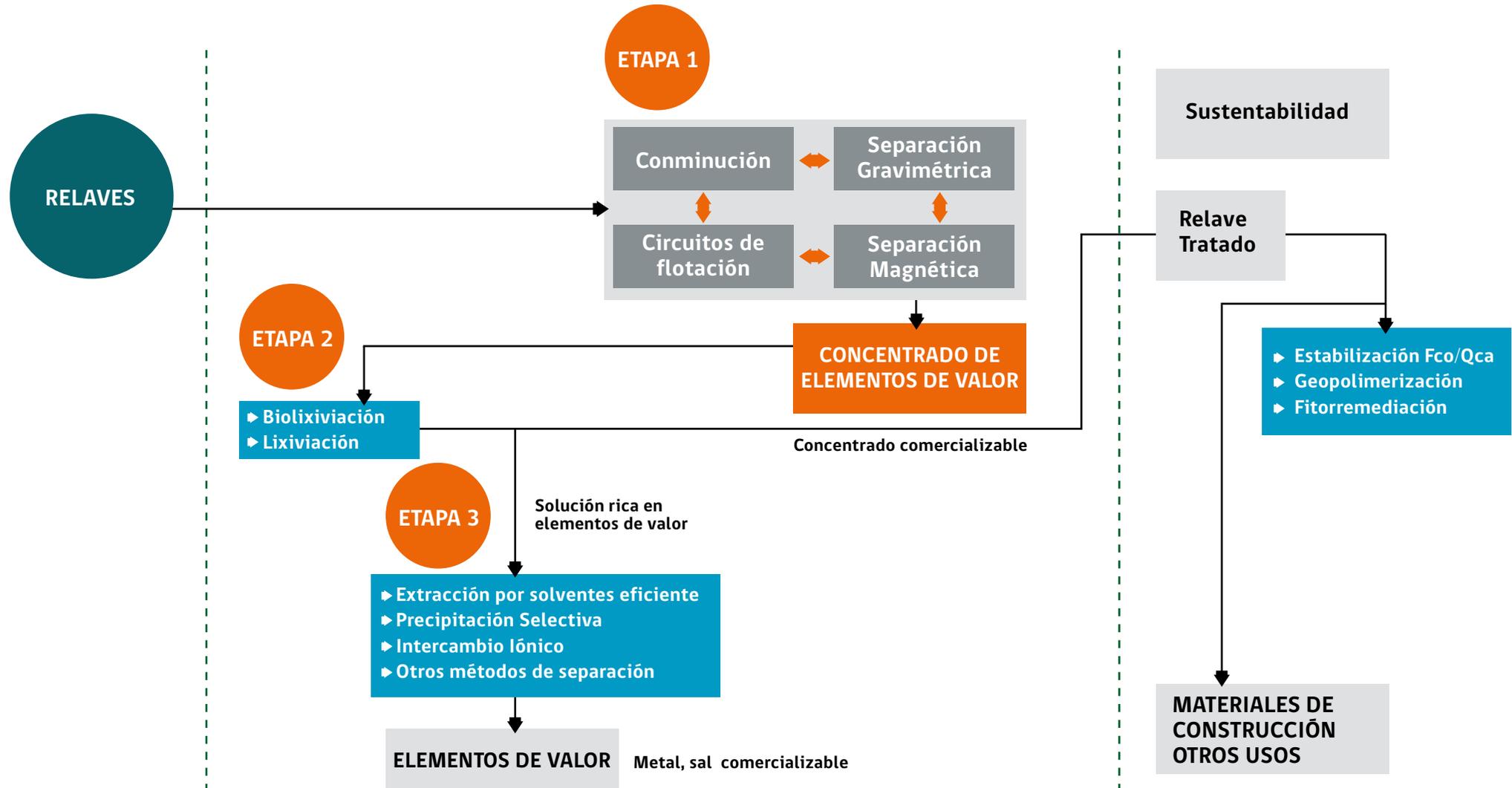
Elemento	San José <sup>(1)</sup> (ppm)	El Buitre <sup>(1)</sup> (ppm)	Las Cruces <sup>(1)</sup> (ppm)
Cu	1430	1036	896
V	50	58	60
Cr	23	27	42
REE	451	264	261
Co	80	82	84
Ni	69	41	20
Zn	43	43	45
Rb	36	51	57
Sr	27	35	35
Zr	87	81	80
Ba	647	831	865

**Tranque El Buitre. Ubicación de puntos de perforaciones de sondajes.**



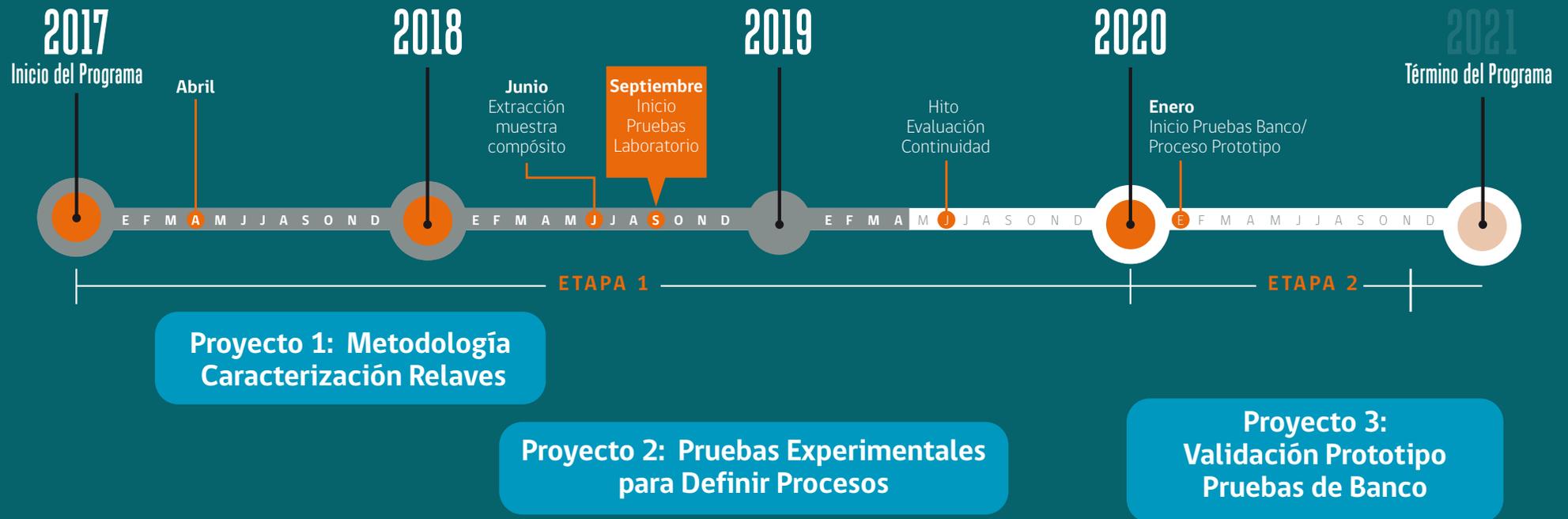
# Desarrollo o adaptación de (bio)tecnologías de extracción

## Diagrama de flujo - procesos de concentración y extracción



CONSORCIO JRI Ingeniería & EcoMetales Limited

# PROGRAMA I+D PARA LA RECUPERACIÓN DE ELEMENTOS DE VALOR DESDE RELAVES



# Proyecto 1: GENERAR UNA METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE RELAVES



---

## Énfasis:

---

Conocer cuales minerales (fáciles de reconocer) están asociados a los principales elementos estratégicos y de valor (rentables de recuperar).

Determinar que tecnologías presentes en el mercado son las más apropiadas para medir elementos y caracterizar relaves.

Proponer una metodología para buscar elementos de valor y caracterizar representativamente los depósitos de relaves.



---

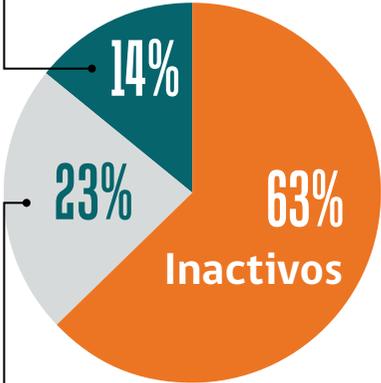
## Producto final del proyecto:

---

Guía de evaluación de tranques, énfasis en elementos estratégicos de valor.

# ZONA DE INTERÉS PARA EL ESTUDIO

## Activos



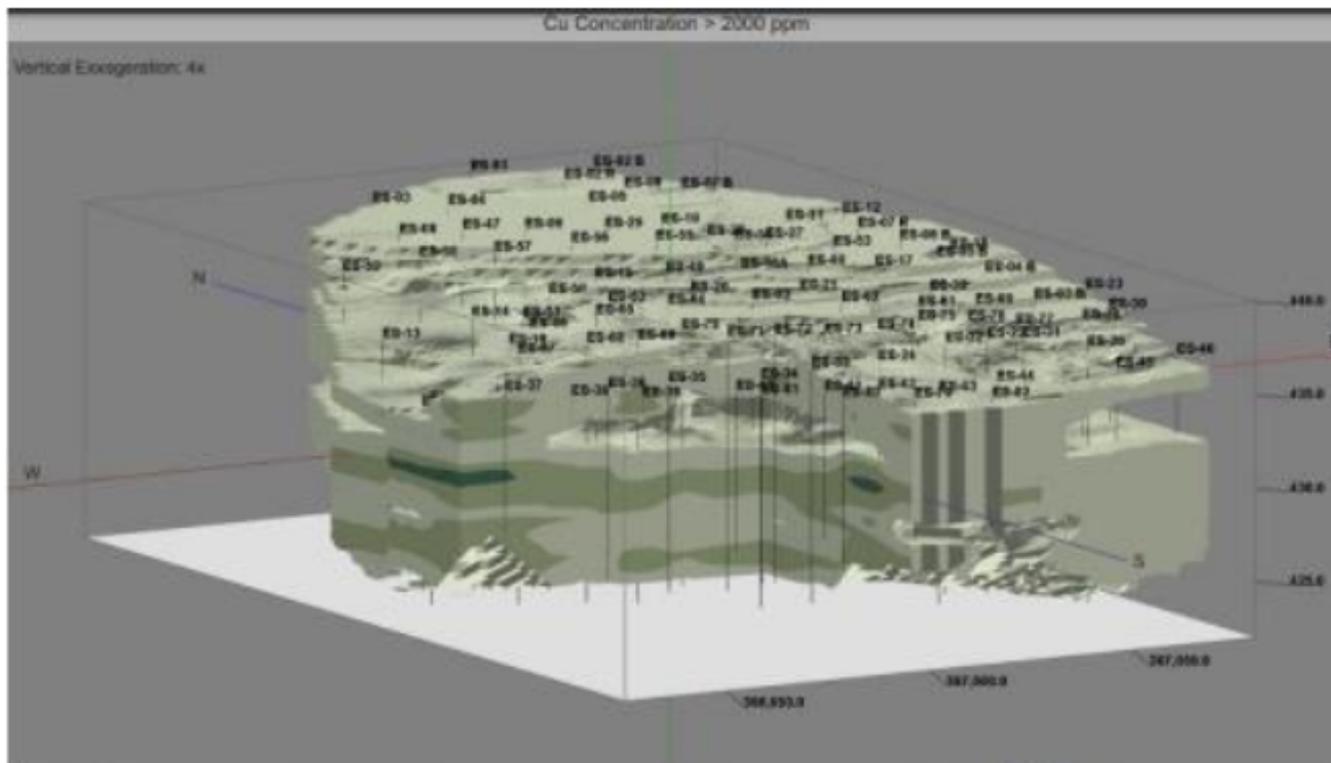
## Abandonados



# ¿DÓNDE?

**FRANJA FERRÍFERA:** formación geológica que caracteriza a las regiones de Atacama y Coquimbo por sus altos contenidos de fierro, que se asocia a la presencia de Tierras Raras (REE).

# Proyecto 1: AVANCES Y RESULTADOS



Concentración de Cu (ppm)

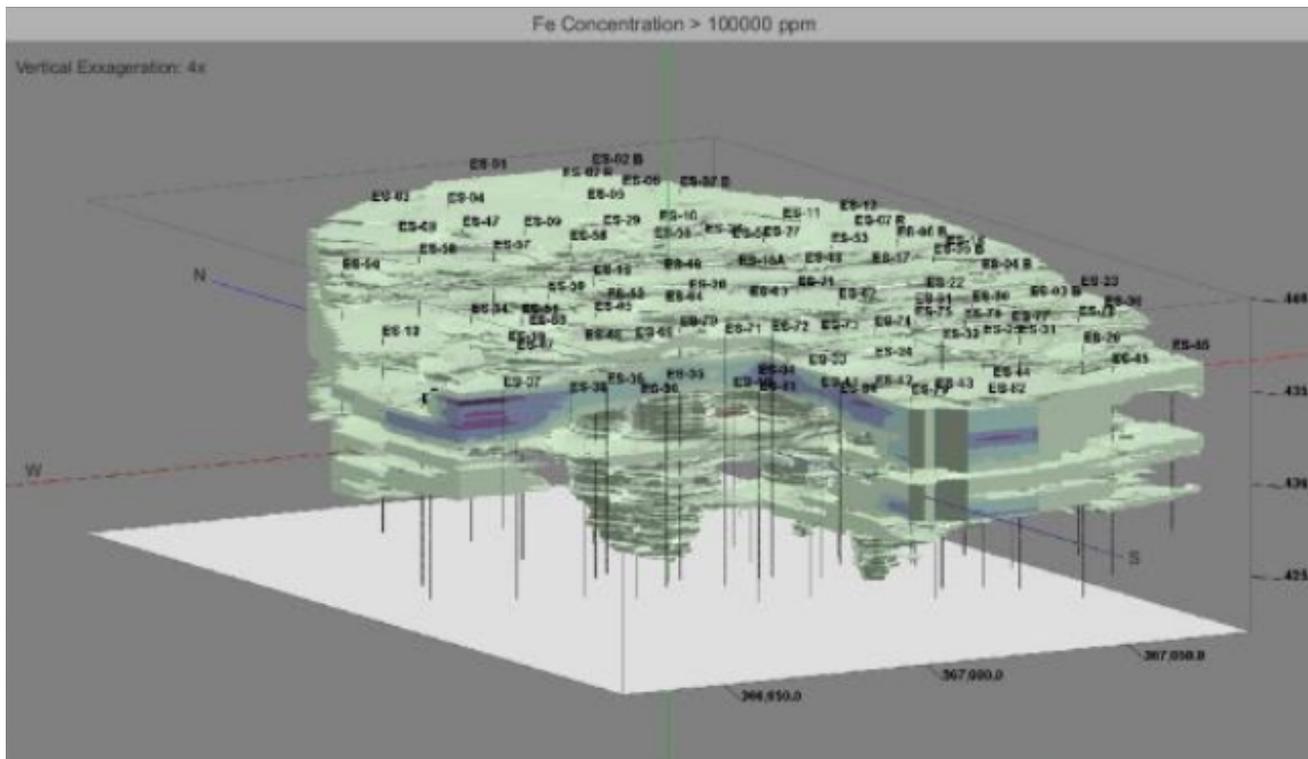
□	≤ 800
□	800 - 2000
□	2000 - 4000
□	4000 - 8000
□	8000 - 12000
□	> 12000

La técnica de perforación CPT-FRX (Fugro) permite la perforación del relave, toma de muestras (Denken) y análisis en línea de elementos mayores como Cu, Fe, Pb, Zn y As.

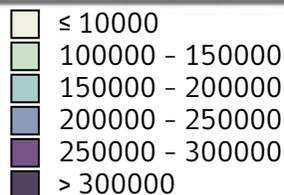
Además, permite la distribución espacial de los elementos mencionados.

Modelo de distribución 3D de Cu.

# Proyecto 1: AVANCES Y RESULTADOS



Concentración de Fe  
(ppm)



Modelo de distribución 3D de Fe. Se puede observar que las zonas el alta ley de Fe (40% aprox.) se encuentran en el centro del relave.

## Conclusión:

La técnica CPT-FRX es útil como herramienta exploratoria, a pesar de que es necesario contar con los análisis químicos para calibrar el equipo.

Permite la visualización de zonas de alta ley.

# ¿EN QUÉ SE UTILIZAN?

## REE - RARE EARTH ELEMENTS

### TABLA PERIÓDICA

■ Platinoides   ■ Tierras raras livianas   ■ Tierras raras pesadas   ■ Otros elementos

1 1.008 H HIDRÓGENO																	2 4.0026 He HELIO
3 6.94 Li LITIO	4 9.0122 Be BERILIO											5 10.81 B BORO	6 12.011 C CARBONO	7 14.007 N NITRÓGENO	8 15.999 O OXÍGENO	9 18.998 F FLUOR	10 20.180 Ne NEÓN
11 22.990 Na SODIO	12 24.305 Mg MAGNESIO											13 26.982 Al ALUMINIO	14 28.085 Si SILICIO	15 30.974 P FÓSFORO	16 32.06 S AZUFRE	17 35.45 Cl CLORO	18 39.948 Ar ARGÓN
19 39.098 K POTASIO	20 40.078 Ca CALCIO	21 44.956 Sc ESCANDIO	22 47.867 Ti TITANIO	23 50.942 V VANADIO	24 51.996 Cr CROMO	25 54.938 Mn MANGANESO	26 55.845 Fe HIERRO	27 58.933 Co COBALTO	28 58.693 Ni NIQUEL	29 63.546 Cu COBRE	30 65.38 Zn ZINC	31 69.723 Ga GALIO	32 72.64 Ge GERMANIO	33 74.922 As ARSENICO	34 78.971 Se SELENIO	35 79.904 Br BROMO	36 83.798 Kr KRIPTÓN
37 85.468 Rb RUBIDIO	38 87.62 Sr ESTRONCIO	39 88.906 Y ITRIO	40 91.224 Zr CIRCONIO	41 92.906 Nb NIOBIO	42 95.95 Mo MOLIBDENO	43 (98) Tc TECNECIO	44 101.07 Ru RUTENIO	45 102.91 Rh RODIO	46 106.42 Pd PALADIO	47 107.87 Ag PLATA	48 112.41 Cd CADMIO	49 114.82 In INDIO	50 118.71 Sn ESTAÑO	51 121.76 Sb ANTIMONIO	52 127.60 Te TELURIO	53 126.90 I YODO	54 131.29 Xe XENÓN
55 132.91 Cs CESIO	56 137.33 Ba BARIO	57-71 La-Lu Lantánidos	72 178.49 Hf HAFNIO	73 180.95 Ta TANTALO	74 183.84 W WOLFRAMO	75 186.21 Re RENIÓ	76 190.23 Os OSMIO	77 192.22 Ir IRIDIO	78 195.08 Pt PLATINO	79 196.97 Au ORO	80 200.59 Hg MERCURIO	81 204.38 Tl TALIO	82 207.2 Pb PLOMO	83 208.98 Bi BISMUTO	84 (209) Po POLONIO	85 (210) At ASTATO	86 (222) Rn RADÓN
87 (223) Fr FRANCIO	88 (226) Ra RADIO	89-103 Ac-Lr Actínidos	104 (267) Rf RUTHERFORDIO	105 (268) Db DUBNIO	106 (271) Sg SEABORGIO	107 (272) Bh BOHRIO	108 (277) Hs HASIO	109 (276) Mt MEITNERIO	110 (281) Ds DARMSTADIO	111 (280) Rg ROENTGENIO	112 (285) Cn COPERNICIO	113 (285) Nh NIHONIO	114 (287) Fl FLEROVIO	115 (289) Mc MOSCOWIO	116 (291) Lv LIVERMORIO	117 (294) Ts TENESO	118 (294) Og OGANESÓN
LANTÁNIDOS																	
57 138.91 La LANTANO	58 140.12 Ce CERIO	59 140.91 Pr PRASEODIMIO	60 144.24 Nd NEODIMIO	61 (145) Pm PROMETIO	62 150.36 Sm SAMARIO	63 151.96 Eu EUROPIO	64 157.25 Gd GADOLINIO	65 158.93 Tb TERBIO	66 162.50 Dy DISPROSIO	67 164.93 Ho HOLMIO	68 167.26 Er ERBIO	69 168.93 Tm TULIO	70 173.05 Yb ITERBIO	71 174.97 Lu LUTECIO			
ACTÍNIDOS																	
89 (227) Ac ACTINIO	90 232.04 Th TORIO	91 231.04 Pa PROTACTINIO	92 238.03 U URANIO	93 (237) Np NEPTUNIO	94 (244) Pu PLUTONIO	95 (243) Am AMERICIO	96 (247) Cm CURIO	97 (247) Bk BERKELIO	98 (251) Cf CALIFORNIO	99 (252) Es EINSTEINIO	100 (257) Fm FERMIO	101 (258) Md MENDELEVIO	102 (259) No NOBELIO	103 (262) Lr LAWRENCIO			

Copyright © 2017 Eni Generali

#### FÓSFOROS:

Pantallas CRT, LPD,  
LCD, Lámparas  
Fluorescentes,  
Láseres, Fibra  
Óptica

#### ALEACIONES:

Baterías NiMH,  
Pilas Combustibles,  
Piedras  
Encendedores,  
Súper Aleaciones  
Al-Mg

#### IMANES:

Motores Híbridos,  
Discos Duros,  
Turbinas Eólicas,  
Micrófonos  
Altavoces

#### CERÁMICAS:

Condensadores,  
Sensores,  
Colorantes, Láseres,  
Refractarios.

#### CATALIZADORES:

Refino de Petróleo,  
Convertidores  
Catalíticos,  
Aditivos del Diésel,  
Análisis Químicos

#### VIDRIO/ÓPTICA:

Pulidores, Cristales  
con Protección UV,  
Imágenes R

#### OTROS:

Nuclear  
Defensa



## Proyecto 2: IDENTIFICAR PROCESOS QUE PERMITAN RECUPERAR VALOR



---

### Énfasis:

---

Definir y validar un esquema tecnológico para la recuperación de elementos de valor desde relaves.

Que dicho esquema defina un producto comercial, que sea viable técnica y económicamente y considere la disposición final de los residuos generados.

Hacer recomendaciones técnicas para un marco regulatorio ad hoc.



---

### Producto final del proyecto:

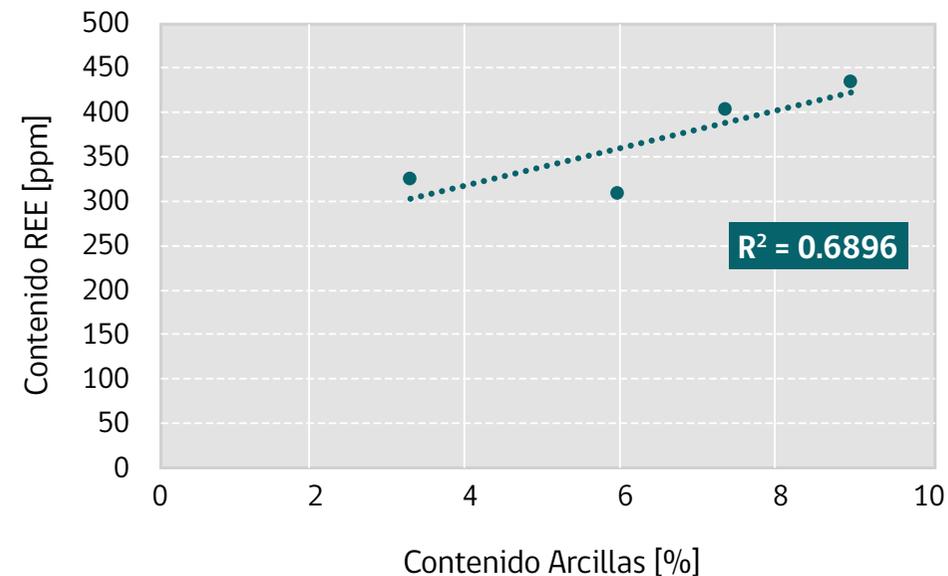
---

Proceso tecnológico definido.

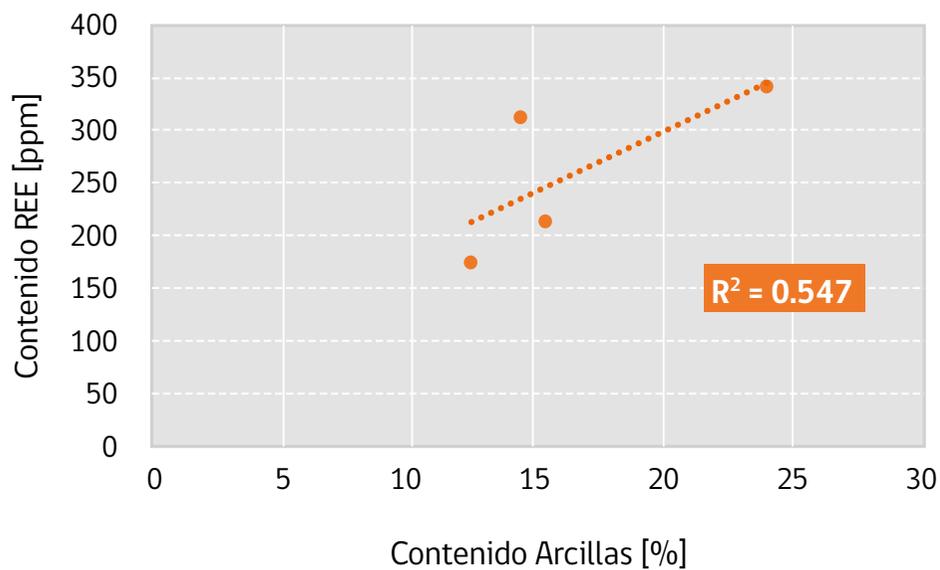
# CORRELACIONES REE- ESPECIES MINERALÓGICAS MAYORES



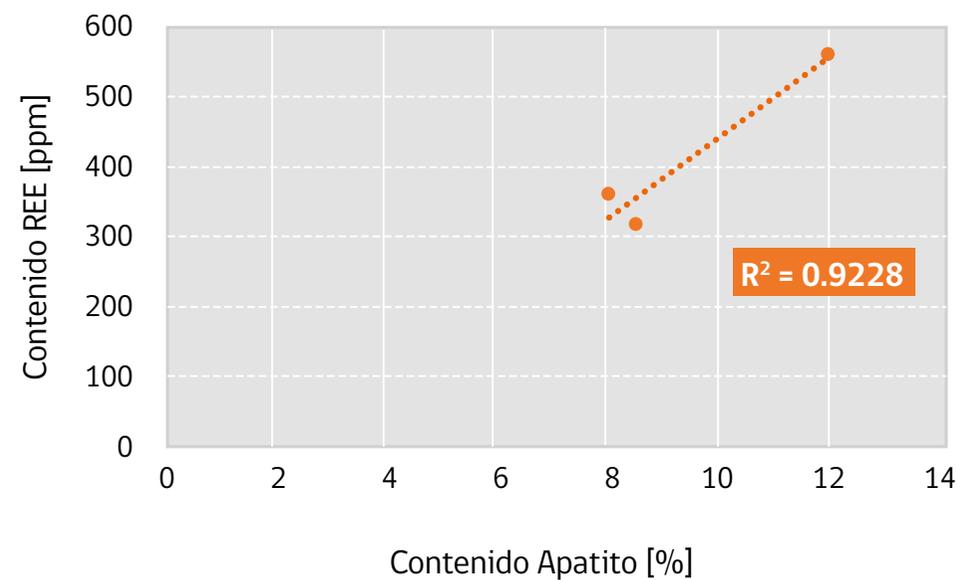
### Relave 1 (III Región)



### Relave 2 (III Región)



### Relave 3 (IV Región)



# Proyecto 2: ETAPAS UNO Y DOS

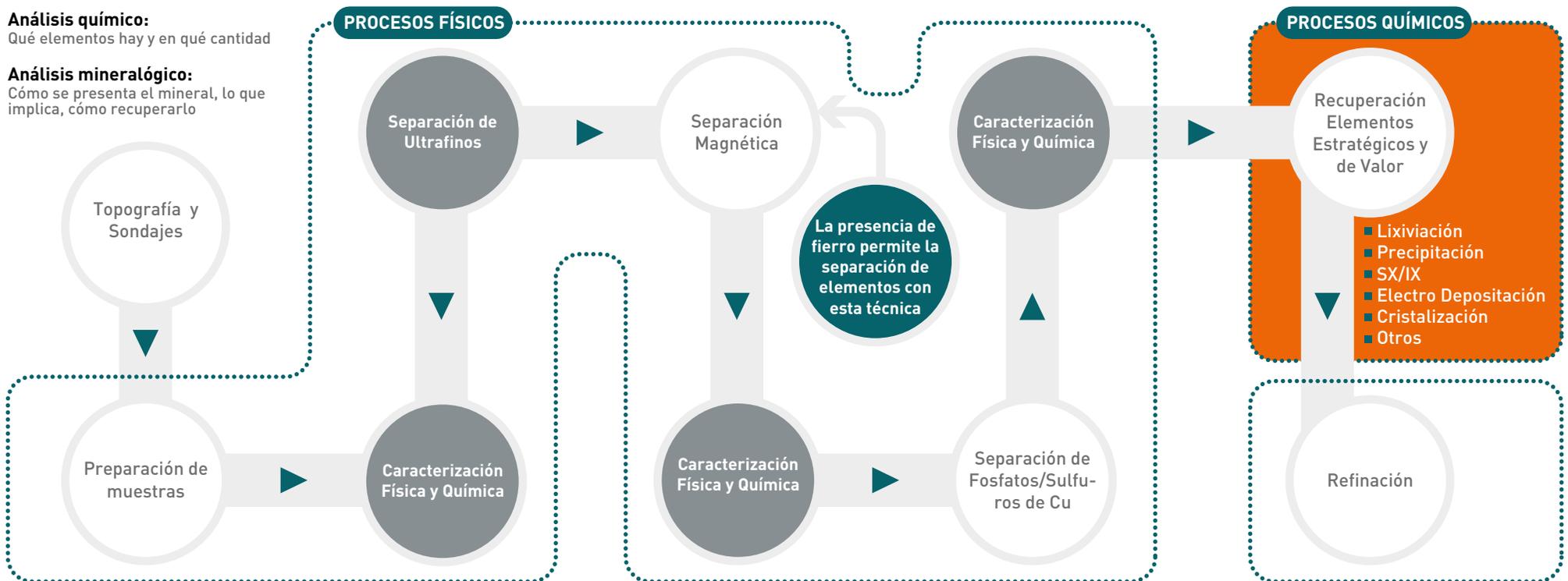
## Procesos Físicos y Químicos

### Análisis químico:

Qué elementos hay y en qué cantidad

### Análisis mineralógico:

Cómo se presenta el mineral, lo que implica, cómo recuperarlo



# CONCENTRACIÓN DE VALOR CON PROCESOS FÍSICOS CONVENCIONALES



# ASPECTOS CLAVES

- 1** Metodología para caracterizar e identificar especies de valor económico en un relave, a partir de minerales abundantes y fáciles de reconocer. **CREADA**
- 2** Secuencia de procesos convencionales que permitan concentrar y recuperar elementos de valor económico. **DEFINIDA**
- 3** Determinar si las inversiones y costos operacionales requeridos son rentables, para qué tamaño de relaves y en qué plazos. **POR DEFINIR**
- 4** Conocer cómo funcionan los mercados de estos elementos de valor económico, "escasos y estratégicos". **POR DEFINIR**



**CONSORCIO**  
JRI Ingeniería &  
EcoMetales Limited

**[WWW.RELAVESCONVALOR.CL](http://WWW.RELAVESCONVALOR.CL)**