

***“Aplicación de las Inclusiones de Fluidos en
la Búsqueda de Yacimientos de Cobre.
Ejemplo: El Pórfido de Cobre Lara
Ayacucho – Perú”***

Jorge ACOSTA, R. CASTROVIEJO, H. CHIRIF
& J. MACHARÉ

Lima, setiembre 2008



MINAS DIXON



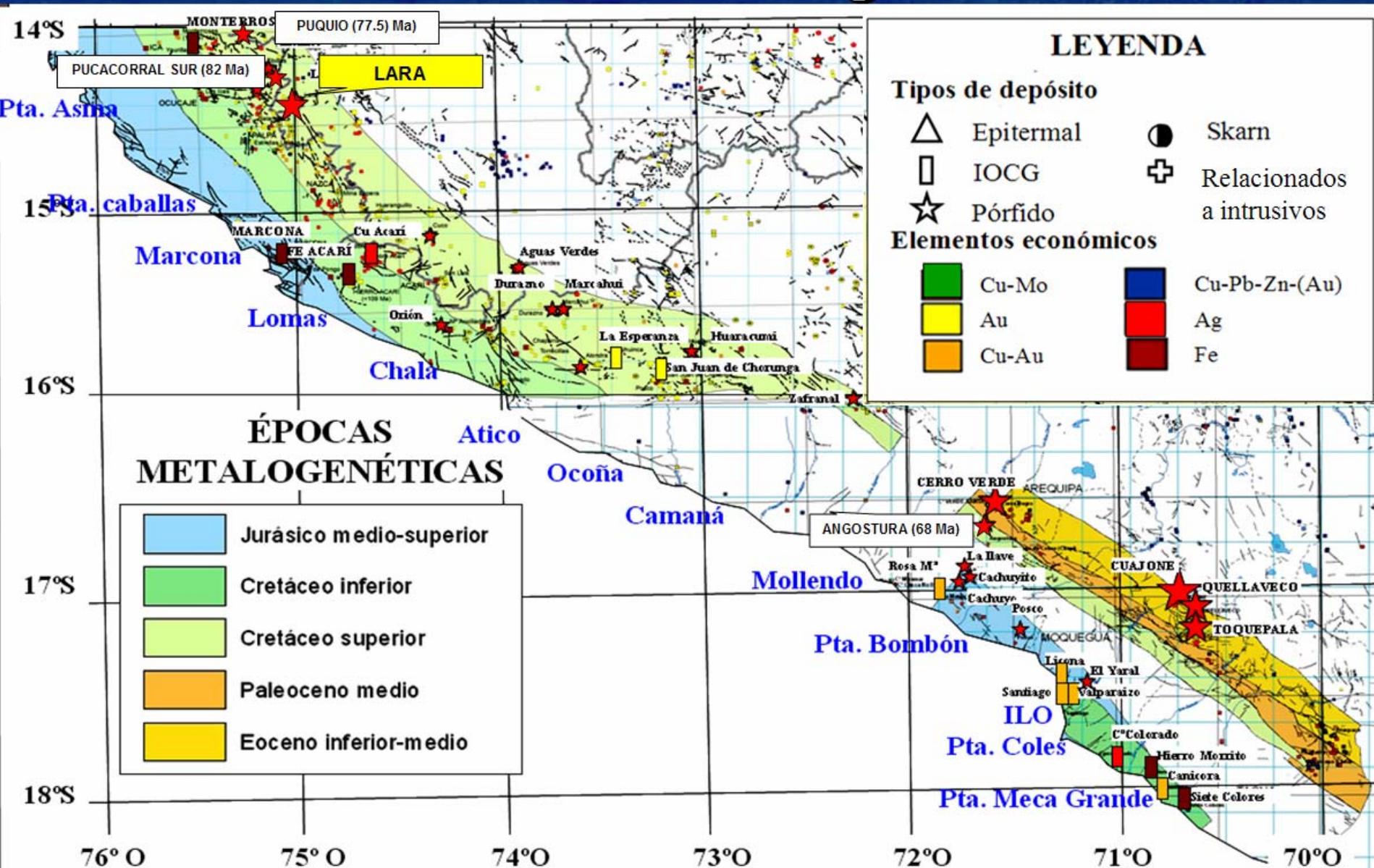
Tratado

- Objetivos y ubicación
- Contexto metalogenético
- Geología, alteración y mineralización
- Estudio de las inclusiones de fluidos
- Características y evolución de los fluidos hidrotermales
- Conclusiones

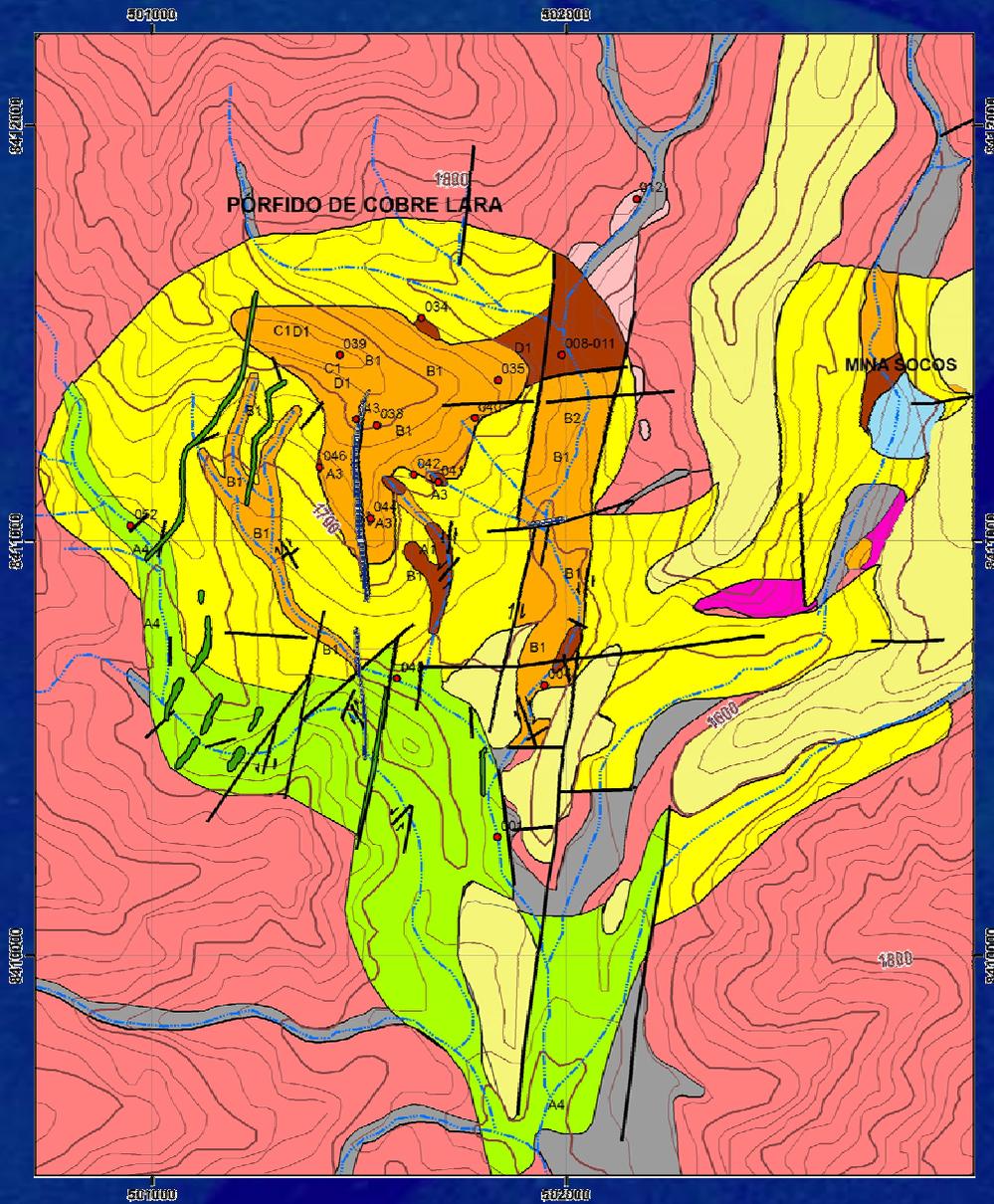
Objetivos

- Estudiar la naturaleza, origen y evolución de los fluidos hidrotermales que formaron la alteración y la mineralización económica.
- Aplicar las inclusiones de fluidos a la exploración de pórfidos de cobre.
- Explicar por qué la diferencia de tonelaje y leyes entre los depósitos de cobre del Cretácico superior con los del Paleoceno-Eoceno del sur del Perú y norte de Chile.

Contexto metalogenético



Alteraciones hidrotermales



LEYENDA

ALTERACIONES

- Silicificación
- Alteración argílica supérgena (mnt+hay+/ill+/caol)
- Alteración cuarzo-sericita (Tipo de vetillas: B1:cz-cpy-py, B2:cz-py-ser y D1:cz-ser)
- Alteración propilítica (clo-ept-ab-chs-py) (Tipo de vetillas: A4:cz-clo-chs-py)
- Alteración potásica (fpk-bt-mgt-cpy) (Tipo de vetillas: A1:bt-mgt-cpy, A2: cz-py-cpy-bt A3:cz-fpk y C1: cz+/py+/cpy)

A1, A3, B1, C1 Tipo de vetillas

LITOLOGÍA

- Grupo Nazca (tobas e ignimbritas) (22.4 - 18.7 Ma. Noble et al, 1979)
- Diques dacítico y félsicos
- Diques Andesíticos
- Granito
- Cuarzo monzonita
- Cuarzo diorita Superunidad Tiabaya (78-80 Ma. Mukasa, 1985)

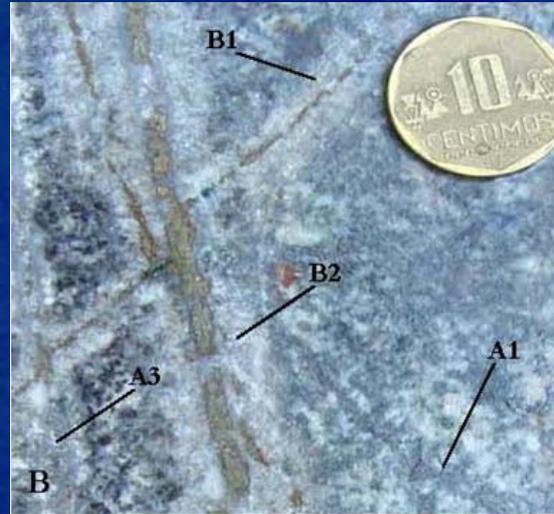
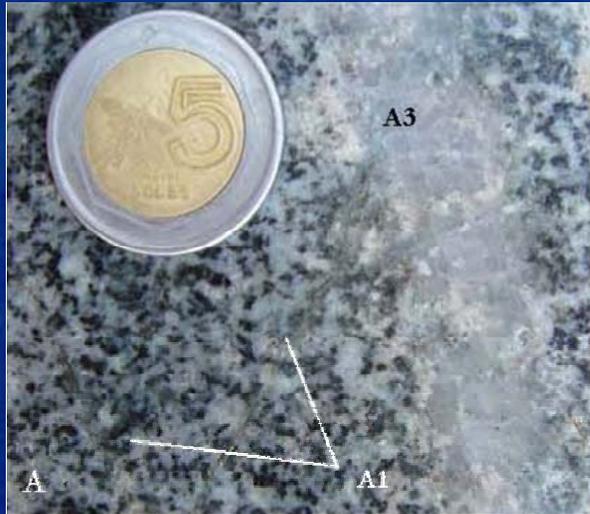
MUESTRAS

- Muestras para estudios petrográficos, mineralográficos y de inclusiones fluidas

0 100 200 300 400 500 Metros

Alteración potásica

(fpk-biotita-magnetita-calcopirita±pirita)



Vetillas

Tipo A1

bt-mgt-cpy±fpk

Tipo A2

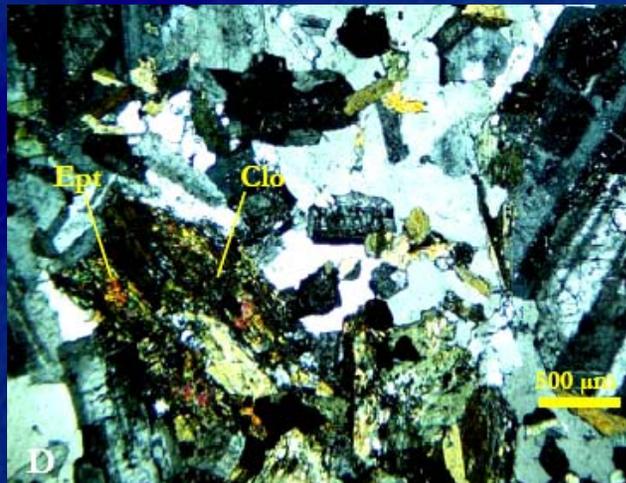
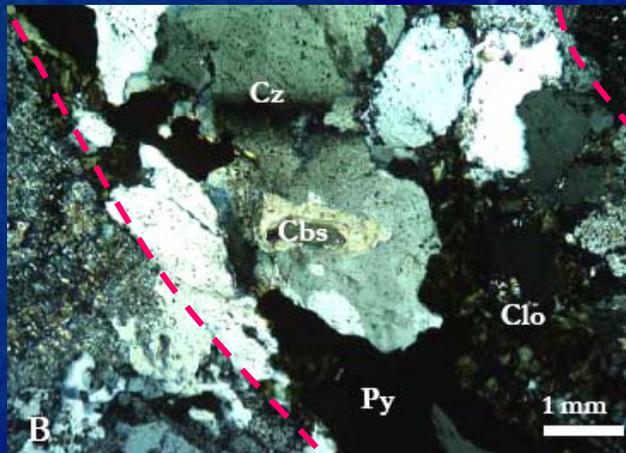
cz-py-cpy c/halo bt

Tipo A3

cz-fpk

Alteración propilítica

(clorita-epidota-albita-carbonatos-pirita)



Vetilla

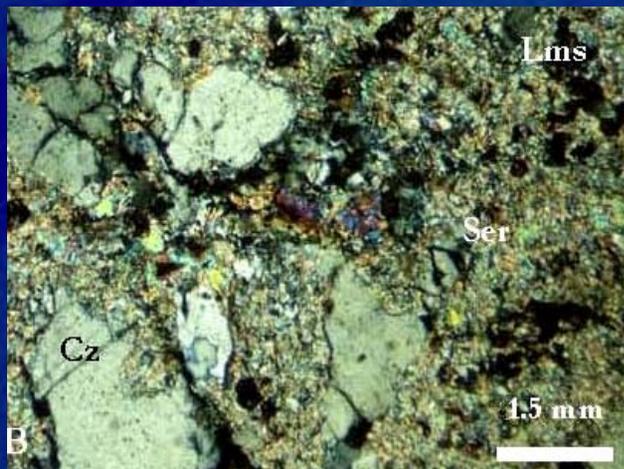
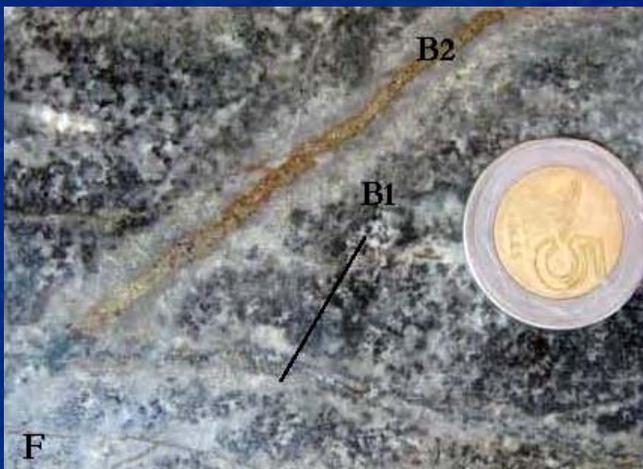
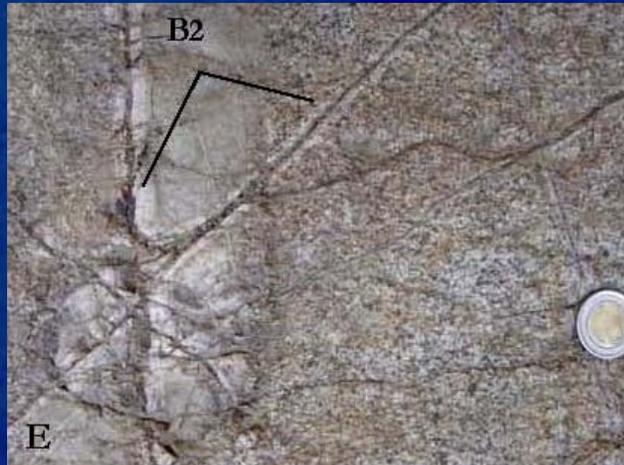
Tipo A4
cz-clo-py-cbs

Alteración fílica (cuarzo-sericita-pirita)

Vetillas

**Tipo B1
cz-cpy-py**

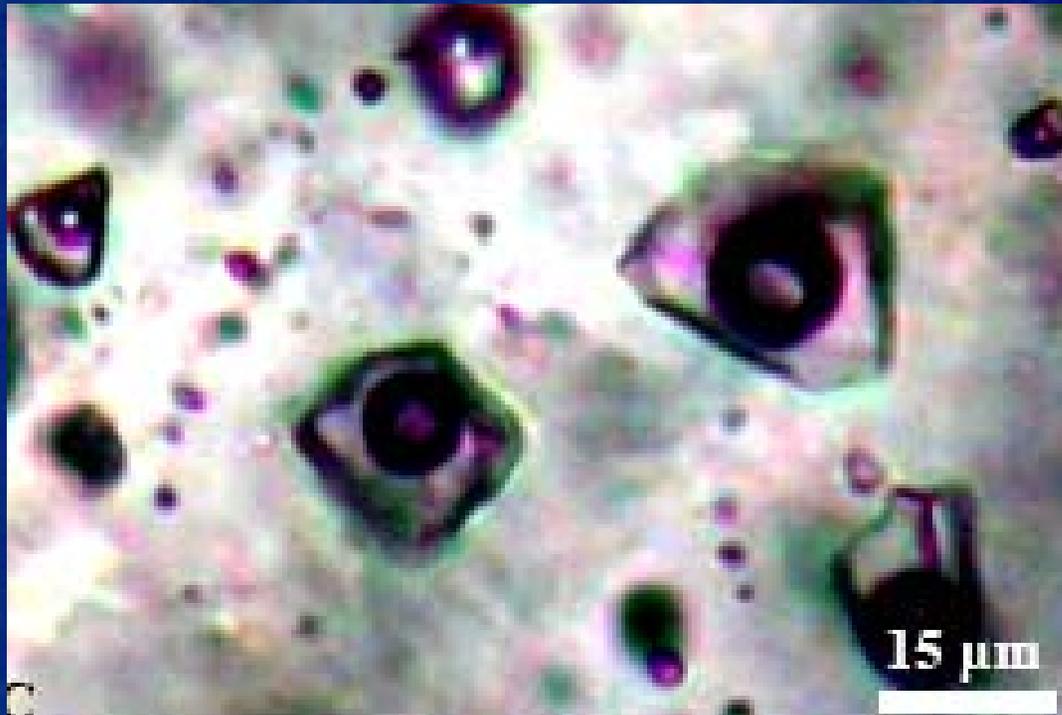
**Tipo B2
cz-py c/halo ser**



Eventos magmáticos e hidrotermales

EVENTO MAGMÁTICO	EVENTO HIDROTHERMAL	TIPO DE ALTERACIÓN	TIPOS DE VETILLA
 <p>Granito</p> <p>Pórfido dacítico</p> <p>Cuarzo monzonita</p> <p>Cuarzo diorita</p> <p>Superunidad Tiabaya</p>	<p>D < 77.5 Ma</p>	<p>Cuarzo-Sericita En vetillas.</p>	<p>D1: cz-ser c/ sutura y forma recta.</p>
	<p>C < 77.5 Ma</p>	<p>Potásica fpk-bt-mgt-clo Penetrativa y vetillas.</p>	<p>C1: cz±py±cpy s/sutura. Cortan D1.</p>
	<p>B ~77.5 Ma</p>	<p>Cuarzo-Sericita Cz-ser-py En vetillas.</p>	<p>B2: cz-py c/halo ser. Cortan B1.</p>
			<p>B1: cz±ser c/sutura cpy-py. Cortan a las A1, A3.</p>
	<p>A ~78-77.5 Ma</p>	<p>Propilítica Clo-ept-ab-±cb-py Penetrativa y vetillas</p>	<p>A4: cz-clo-cbs-py. s7sutura. Cortan cuarzo diorita.</p>
<p>Potásica fpk±bt±mgt±cpy En vetillas.</p>		<p>A3: cz-fpk Forma irregular. Halos difusos fpk. Corta A1 y A2. Vetillas tardimagmáticas.</p>	
		<p>A2: cz-py-cpy c/halo bt . Vetillas transicionales.</p>	
		<p>A1: bt-mgt-cpy±fpk. Vetillas tempranas.</p>	

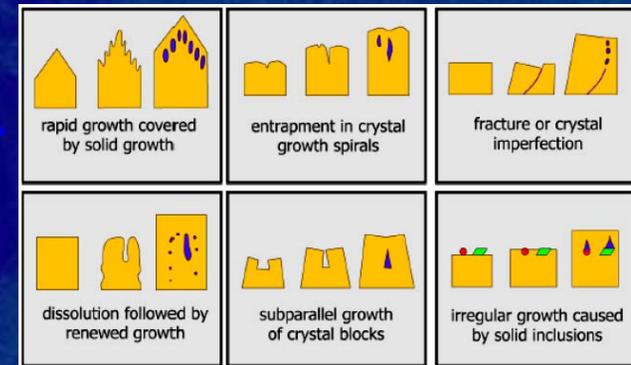
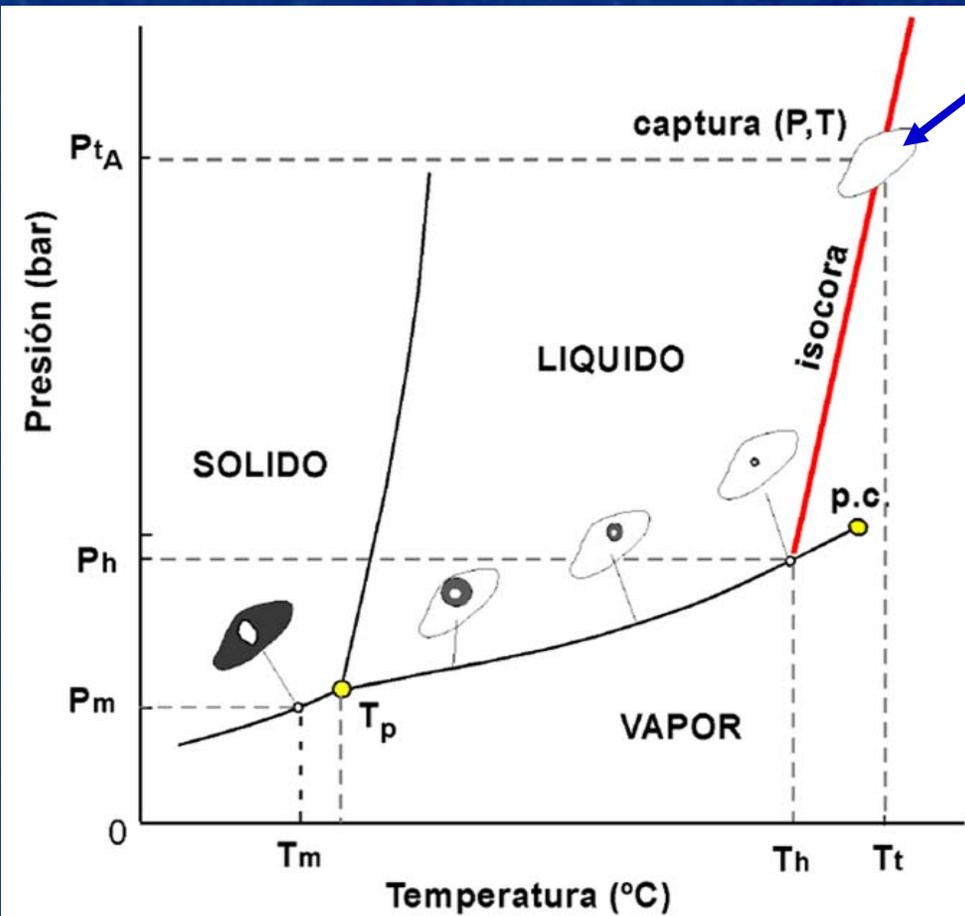
Las inclusiones de fluidos



¿Qué son las inclusiones de fluidos?

Cavidades herméticamente selladas que están ocupadas por líquido, gas o cristales de minerales.

¿Cómo se forman las inclusiones de fluidos?



Th: T° de homogenización
Ph: Presión de homogenización

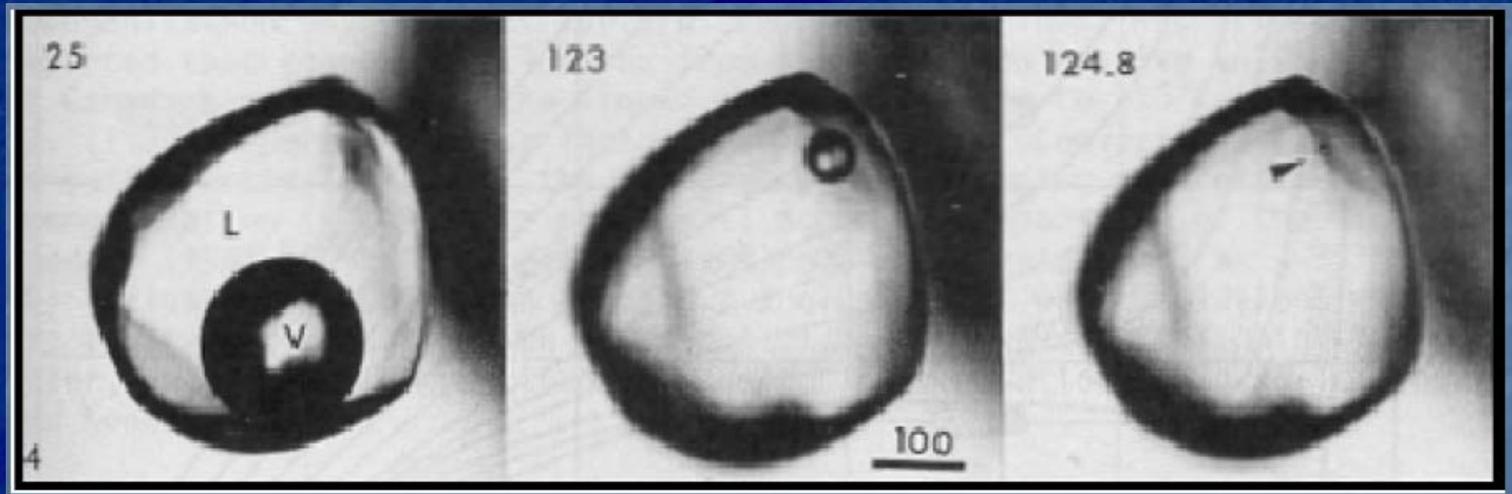
Tc: T° de captura
Pc: Presión de captura

Tm: T° de fusión de hielo
Pm: Presión de fusión de hielo

pc: punto crítico

Determinación de la temperatura mínima de captura de un fluido hidrotermal

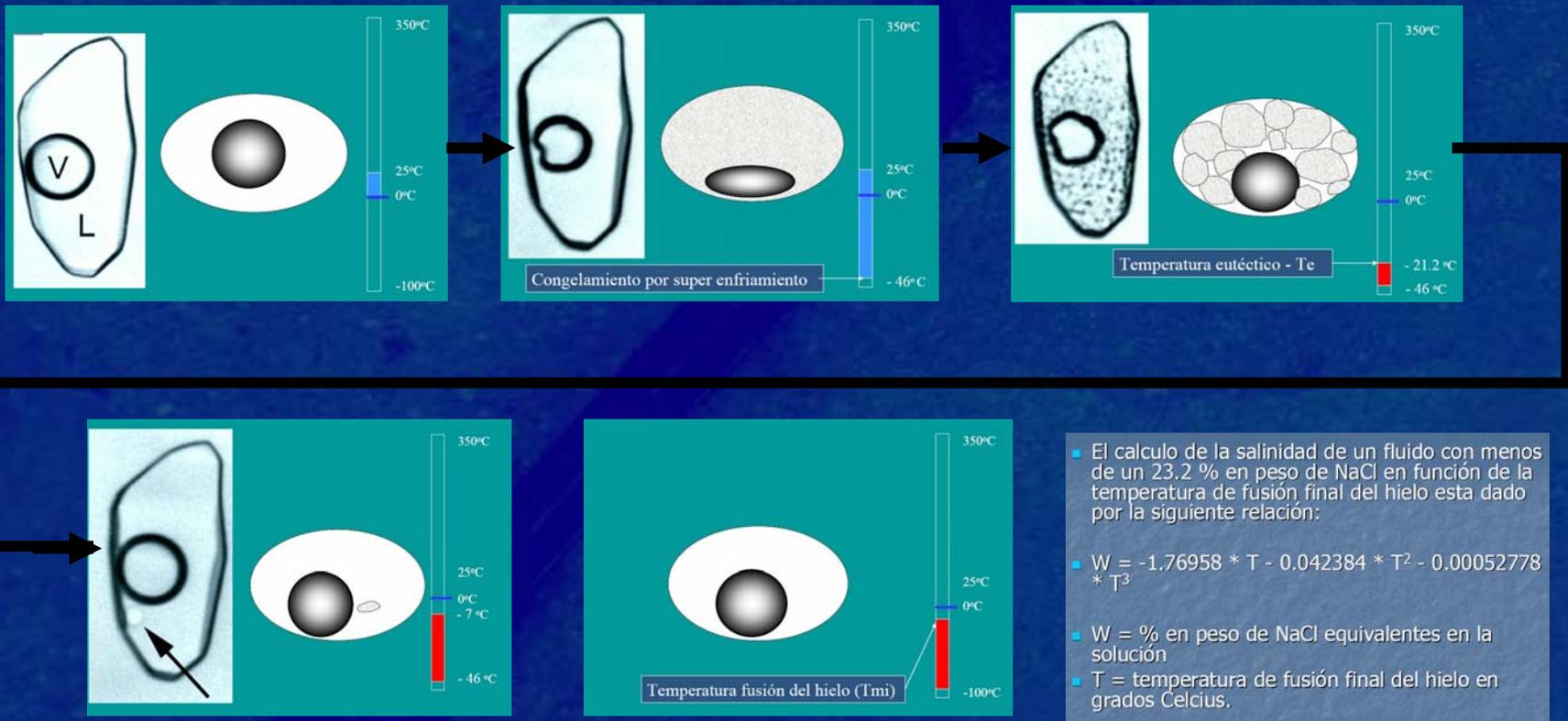
(Temperatura de homogenización: T_h)



Arehart 2002

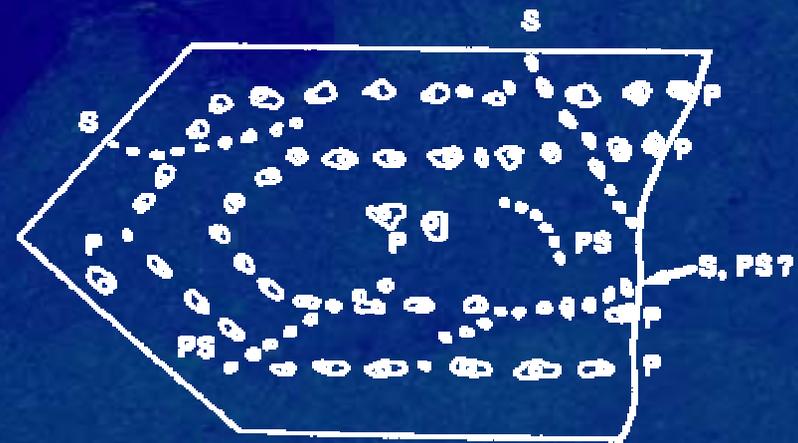
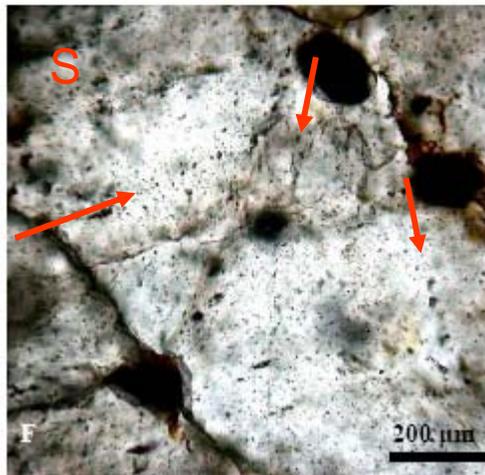
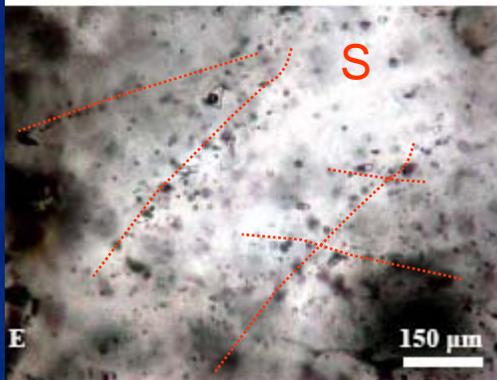
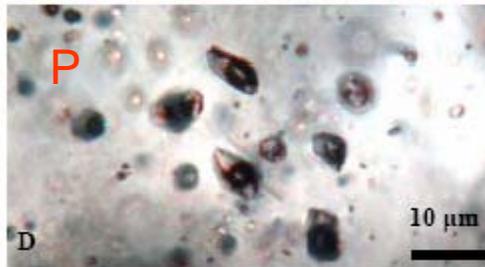
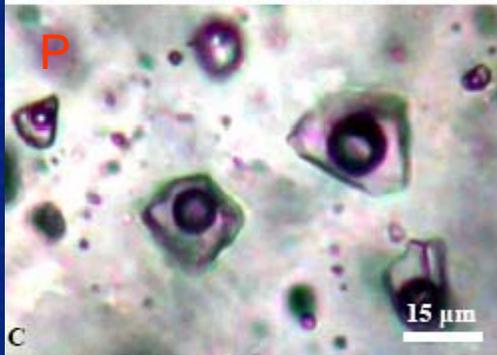
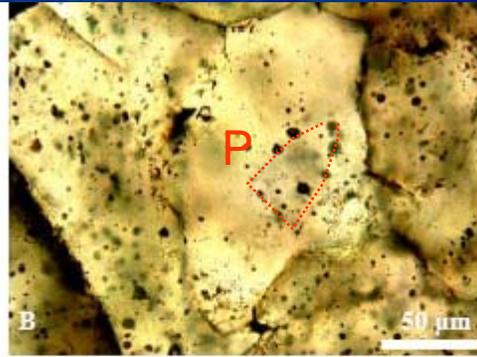
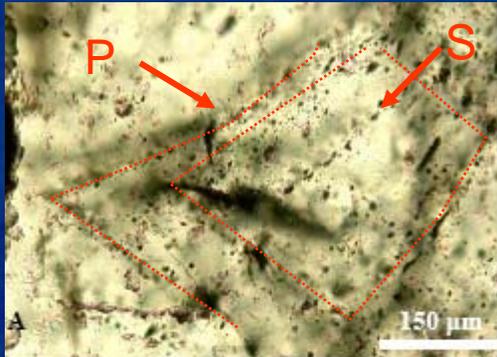
Determinación de la salinidad de un fluido de un fluido

(Temperatura de fusión de hielo: Tmi)



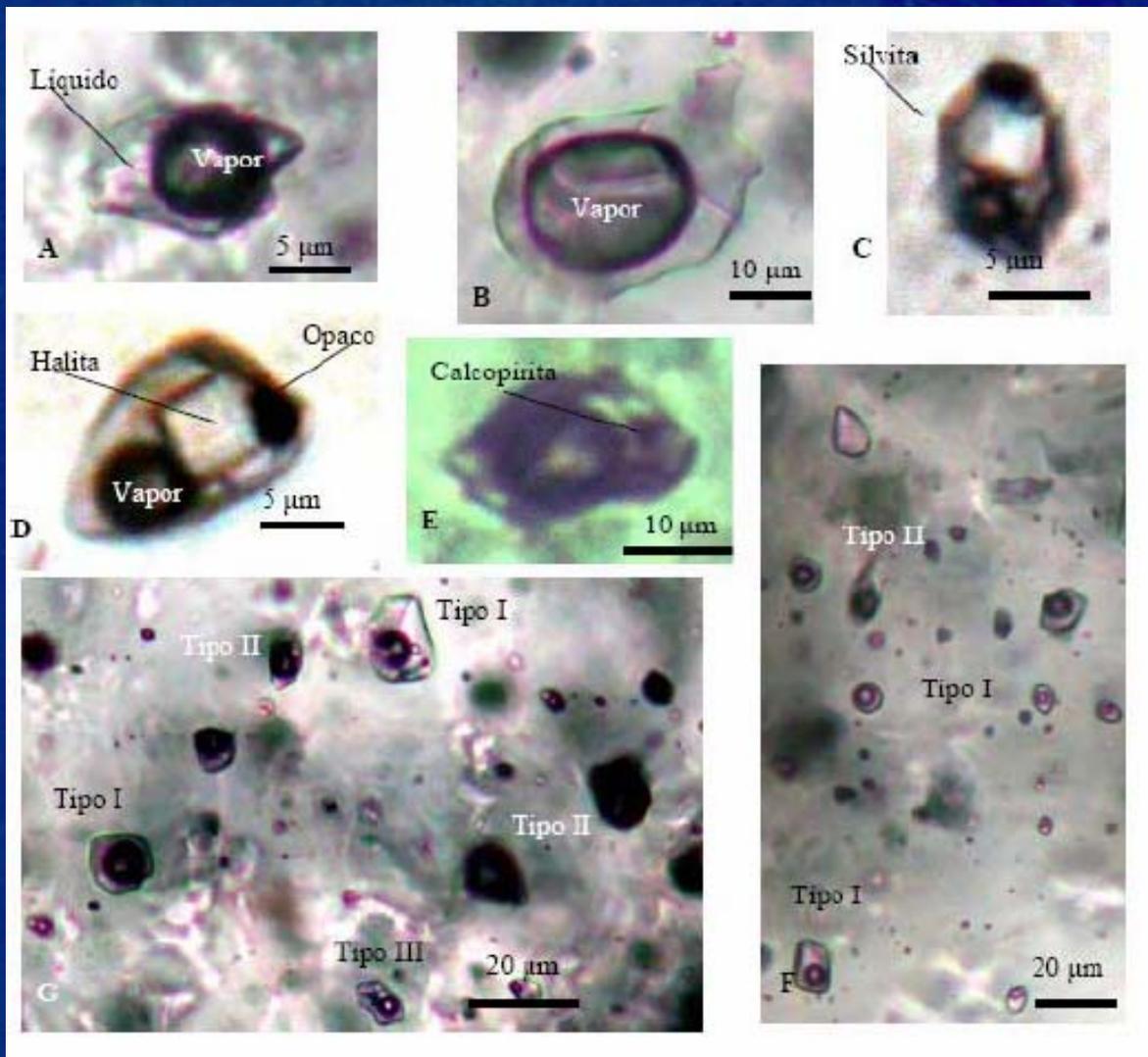
- El cálculo de la salinidad de un fluido con menos de un 23.2 % en peso de NaCl en función de la temperatura de fusión final del hielo esta dado por la siguiente relación:
- $W = -1.76958 * T - 0.042384 * T^2 - 0.00052778 * T^3$
- W = % en peso de NaCl equivalentes en la solución
- T = temperatura de fusión final del hielo en grados Celcius.

Tipos de inclusiones de fluidos (según su origen)



Shepherd 1985

Tipos de inclusiones de fluidos (según su composición)



Tipo I : ricas en líquido
(moderadas en salinidad)

Tipo II: ricas en vapor

Tipo III: con cristales de
halita, silvita y sulfuros
(con alta salinidad)

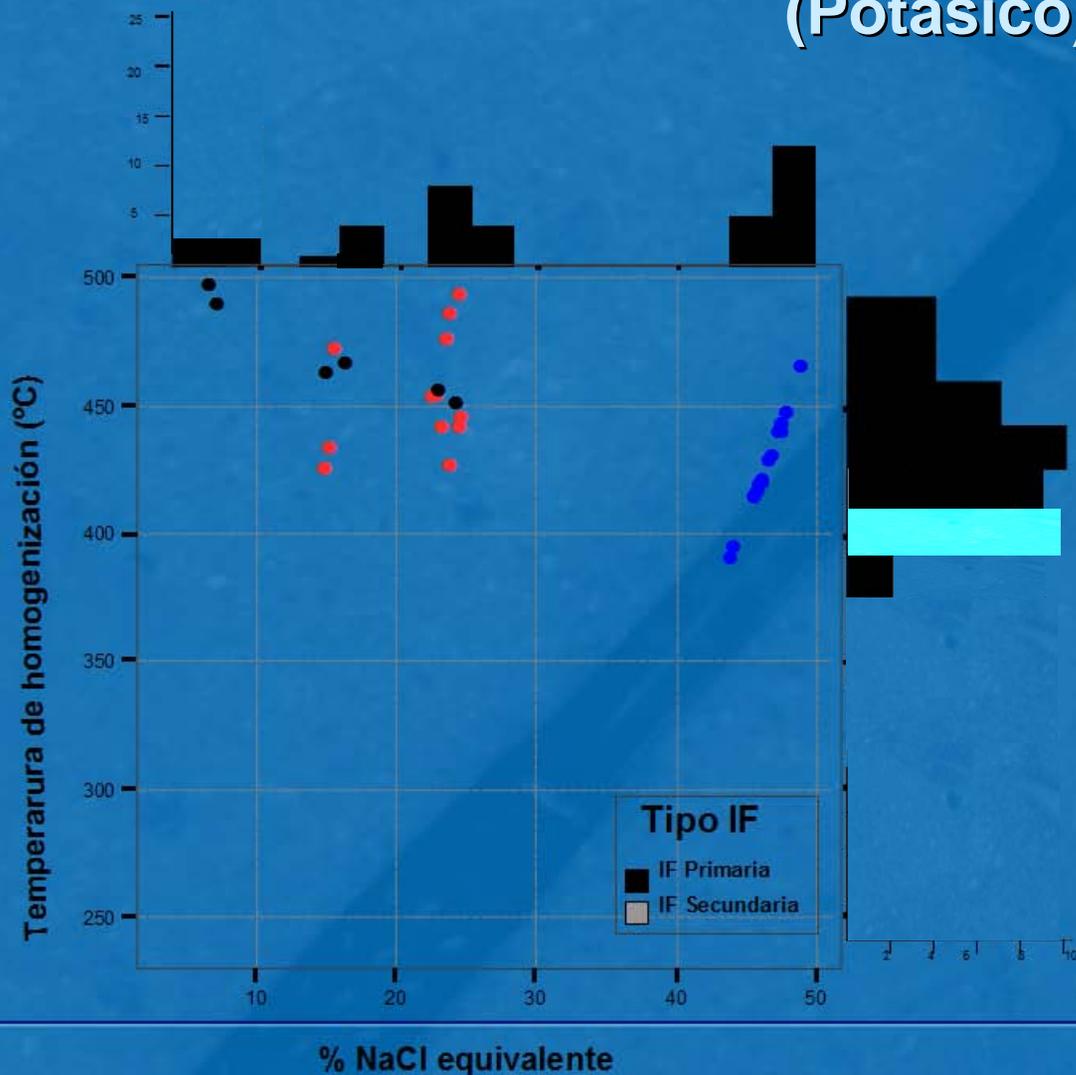
Estudio de Inclusiones fluidas (IF)

- Se hicieron estudios de petrografía IF de 12 LTDP.
- Sólo se tomaron 6 LTDP para los estudios de microtermometría:
 - 2 LTDP zona potásica Vetilla A3
 - 1 LTDP zona propilítica Vetilla A4
 - 3 LTDP zona cuarzo-sericita Vetilla B1
- Se estudiaron IF relacionadas con la génesis de la mena en cuarzo hidrotermal.
- Sólo se estudiaron familias de inclusiones fluidas (FIF) con datos consistentes (diferentes formas y tamaños).
- Las FIF proporcionan un control más eficaz y directo de los valores medidos y permiten detectar de inmediato variaciones anómalas.

Microtermometría

EVENTO HIDROTERMAL	Total IF	No.	Tipo IF
A1 Potásico	66	36	P
		30	S
A2 Propilítico	28	18	P
		10	S
B Cuarzo-Sericita	65	54	P
		11	S

Tipos de inclusiones y fluidos del evento hidrotermal A1 (Potásico)



Tipo de composición IF

- Tipo I (L)
- Tipo II (V)
- Tipo III (Sh)

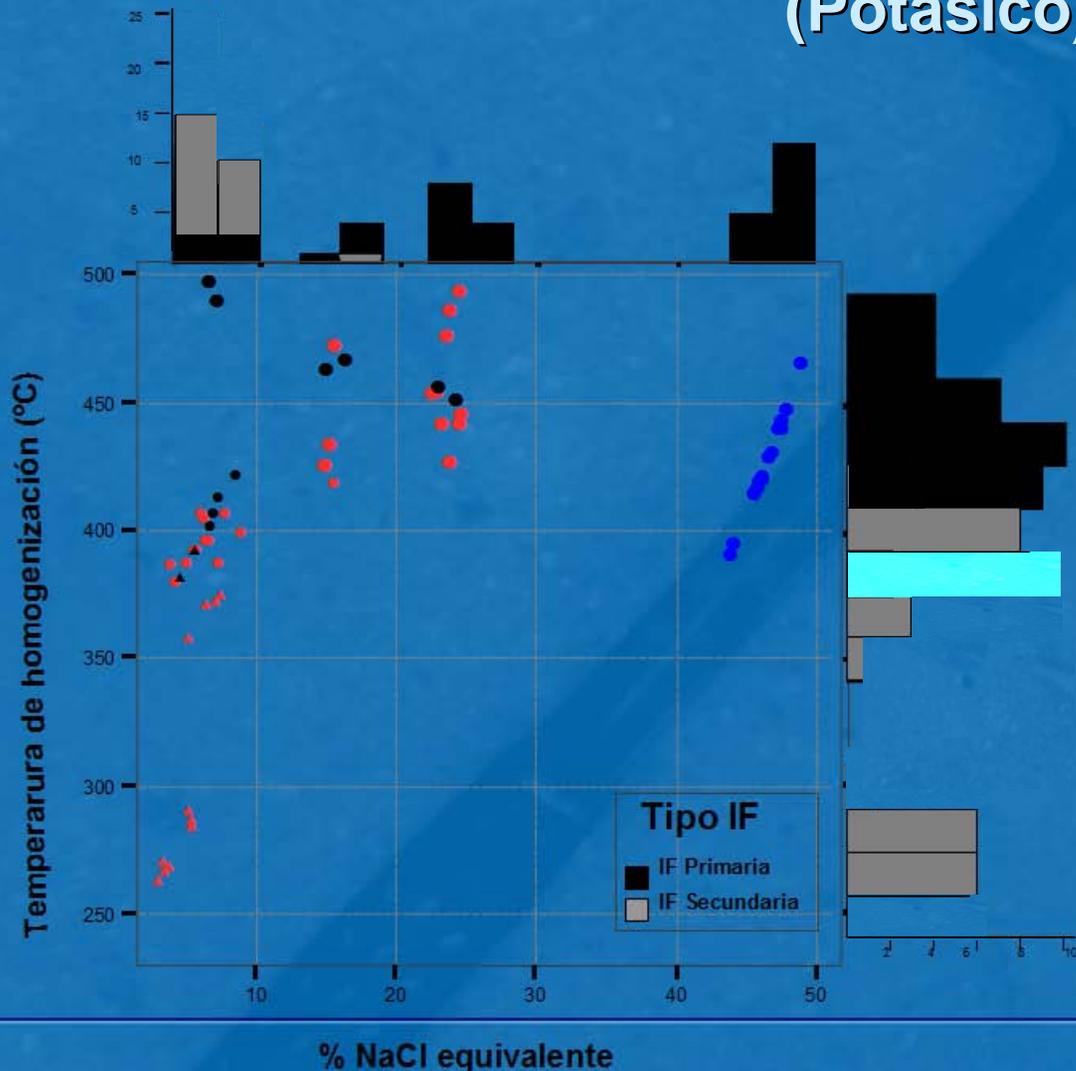
Tipo de vetilla

- Muestra 041: A3:cz-or
- Muestra 046: A3:cz-or+/-cp
- Muestra 052: A4:cz-clo-cbs-py

Tipo genético IF

- Primaria
- Secundaria

Tipos de inclusiones y fluidos del evento hidrotermal A1 (Potásico)



Tipo de composición IF

- Tipo I (L) (Red square)
- Tipo II (V) (Black square)
- Tipo III (Sh) (Blue square)

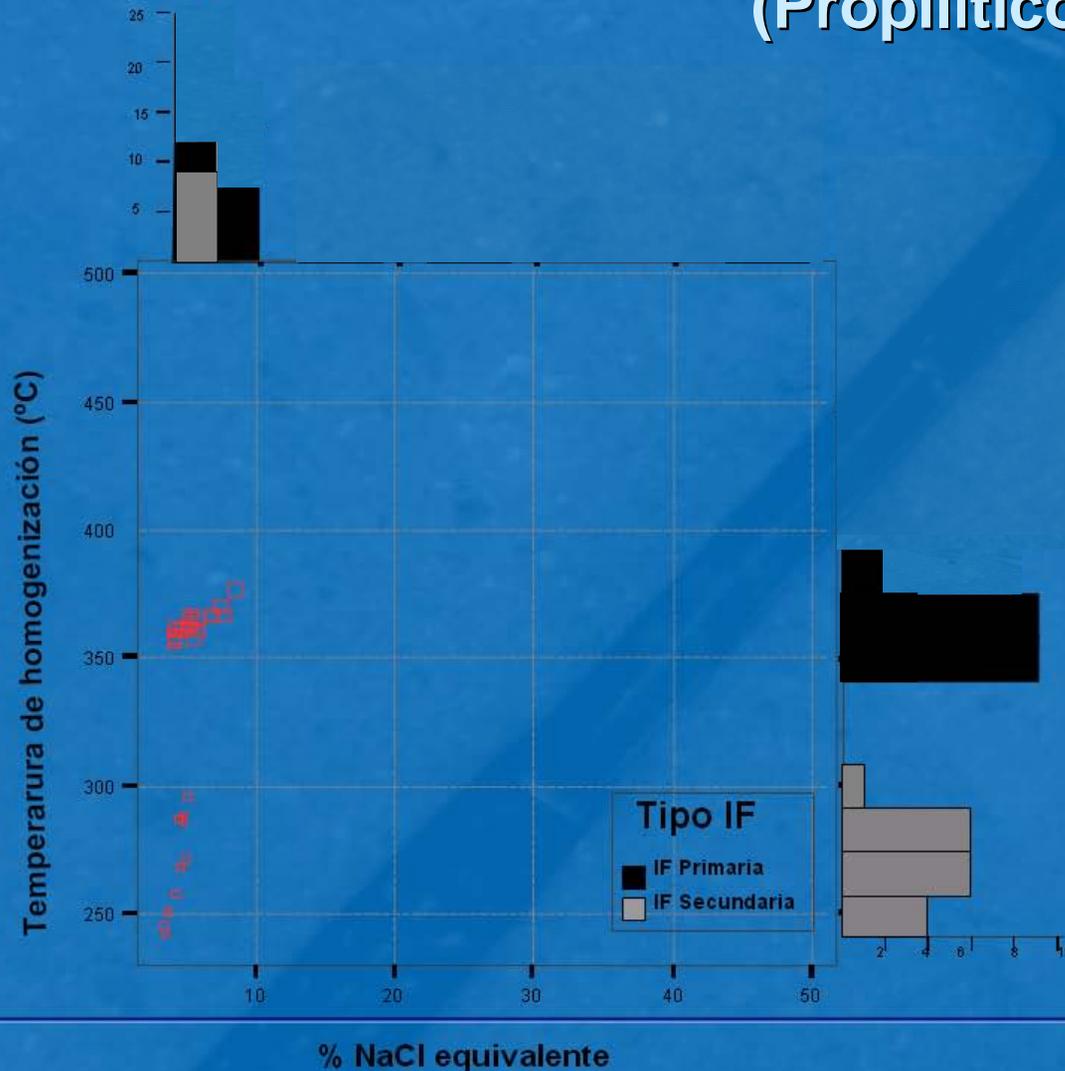
Tipo de vetilla

- Muestra 041: A3:cz-or (Black circle)
- Muestra 046: A3:cz-or+/-cp (Black triangle)
- Muestra 052: A4:cz-clo-cbs-py (Grey square)

Tipo genético IF

- Primaria (Open circle)
- Secundaria (Open square)

Tipos de inclusiones y fluidos del evento hidrotermal A2 (Propilítico)



Tipo de composición IF

- Tipo I (L)
- Tipo II (V)
- Tipo III (Sh)

Tipo de vetilla

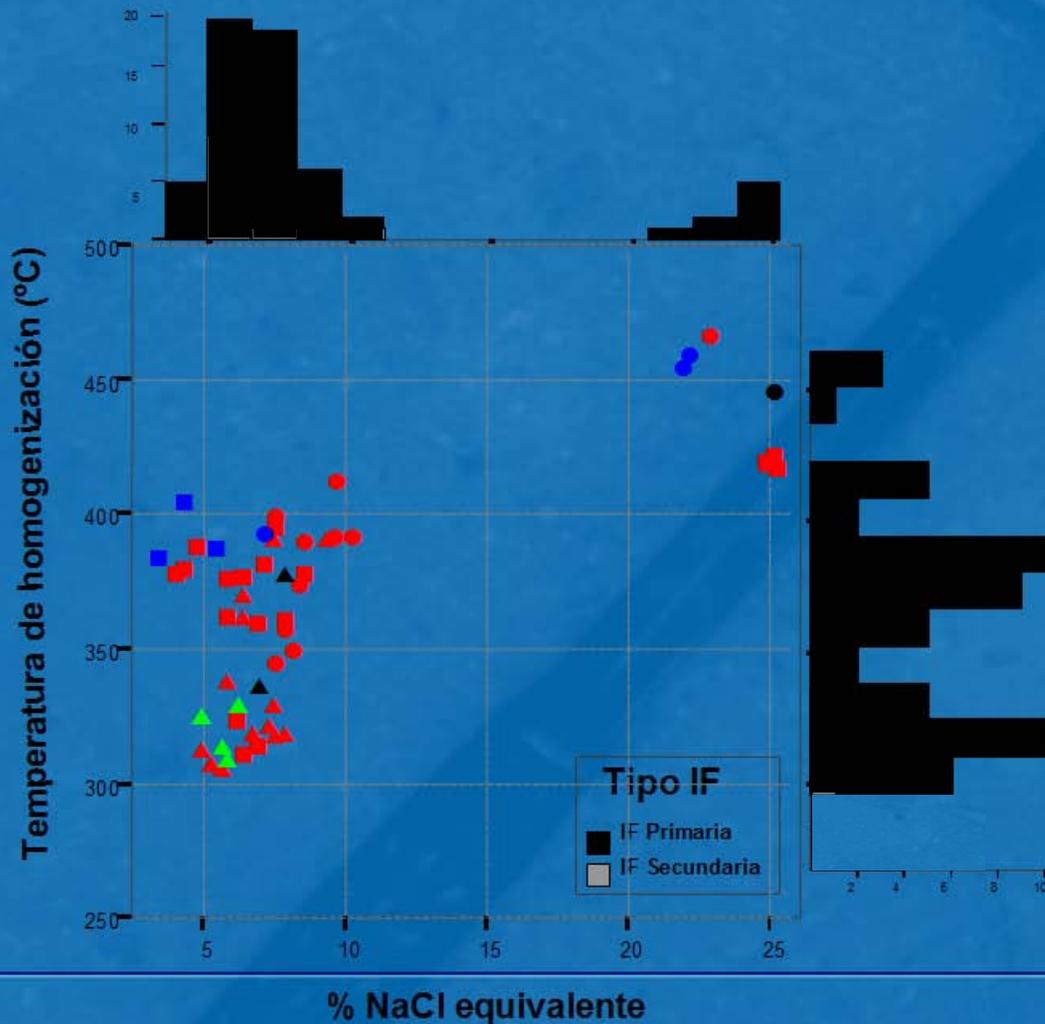
- Muestra 041: A3:cz-or
- Muestra 046: A3:cz-or+/-cp
- Muestra 052: A4:cz-clo-cbs-py

Tipo genético IF

- Primaria
- Secundaria

Tipos de inclusiones y fluidos del evento hidrotermal B

(Cuarzo - sericita)



Tipo de composición IF

- Tipo I (L)
- Tipo II (V)
- Tipo III (Scp)
- Tipo III (So)

Tipo de vetilla

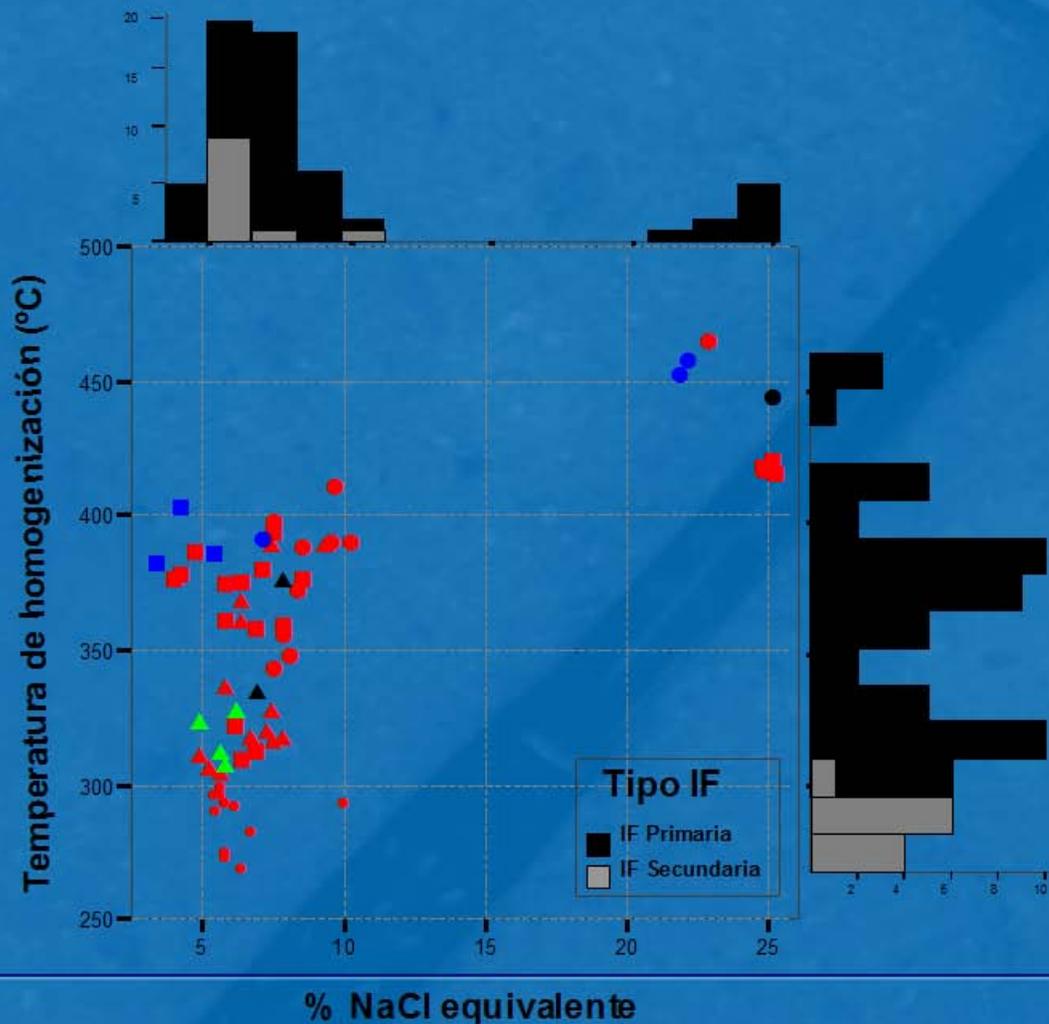
- Muestra 039: B1:cz-ser +/-lms
- Muestra 040: B1:cz-ser-goh
- ▲ Muestra 043: B1:cz-ser-clo-lms

Tipo genético IF

- Primarias
- Secundarias

Tipos de inclusiones y fluidos del evento hidrotermal B

(Cuarzo - sericita)



Tipo de composición IF

- Tipo I (L)
- Tipo II (V)
- Tipo III (Scp)
- Tipo III (So)

Tipo de vetilla

- Muestra 039: B1:cz-ser +/-lms
- Muestra 040: B1:cz-ser-goh
- ▲ Muestra 043: B1:cz-ser-clo-lms

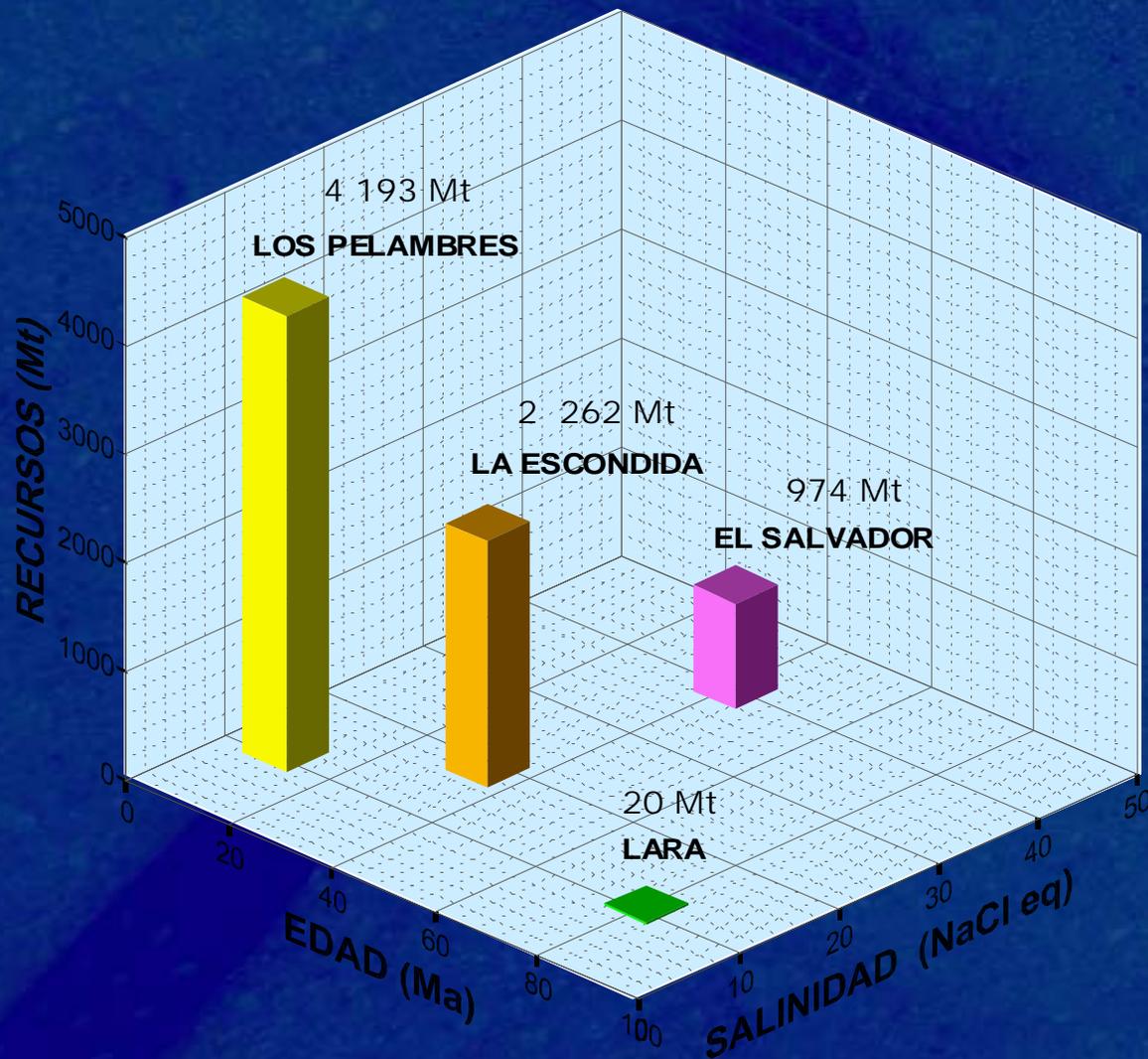
Tipo genético IF

- Primarias
- Secundarias

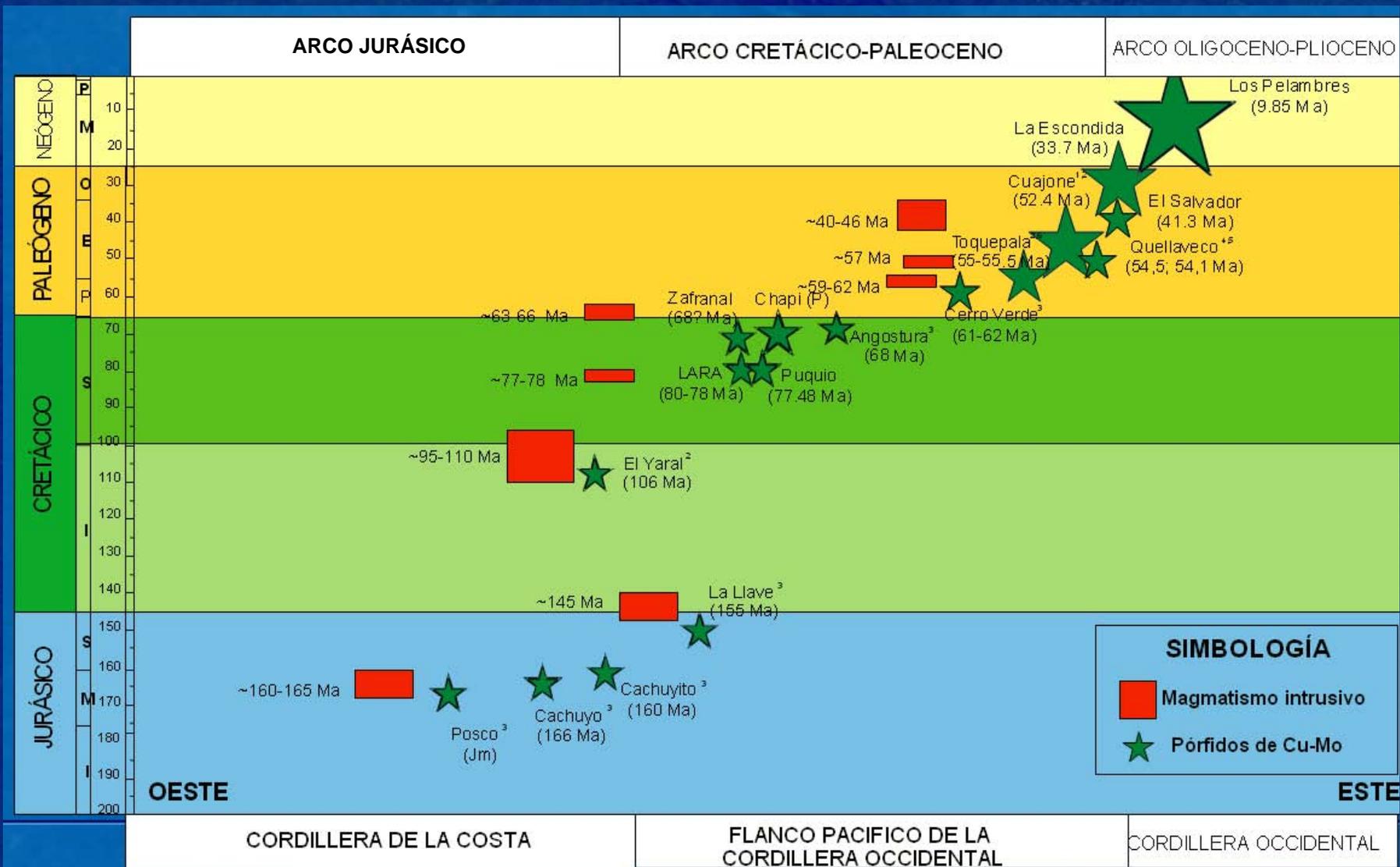
Interpretación

- La datación de 77.48 ± 0.53 Ma en sericita hidrotermal en el Pórfido de cobre Puquio (Rivera, 2006), sugiere una edad similar para el evento hidrotermal B del Pórfido de cobre Lara.
- Por lo tanto, la evolución de los fluidos hidrotermales en el pórfido de cobre Lara sucedió entre 80 y 77.5 Ma y se correlaciona con la intrusión de la cuarzo monzonita y el pórfido dacítico.

Relación edad-salinidad-tonelaje entre Lara y los pórfidos de cobre de Chile



Relación espacio-tiempo-tonelaje de los pórfidos de cobre del sur del Perú y Chile



Conclusiones

- El evento potásico A se desarrolló entre 390-500 °C y salinidades de 25 a 50% NaCl. La mineralización se formó bajo un régimen litostático de 430 bares a 1 600 m en un medio dúctil.
- El evento B de cuarzo sericita se formó entre 300 y 470°C con salinidades de 4 a 26% NaCl eq. La mineralización se depositó en un medio dúctil-frágil, bajo presiones de 226 bares y una profundidad entre 1 600 y 850 m.
- Los fluidos hidrotermales evolucionaron entre 80 y 77.5 Ma a partir de altas temperaturas de 500°C y salinidades de 50% NaCl hasta su dilución por la mezcla de fluidos magmáticos con aguas meteóricas llegando a 270°C y 5% NaCl eq.

Conclusiones

- El estudio de inclusiones fluidas ha demostrado que el evento hidrotermal B de mineralización económica en Lara tiene una menor salinidad (11% NaCl eq.) que la de los pórfidos de El Salvador y La Escondida en Chile (19 - 40% NaCl eq.).
- Los altos niveles de erosión, desarrollo incipiente de la zona de enriquecimiento secundario y exposición de la alteración potásica en los pórfidos de cobre del Cretácico superior hacen que tengan menor tonelaje y bajas leyes que aquellos del Paleoceno-Eoceno en el sur del Perú (Cuajone, Quellaveco y Toquepala) y en Chile (El Salvador y la Escondida).

Gracias