

CAPÍTULO III

METALOGÉNESIS

***“LA METALOGÉNESIS DEL DISTRITO CERRO PRIMERO DE ABRIL:
CARACTERIZACION DE LOS DEPÓSITOS HIDROTERMALES WENDY, MARTHA,
ARGENTA Y MALBEC”***

3. METALOGÉNESIS

3.1. Introducción

Una de las particularidades más relevantes del Macizo del Deseado, además de su intenso vulcanismo jurásico, es la presencia de numerosos depósitos hidrotermales vetiformes del tipo epitermal de baja sulfuración (Hedenquist, 1987). Este tipo de depósito se caracteriza por alojar mineralizaciones principalmente de Au-Ag (en ocasiones de muy alta ley), que se forman en sistemas hidrotermales superficiales relacionados a magmas que se emplazan en sectores poco profundos de la corteza (hasta 6 km de profundidad), asociados generalmente a rocas volcánicas subaéreas, en donde los minerales son precipitados a partir de soluciones acuosas con temperaturas generalmente inferiores a los 300°C, que circulan a profundidades no mayores a los 1,5 km por debajo de la superficie (Hedenquist, 1987; Hedenquist *et al.*, 2000; Sillitoe y Hedenquist, 2003; Simmons *et al.*, 2005).

En el Distrito Cerro Primero de Abril se observó que los depósitos volcanoclásticos jurásicos relacionados con la caldera se encuentran asociados espacial, temporal y genéticamente a una importante actividad hidrotermal que ha generado cuatro sistemas mineralizados o *trends* de rumbo NO-SE, típicamente vetiformes y que están localizados al sur (Wendy), en el sector central (Martha y Argenta) y en el sector norte (Malbec) (Anexo I).

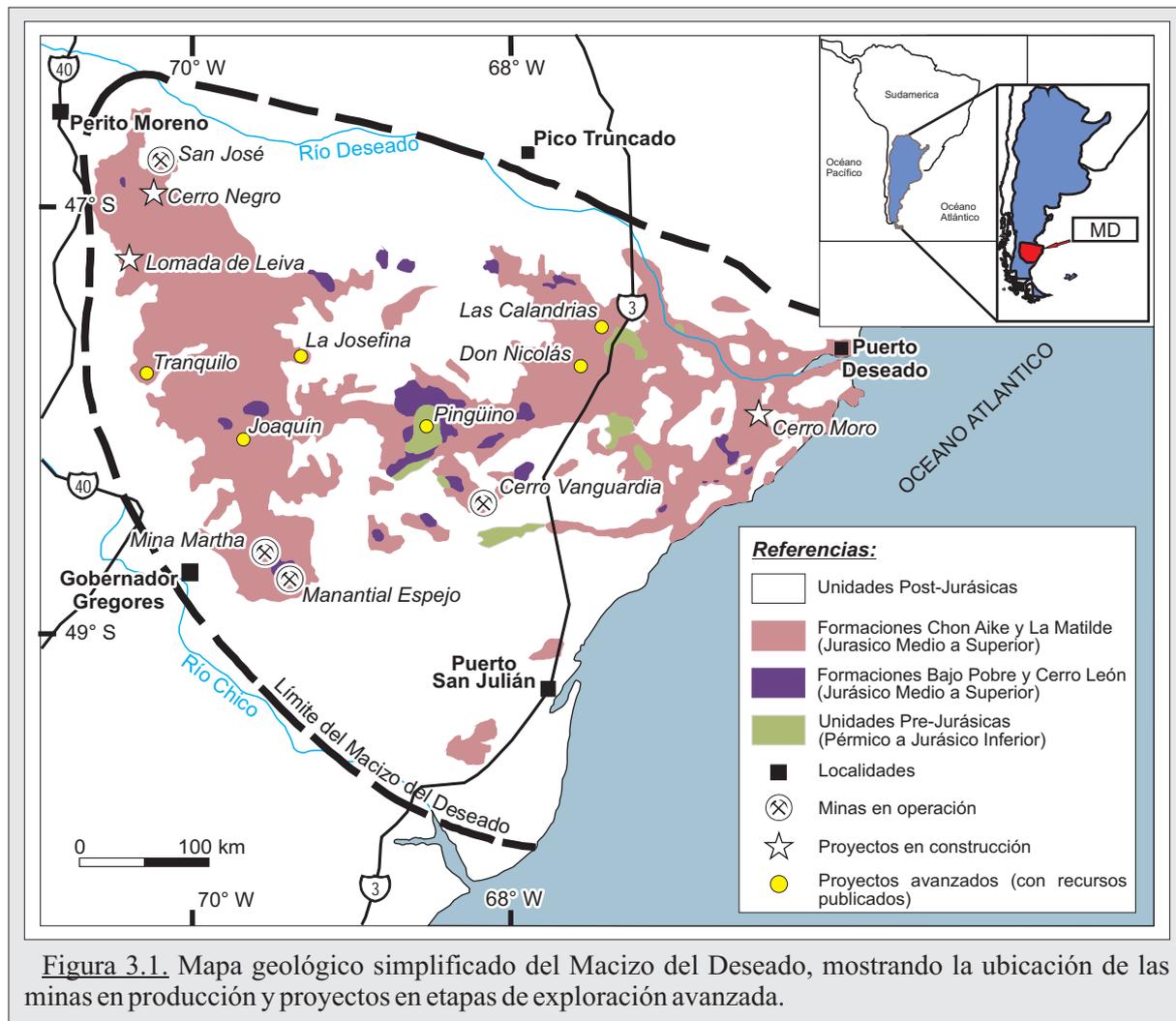
En este capítulo se volcarán los resultados obtenidos en los trabajos realizados sobre cada una de las mineralizaciones regionales, definiendo las características particulares de las vetas que la conforman, su esquema estructural y la mineralogía presente, determinando los esquemas de pulsos mineralizantes para cada depósito.

El objetivo buscado en este capítulo es, a partir de análisis detallados de petrografía, calcografía, inclusiones fluidas, isótopos estables e inestables, comprender el origen, naturaleza y evolución de los fluidos hidrotermales que actuaron en la generación de cada sistema mineralizado, definiendo las vinculaciones existentes entre cada uno de ellos.

3.2. Provincia Auro-argentífera Deseado (PAD)

En el Macizo del Deseado se encuentran hospedados más de 30 depósitos hidrotermales con relevancia económica, tanto por su tamaño como por su volumen de reservas minerales. Con el descubrimiento de las vetas de cuarzo con oro en el área del Cerro Vanguardia (Genini, 1984 y 1990), se generó una intensa y prolífera actividad prospectiva que ha dado como resultado el descubrimiento de varios distritos vetiformes con presencia de metales preciosos, convirtiendo a esta provincia en una importante productora de oro y plata, actualmente con cuatro minas activas (Cerro Vanguardia, Martha, San José y Manantial Espejo) y una gran cantidad de proyectos mineros en distinto grado de desarrollo (Figura 3.1).

El extenso vulcanismo jurásico descrito en el capítulo precedente se encuentra espacial,



temporal y genéticamente vinculado con una importante actividad hidrotermal que ha generado numerosos depósitos epitermales de oro y plata de fuerte impacto económico, lo que llevó a Schalamuk *et al.* (1999) a definir una nueva entidad metalogenética conocida como **Provincia Auro-argentífera Deseado (PAD)**. De acuerdo a estos autores, las principales ocurrencias hidrotermales en la PAD corresponden a los modelos epitermales de baja sulfuración, asociados en general a las rocas volcánicas del Complejo Bahía Laura, y en menor medida con las sedimentitas pérmicas y los intrusivos de la Fm. La Leona.

La presencia de estas importantes manifestaciones epitermales de oro y plata motivaron numerosos estudios de detalle, los cuales confirmaron la predominancia de estos tipos de depósitos epitermales, sumando además depósitos con características de sulfuración intermedia y también yacimientos de tipo polimetálico (Schalamuk *et al.* 1995; 1997, 1999, 2002 y 2005; Echavarría, 1997; Guido, 2002; Echeveste, 2005a; Moreira, 2005; López, 2006; Gutierrez, 2006; Mykietiuik, 2006; Wallier, 2009; Jovic, 2009; Páez, 2012).

A partir de estos trabajos se reconoce que los depósitos hidrotermales presentes en el Macizo del Deseado presentan en su mayoría estructuras con morfologías vetiformes, desarrollando vetillas, *stockworks* y brechas hidrotermales de cuarzo y calcedonia con un importante control estructural de rumbo predominante NO y en menor medida NE y E-O. Poseen una mineralogía

compleja conformada por minerales metalíferos representados por pirita, oro nativo, electrum, argentita, plata nativa, sulfosales de plata, hematita, esfalerita, galena y calcopirita, mientras los minerales de ganga mayormente pertenecen al grupo de la sílice (principalmente cuarzo, y en menor medida calcedonia y ópalo) con texturas macizas, brechosas, bandeados crustiformes, coliformes, cocardas y en peine, con menores cantidades de calcita, adularia, baritina, fluorita y zeolitas. En general, poseen una alteración hidrotermal restringida a las proximidades de las vetas y está representada por silicificación, argilización, sericitización y propilitización en menor medida.

La signatura geoquímica de estos yacimientos está caracterizada por elevados valores de metales preciosos (con relaciones Ag:Au de 9:1.) y ocasionales contenidos anómalos de As, Sb, Hg, Mo, Pb, Zn, Mn y Cu (Schalamuk *et al.*, 2002; Ruiz y Guido, 2006; Jovic, 2009; Páez, 2012).

En general, estos fluidos están caracterizados por soluciones H₂O-NaCl neutras a algo alcalinas con salinidades correspondientes a soluciones diluidas o débilmente salinas. El rango de temperaturas de homogenización del cuarzo y la adularia va desde <100° C a 320° C y los valores $\delta^{18}\text{O}$ en cuarzo varía entre -10 y +4‰ lo que sugiere una importante participación de aguas meteóricas en las soluciones hidrotermales, mientras que los valores de $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ fluctúan entre los -6,4 y +5‰ indicando una fuente magmática para el azufre. (Schalamuk *et al.*, 1999, 2002, y 2005; Fernández *et al.*, 2008; Jovic, 2009; Páez, 2012).

Además, esta provincia posee un buen registro de depósitos de ambientes de *hot spring* jurásicos, con un excepcional estado de preservación en alguno de ellos. Estos depósitos comprenden un conjunto de rocas de composición silíceas (sinter) o carbonáticas (travertinos) que se forman por precipitación a partir de fluidos hidrotermales que llegan a la superficie, estando vinculados al extenso volcanismo jurásico y a las numerosas mineralizaciones epitermales presentes en el Macizo (Guido y Campbell, 2009 y 2011; Guido *et al.*, 2010).

Dentro del marco estructural del Macizo se puede reconocer dos grandes grupos de mineralizaciones en función de su orientación y cinemática. El primer grupo de mineralizaciones se encuentra asociado al sistema de fallas para el rift Jurásico propuesto por Giacosa *et al.* (2008a) para el sector oriental del Macizo, presentando una dirección principal con cinemática dextral-normal y una orientación general ONO a NO, que estaría incluyendo a los sistemas de vetas de la Mina Cerro Vanguardia (Giacosa *et al.*, 2008b) y Mina Manantial Espejo (Echeveste, 2005a). La dirección secundaria de este sistema tiene una orientación NNE, una cinemática sinistral-normal, y está representado por las mineralizaciones observadas en el Proyecto La Josefina (Moreira *et al.*, 2008). Este conjunto de mineralizaciones posee una edad que varía entre 156 y 152 Ma con una moda alrededor de los 154 ma (Moreira *et al.*, 2009; Wallier, 2009).

El segundo grupo de mineralizaciones presenta una cinemática sinistral y una orientación general NO a ONO, siendo reconocida en las vetas de la Mina San José (Gutierrez, 2006), Veta Eureka (Lopez, 2006) y Mina Martha (Páez, 2012). De acuerdo a estos autores, estas estructuras podrían estar alojándose en fracturas producto de reactivaciones de fallas antiguas presentes en el basamento de las vulcanitas jurásicas, ya que estas mineralizaciones poseen edades de entre 165 y

151 ma, marcando una superposición temporal con el primer grupo de mineralizaciones.

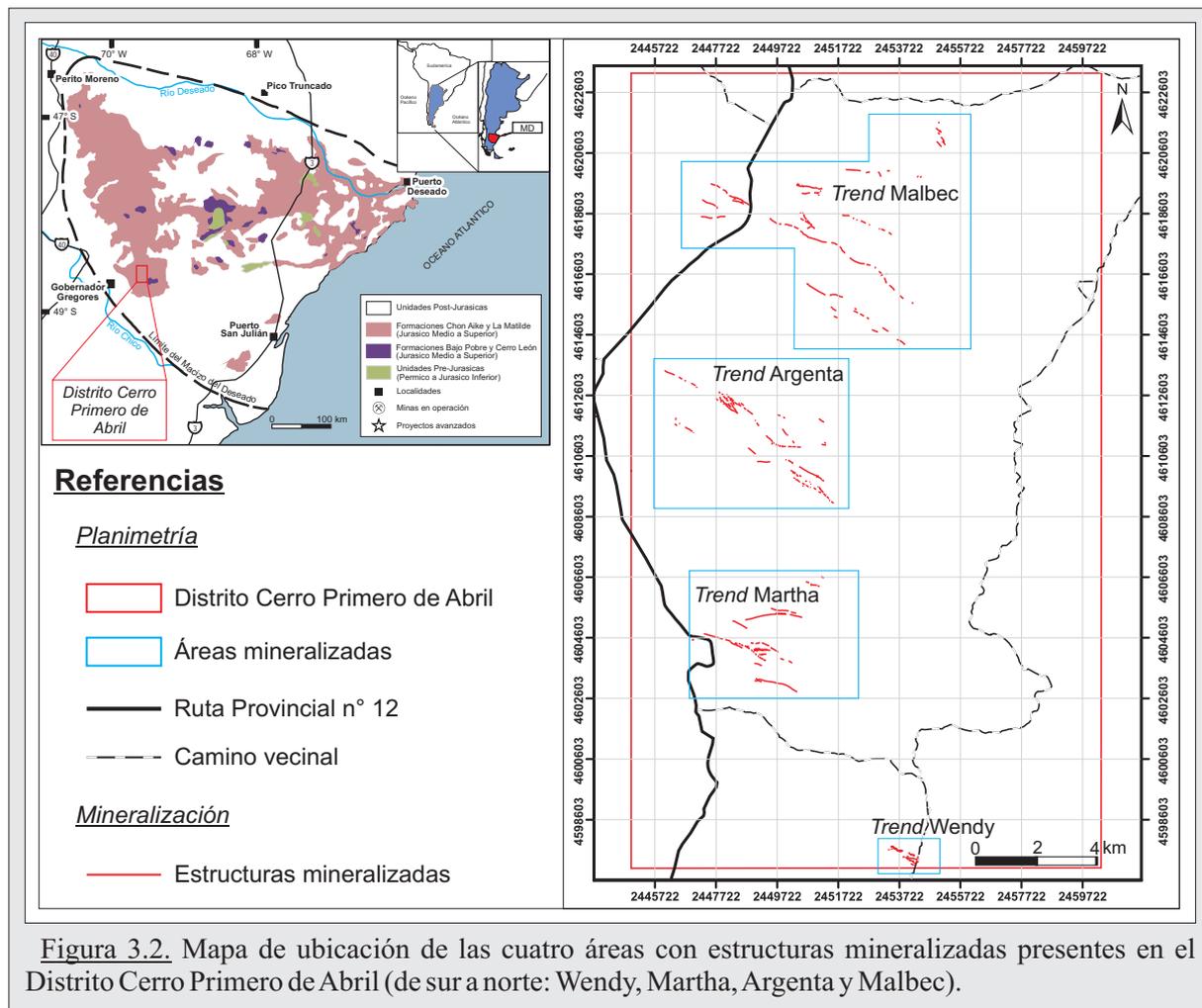
Finalmente, numerosos investigadores hay sugerido que ésta mineralización jurásica está relacionada a los últimos estadios del vulcanismo bimodal, generalmente hospedada en ignimbritas, lavas riolíticas y andesitas (Arribas *et al.*, 1996; Schalamuk *et al.*, 1999 y 2005; Guido y Schalamuk, 2003; Schalamuk *et al.*, 2005; Echavarría *et al.*, 2005; Fernández *et al.*, 2008; Jovic, 2009; Páez, 2012).

3.3. Distrito Cerro Primero de Abril: Distribución y caracterización de los sistemas mineralizados Wendy, Martha, Argenta y Malbec

3.3.1. Introducción

El Distrito Cerro Primero de Abril aloja cuatro sistemas vetiformes o *trends* mineralizados, los cuales están dispuestos con rumbo NO-SE y poseen un fuerte control estructural (Figura 3.2 y Anexo I).

Desde un punto de vista general y a modo de resumen, estos sistemas están formados por un conjunto de vetas, vetillas, stockworks y brechas hidrotermales, compuestos mayormente por cuarzo, con texturas de relleno de espacios, bandeamientos crustiformes, coliformes, cocardas,



texturas en peine y pseudomorfos de calcita laminar. No obstante, cada *trend* posee características distintivas y particulares.

A lo largo de los trabajos de campo se fueron relevando en detalle las áreas Wendy, Argenta y Malbec, tomando datos y muestras de las estructuras para su posterior procesamiento en el laboratorio. Se tomaron 160 puntos de control, en donde se recolectaron datos descriptivos de las estructuras (como rumbo y buzamiento de las vetas, planos de cizallas, mineralogía, alteración hidrotermal, etc.), recolectando un total de 61 muestras. Sobre estas muestras se realizaron 39 secciones delgadas para la descripción de los minerales transparentes, 27 secciones pulidas preparadas para el análisis de las inclusiones fluidas, y 12 probetas para la caracterización calcográfica de los minerales opacos.

Con todo este material se elaboró para cada sistema mineralizado una descripción detallada por pulso, considerando cuatro tópicos principales: 1) caracterización mineralógica y secuencia paragenética; 2) datos microtermométricos; 3) perfil geoquímico; y 4) indicadores cinemáticos.

Para el primer tópico se realizó un análisis macroscópico sobre las muestras de las estructuras aflorantes, como así también en las muestras de los testigos corona de las perforaciones realizadas en el área por distintas empresas mineras. De su correspondiente estudio microscópico en secciones delgadas, pulidos calcográficos y microsonda electrónica, se elaboró un análisis con dos objetivos: por un lado definir la mineralogía presente y por otro lado, considerando las relaciones de corte entre los diferentes pulsos mineralizantes, precisar un esquema paragenético para cada sistema de mineralizaciones.

Para la descripción de la mineralogía y las texturas características presente en cada pulso se realizó un análisis enfocado en la naturaleza de la ganga y el tipo de mineral de mena presente, siguiendo los criterios de [Ramdhor \(1980\)](#), [Ineson \(1989\)](#), [Dong y Morrison \(1995\)](#), [Dong *et al.* \(1995\)](#), [Echavarría \(1997\)](#) y [Pracejus \(2008\)](#).

El análisis micro-termométrico a partir de las inclusiones fluidas (IF) presentes en los minerales transparentes y semitransparentes se ha convertido en una herramienta fundamental en la caracterización de los depósitos hidrotermales, permitiendo determinar las condiciones físico-químicas propias del fluido (temperatura, salinidad, presión, densidad, composición química, etc.) y revelando la naturaleza del evento mineralizador que ha dado lugar a la formación de un yacimiento al ser la única muestra representativa de los fluidos hidrotermales que lo generó ([Bodnar *et al.*, 1985](#); [Wilkinson, 2001](#)).

Para este análisis se confeccionaron 24 secciones delgadas, en los cuales se hizo una búsqueda selectiva de las IF primarias, discriminando y seleccionando las mejores de acuerdo a su morfología, distribución y mineral que las contiene, descartando aquellas que presentaban procesos de estrangulamiento, decrepitaciones y otros efectos mecánicos provocados por tensiones que podrían conducir a interpretaciones erróneas. Luego, y a partir de los ensayos termométricos, se obtuvieron los siguientes datos: tamaño, morfología, temperaturas de congelamiento (T_c), de fusión del hielo (T_f), del eutéctico (T_e) y de homogenización (T_h), grado de relleno o densidad (F), y estimándose finalmente la salinidad del fluido de acuerdo a la fórmula de

Bodnar (1993).

Para el tercer tópico se utilizaron los datos geoquímicos (principalmente Au, Ag, Cu, Zn y Pb) obtenidos por las empresas Compañía Minera Polimet y Coeur Argentina S.R.L en sucesivas campañas de exploración regional, considerando tanto los valores de las muestras tomadas en superficie, como así también en los testigos corona de perforaciones.

Finalmente, para el cuarto tópico se evaluaron los indicadores cinemáticos presentes en el campo, integrándolos con otras características de las estructuras (como los diseños geométricos y patrones de afloramientos, potencia de las estructuras, texturas, etc., que de una manera indirecta están reflejando las condiciones del ambiente tectónico) permitiéndonos saber cuáles fueron los mecanismos estructurales que actuaron al momento de su formación y así definir un marco estructural en cada área.

En el área Martha no se realizó un análisis detallado como en los otros sectores, considerando para las discusiones los resultados obtenidos por Páez (2012) en su trabajo de tesis doctoral.

3.3.2. Sistema Wendy

3.3.2.1. Ubicación y características generales.

El sistema Wendy está ubicado en el sector sur del distrito y se caracteriza por una geología dominada por los flujos lávicos del complejo andesítico, y en menor medida, depósitos de caída y tufitas (Anexo I).

Se encuentra integrado por al menos 9 cuerpos vetiformes en superficie, que totalizan unos 3,5 km lineales de estructuras aflorantes. Está conformado por dos áreas con características muy particulares (Figura 3.3 y Tabla I): el área oriental denominada **Wendy Principal** está integrada por un sistema vetiforme conformado por 7 estructuras de rumbo principal NO-SE y secundarios E-O y N-S; y el área occidental donde se localiza el sector denominado **Wendy Oeste**, que posee estructuras sub-aflorantes de escaso desarrollo en superficie, las cuales se encuentran en una importante asociación con extendidos depósitos de un ambiente de tipo *hot spring*.

3.3.2.2. Distribución y características de las estructuras en las áreas Wendy Principal y Wendy Oeste.

Área Wendy Principal

Las siete estructuras del sistema Wendy Principal se encuentran alojadas en lavas del complejo andesítico, y se denominan *Josefa*, *Zulema*, *Cintia*, *Albanie*, *Josefa Norte*, *Josefa Este*, y *Carito* (Figura 3.3); a pesar de tener cada una de ellas características particulares, como su rumbo, patrón de afloramiento o naturaleza química, comparten algunas propiedades que permiten agruparlas para su caracterización general (Tabla I).

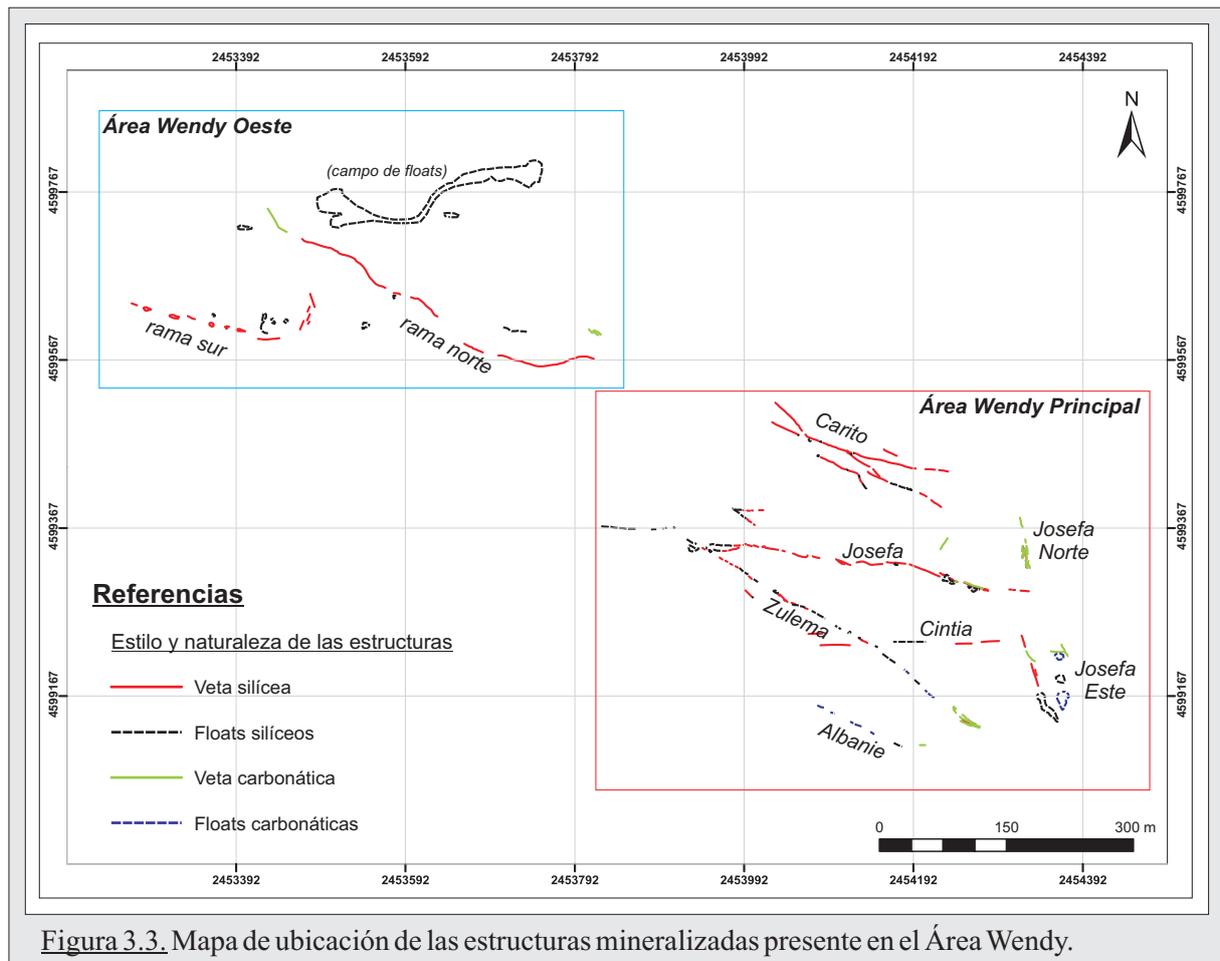


Figura 3.3. Mapa de ubicación de las estructuras mineralizadas presente en el Área Wendy.

La estructura *Josefa* es la más importante por su expresión en superficie, con el desarrollo de un patrón de afloramientos en crestones de media altura, no superando los 2 m de alto y los 1,5 m de potencia (Figura 3.4-A), mientras que en las 6 estructuras restantes domina el estilo de crestones sub-aflorantes que pasan a *floats* a lo largo de su extensión (Figura 3.4-B).

Se reconocen dos tipos de composición química en el sistema Wendy principal, con estructuras de naturaleza carbonáticas (*Albanie* y *Josefa Norte*), de naturaleza síliceas (*Josefa*, *Cintia*, *Josefa Este* y *Carito*), y de naturaleza compartida carbonática-síliceas (*Zulema* y *Josefa Este*). Se puede observar que, en líneas generales, las vetas que se encuentran localizadas más al sur y al este son de naturaleza carbonáticas, mientras que las localizadas más al norte y oeste, son de naturaleza síliceas (Figura 3.3).

Las estructuras se alojan de acuerdo a tres rumbos marcados, el principal es N120° a E-O con *Josefa-Cintia-Carito* alojadas en esa dirección, y dos secundarios NO-SE (N150°) y N-S con *Albanie-Zulema* y *Josefa Norte-Josefa Este* respectivamente (Figura 3.3). Son estructuras que mayormente poseen buzamientos verticales a sub-verticales de alto ángulo y variables en su dirección, reconociéndose tanto buzamientos al N-NE como al S-SO (Figura 3.4-A).

La morfología dominante en 5 de las 7 estructuras (*Josefa*, *Josefa Este*, *Zulema*, *Albanie* y *Cintia*) es de tipo vetiforme desarrollando vetillas y *stockworks*, con texturas macizas, bandeadas y brechadas en las estructuras carbonáticas (Figuras 3.4-C y 3.4-D), mientras que en las estructuras síliceas las texturas primarias dominantes son las brechadas, bandeamientos

Tabla I - Resumen de las principales características de las estructuras mineralizadas presentes en el área Wendy.

Área	Estructura	Rumbo y buzamiento promedio	Longitud	Potencia	Patrón de afloramiento	Texturas observadas	Pulsos reconocidos	Observaciones
Wendy Principal	Josefa	N90° a N120° // 70°-90° al norte	400 m	1 m a 3-4 m	Crestones de baja altura (0,5 - 2 m)	Brechas, stockworks y vetillas con texturas bandeada, en cucarda, y pseudomorfos de platycalcita (<i>bladed calcite</i>)	P1 + P2	Se reconoció un diseminado de arsenopirrita.
	Zulema	N120° // vertical	200 - 220 m	30 cm a 1,5 m	Crestones subaflorantes	Brechas y vetillas finas con desarrollo de texturas en enrejado a partir de los pseudomorfos de platycalcita.	P1 + P2	Generalmente la roca está intensamente argilizada (y en menor medida limonitizada), y la estructura algo oxidada con lo cual los colores varían entre los blancos grisáceos y los amarillos rojizos.
	Cintia	Este-Oeste // 80° al sur a vertical	250 - 300 m	50 - 60 cm	Crestones subaflorantes a <i>floats</i>	Stockwork poco denso con las paredes tapizadas con cuarzo con texturas framboidales y abundantes drusas. Posee también texturas brechosas.	P1 + P2	Alta participación de los óxidos de manganeso a lo largo de toda su extensión. Posee una intensa alteración que podría haber sido facilitada por un diaclasamiento apretado profundo que sufre la estructura probablemente por alojarse en una zona de falla.
	Carito	N120° // 50°-60° al Noreste a Vertical	200 m	2,5 - 3 m	Crestones fuertemente tectonizados	Las texturas primarias están obliteradas por el desarrollo de una brecha tectónica póstuma.	P1 + P2	Posee un diseminado de pirita fuertemente alterada. Se pudo reconocer una estructura sigmoidal de unos 3m de longitud que muestra un desplazamiento de tipo dextral.
	Albanie	Este-Oeste a N120° // 80° al sur a vertical	120 m	50 cm	<i>Floats</i>	Texturas carbonáticas masivas, laminadas tipo <i>bladed</i> , bandeadas finas y en cucarda.	P1	Estructura carbonática con afloramientos rastros, con una escasa expresión en superficie.
	Josefa Norte	N150° a N-S //	60 m	30 cm a 1 m	Crestones subaflorantes a <i>floats</i>	Texturas carbonáticas brechosas, masivas y laminadas tipo <i>bladed</i> , y silíceas bandeadas finas y en cucarda.	P1 + P2	El sector más austral se caracteriza por una brecha carbonática que se dispone en un arreglo en <i>echelon</i> con rumbo general de la estructura N-S, donde las lentes de brecha se orientan según N40°, indicando un desplazamiento de tipo dextral para esta estructura (Figura 3.4-G).
	Josefa Este	N150° // 80° al SO	70 m	1 m	Crestones subaflorantes a <i>floats</i>	Texturas carbonáticas masivas y laminadas tipo <i>bladed</i> , y textura de reemplazo por silíceo bandeado fino.	P1 + P2	Se pueden reconocer tres tramos: los tramos norte y sur (aprox. 20 m y 27 m de extensión respectivamente), donde el pulso carbonático se encuentra fuertemente afectado por un reemplazo de los pulsos silíceos; y el tramo central (con 15 m de longitud) donde se preserva la naturaleza carbonática de la estructura del pulso P2.
	Rama Norte	NO-SE	460 m	50 cm a 1 m	<i>Floats</i> y crestones subaflorantes	Texturas carbonáticas laminadas convoluta fina y silíceas brechadas.	P1 + P2	Posee al noreste pequeños bloques silíceos, siendo abundantes en cantidad y con una gran dispersión espacial.
	Rama Sur	N120° a E-O	200 m	50 - 70 cm	<i>Floats</i> y crestones subaflorantes	Texturas silíceas brechadas y bandeados finos.	P2	Posee en su flanco norte un campo de bloques silíceos con dimensiones de hasta 2 m de diámetro, pero de poca extensión areal.

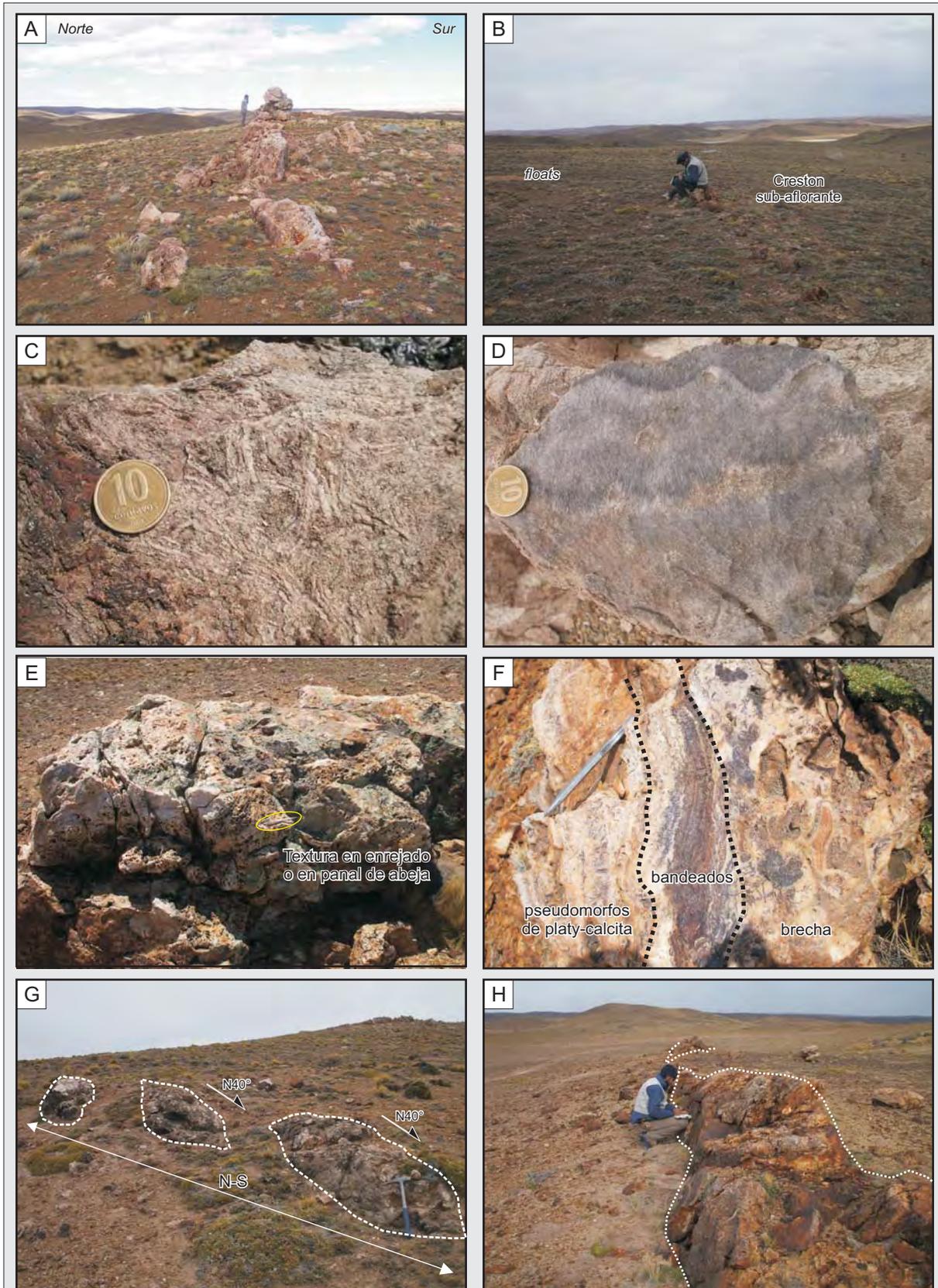


Figura 3.4. Wendy Principal. **A)** *Josefa*, patrón de afloramiento de potentes crestones buzando al NE; **B)** *Zulema*, con un estilo de afloramiento en crestones sub-aflorantes y *floats* (vista regional hacia el SO); **C)** y **D)** Texturas bandeadas finas y gruesas en vetas carbonáticas (*Albanie* y *Cintia* respectivamente); **E)** y **F)** *Josefa*, afloramientos de vetas silíceas desarrollando texturas en enrejado, bandeadas, brechosas y de reemplazo pseudomórfico; **G)** *Josefa Norte*, afloramientos con una disposición en *echelón*; **H)** *Carito*, crestón aflorante con un patrón sigmoidal fuertemente cizallado.

coloformes y en cocardas, drusiformes, framboidales y en peine, con desarrollo de texturas de reemplazo del tipo pseudomórfico sobre calcita laminar (Figuras 3.4-E y 3.4-F).

Por otro lado, las dos estructuras restantes se destacan por poseer una morfología diferente al resto: *Josefa Norte* y *Carito* (Figura 3.3). La primera de ellas posee tres tramos con desarrollos texturales y estructurales diferentes, el tramo norte y centro se caracteriza por una rama principal de rumbo N150° sobre la que convergen ramas secundarias de rumbo N-S, que a su vez son enlazadas por estructuras más pequeñas subparalelas a la estructura principal, reconociéndose texturas carbonáticas brechosas en la rama principal, y bandeadas con calcita masiva y tipo *platy* en las ramas secundarias. El sector más austral se caracteriza por una brecha carbonática que se dispone en un arreglo en *echelon* con rumbo general de la estructura N-S, donde las lentes de brecha se orientan según N40°, indicando un desplazamiento de tipo dextral para esta estructura (Figura 3.4-G).

Por otro lado, *Carito* desarrolla crestones discontinuos de hasta 3 m de longitud, con forma de lentes sigmoidales que poseen un cizallamiento intenso que por sectores llega a generar una brecha de falla (Figura 3.4-H).

Se reconocieron tres sectores con presencia de sulfuros en superficie, uno localizado en la intersección de las estructuras *Josefa* y *Zulema* donde se observó un diseminado de arsenopirita fresca (Figura 3.5-A), y en las estructuras *Albanie* y *Carito* donde se reconoció abundante pirita fuertemente oxidada (Figura 3.5-B).

Área Wendy Oeste

El área Wendy Oeste está conformada por dos estructuras continuas denominada *Rama Norte* y *Rama Sur* (Figura 3.3), ambas con una importante oxidación que las hace llamativas en el campo, y una argilización menos intensa.

El patrón de afloramiento de ambas ramas es mayormente en *floats* dispersos (Figura 3.6-A), no desarrollando estructuras bien armadas como las observadas en el área Wendy Principal.

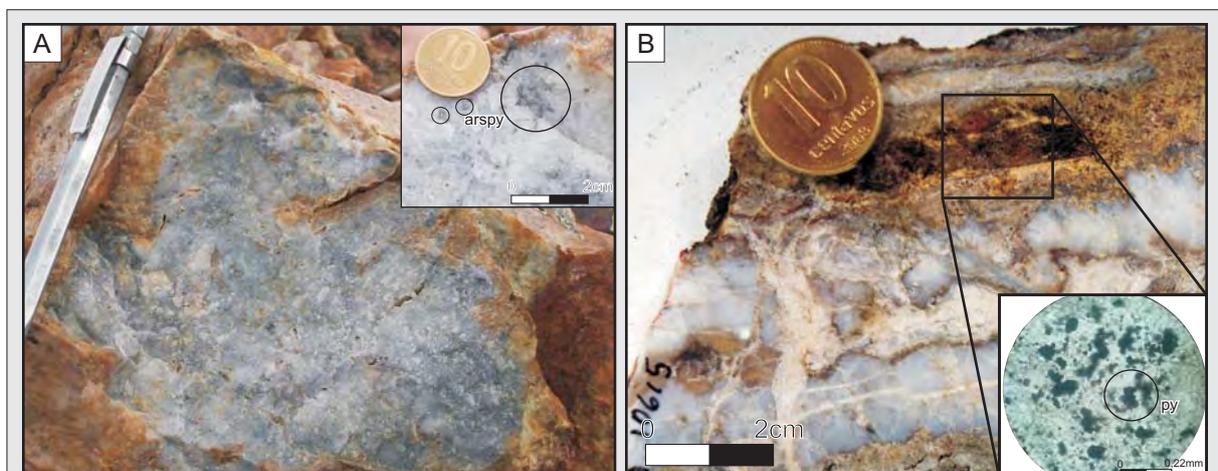


Figura 3.5. Wendy Principal. **A)** Intersección *Josefa-Zulema*, muestra de mano y detalle de los sulfuros diseminados (principalmente arsenopirita fresca); **B)** Estructura *Albanie*, muestra de mano y detalle al microscopio de los cristales de pirita oxidados.

La rama norte posee una zonación desde su extremo NO, representado por una estructura carbonática con una laminación convoluta fina (Figura 3.6-B), a su extremo SE el cual muestra un progresivo aumento en la silicificación y desarrollo de texturas brechadas asociadas a una fuerte oxidación, no reconociéndose presencia de sulfuros (Figura 3.6-C).

En la rama sur solo se reconocieron texturas brechadas con cemento de cuarzo gris y abundantes clastos hematitizados, siendo escasas las texturas bandeadas.

La principal característica de este sector es que se encuentra en una importante asociación con extendidos niveles de laminados carbonáticos con texturas convolutas finas, estromatolitos silicificados y abundantes bloques de sílice de reemplazo dispersos (Figura 3.6-D), todos pertenecientes a un ambiente geotermal tipo *hot spring*, lo que le confiere a este sector características más superficiales respecto al área Wendy Principal.

3.3.2.3. Caracterización de la mineralización

a) Mineralogía y secuencia paragenética.

Respecto al primero de los objetivos, se determinó que la mineralogía presente en Wendy es

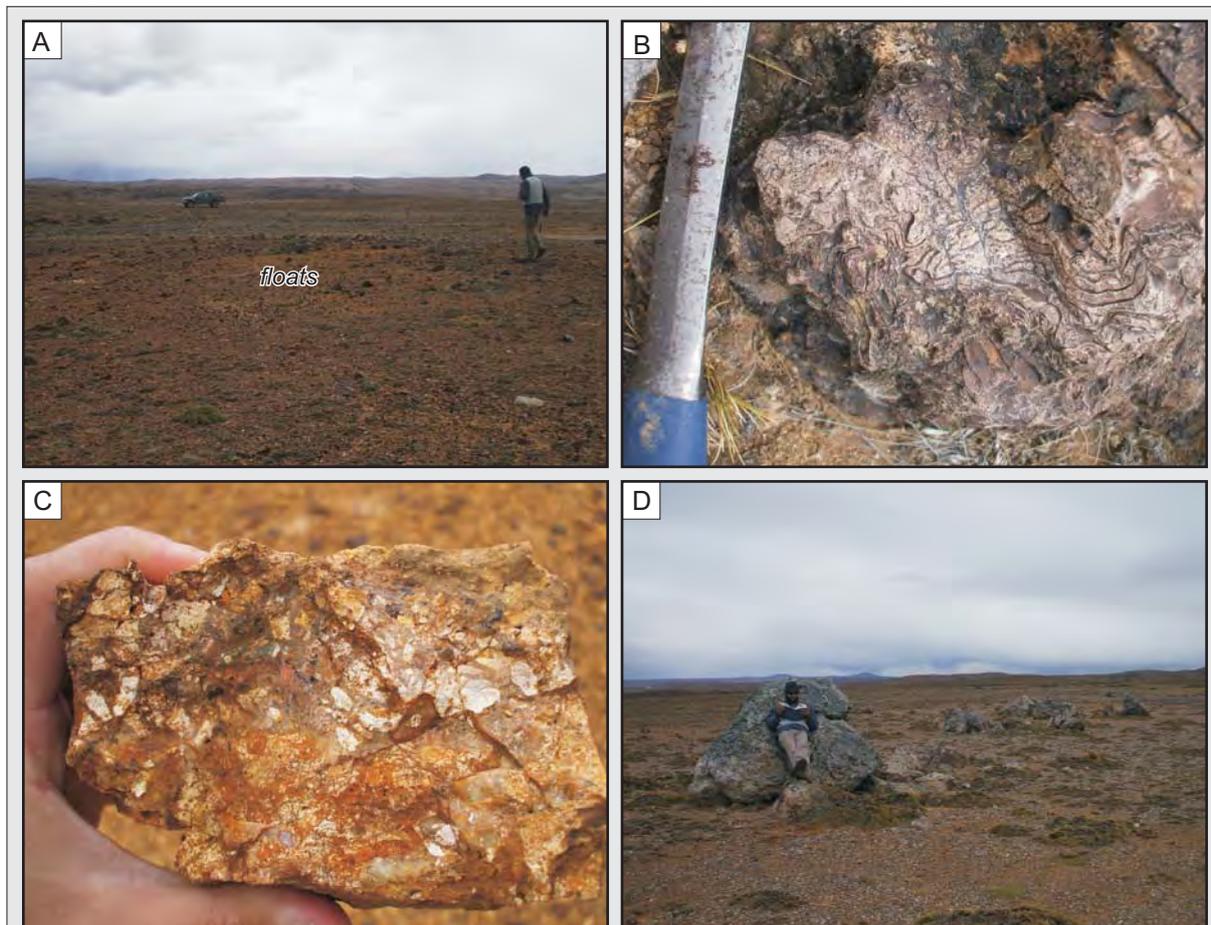


Figura 3.6. Wendy Oeste. **A)** Rama Norte, afloramientos de *floats* fuertemente oxidados; **B)** Detalle de las texturas convolutas finas presentes en su extremo NO; **C)** Detalle de un bloque de los *floats* con textura brechada; **D)** Rama Sur, detalle de los afloramientos dispersos de bloques de sílice de reemplazo.

relativamente compleja, identificándose a la calcita (CaCO_3) y al cuarzo (SiO_2) como las dos fases minerales que conforman la ganga, mientras que los minerales de mena están integrados en su totalidad por sulfuros de metales base y sulfosales de Ag-Sb-As, reconociéndose piritita y su polimorfo marcasita (FeS_2), calcopiritita (CuFeS), arsenopiritita (AsFeS), esfalerita (ZnS), galena (PbS), pirargiritita (Ag_3SbS_3), tetraedrita ($\text{Cu}_{12}\text{SbS}_{13}$), polibasita ($(\text{Ag,Cu})_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{13}$), miargiritita (AgSbS_2), freieslebenita (AgPbSbS_3), y argento-tennantita ($(\text{Ag,Cu})_{10}(\text{Zn,Fe})_2(\text{As,Sb})_4\text{S}_{13}$).

Posteriormente, se analizaron las relaciones de corte entre los diferentes pulsos y se confeccionó un modelo paragenético conformado por siete pulsos mineralizantes (Figura 3.7).

La secuencia paragenética se inicia con un pulso silíceo que deposita calcedonia (**P1**), la cual se presenta con texturas macizas y bandeados finos (texturas *massive* y *banded chalcedonic* respectivamente de acuerdo a [Dong et al. \(1995\)](#), siendo un pulso escaso y poco representativo (Figura 3.8-A).

Posteriormente, se depositó el único pulso de naturaleza carbonática, pudiendo discriminar en base a su textura un pulso inicial de calcita de grano fino (**P2a**) con textura bandeada en muestra de mano (Figura 3.8-B) y el desarrollo de cristales elongados en una textura *carbonate lattice bladed* al microscopio ([Dong et al., 1995](#)), que es cortada por un pulso de calcita de grano grueso

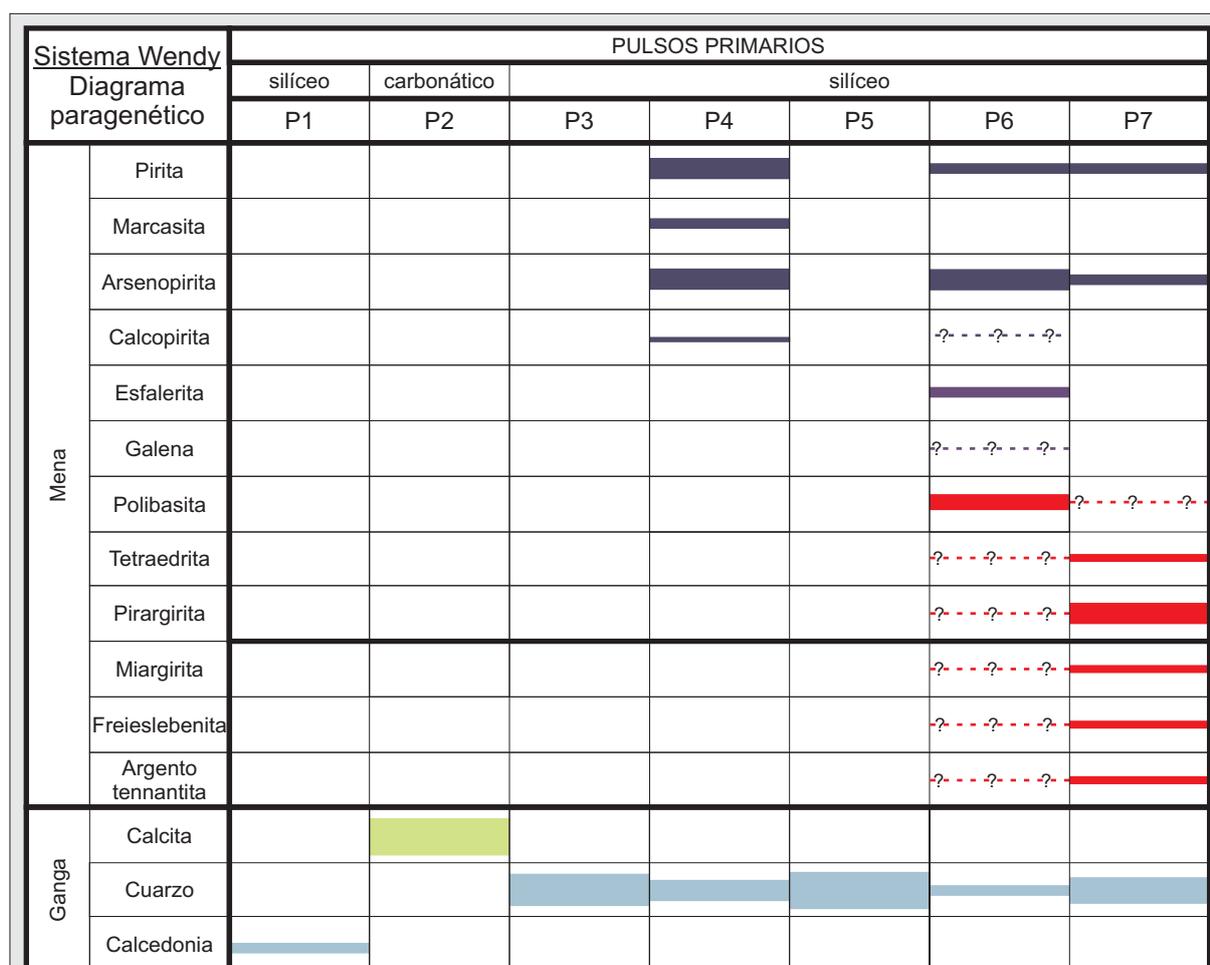


Figura 3.7. Diagrama paragenético del área Wendy, en donde se observa la presencia de los diferentes minerales de mena y ganga en cada uno de los siete pulsos mineralizantes como reflejo de la evolución que sufrió el fluido hidrotermal. El grosor de las barras refleja la abundancia del mineral en cada pulso.

(P2b) con textura maciza y brechosa que al microscopio se corresponde con una textura maciza de cristales anedrales a subedrales (Figuras 3.8-A, 3.9-A y 3.9-B). Este pulso se encuentra casi completamente reemplazado por sílice en las estructuras principales (*Josefa*, *Zulema*, *Cintia*, *Josefa Este*) y mucho mejor preservado en otras estructuras menos importantes (*Josefa Norte* y *Albanie*).

Luego, se inicia un estadio netamente silíceo en donde los restante 5 pulsos poseen una ganga formada completamente por sílice. El tercer pulso (P3) está formado de cuarzo sacaroide de tonalidades blanquecinas con texturas macizas, en enrejado y bandeadas (Figura 3.4-F), siendo además el responsable del reemplazo sobre la calcita del pulso P2. Al microscopio se reconoce claramente al cuarzo anedral precipitando en una textura primaria sacaroide (Figura 3.9-C) y texturas sobreimpuestas de recristalización en mosaico de grano fino con extinción ondulosa (textura “microplumosa” o *feathery* (Figura 3.9-D) de acuerdo a [Dong et al., 1995](#)), sustituyendo además a los cristales de calcita y generando una textura de reemplazo en un arreglo “paralelo” o *parallel-bladed* y “en enrejado” o *lattice-bladed* ([Dong et al., 1995](#)).

El cuarto pulso (P4) se caracteriza por un vetilleo de cuarzo de grano fino con abundantes minerales opacos diseminados, que desarrolla un *stockwork* abierto (que por sectores se resuelve en una estructura brechosa) siendo irregular en su distribución. Al microscopio se reconoció una textura primaria de cuarzo “en peine” o tipo *comb* ([Dong et al., 1995](#)) con los opacos diseminados tanto en las vetillas como en la roca de caja (Figuras 3.9-E y 3.9-F), correspondiendo estos minerales opacos principalmente a sulfuros, reconociéndose pirita, marcasita, calcopirita y arsenopirita.

La pirita se caracteriza por ser muy abundante, desarrollando cristales euedrales a subedrales de bordes rectos con tamaños que oscilan entre los 150 μm y 900 μm , presentando tonalidades blancas a amarillentas claras (Figura 3.10-A).

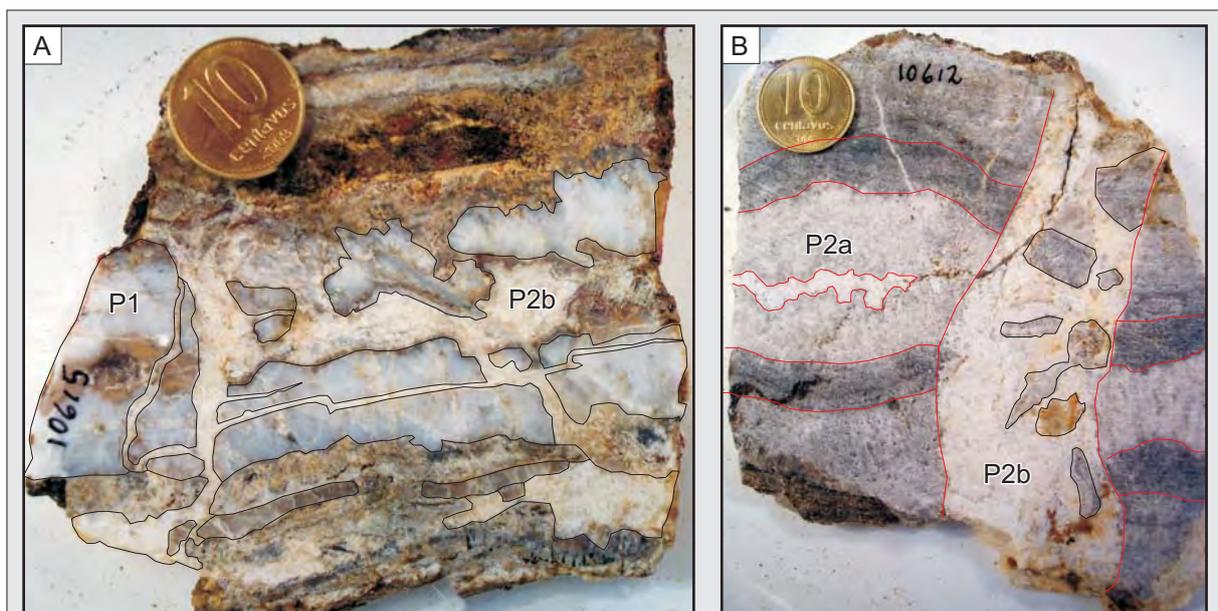


Figura 3.8. A) *Albanie*, donde se observa al pulso calcedónico P1 cortado por el pulso carbonático P2b; B) *Josefa Norte*, se reconoce el pulso P2a con un bandeo paralelo cortado por el P2b con textura brechosa.

La marcasita se presenta en cristales subedrales, de hábitos tabulares alargados con una disposición radiada y aspecto corroído, presentando longitudes promedios de 350 μm hasta los 500 μm (Figura 3.10-B). Algo remarcable es el hecho de que se reconoció una mayor abundancia de este mineral en las muestras tomadas en superficie respecto a las muestras tomadas de testigos coronas en pozos a una profundidad entre los 174 m y los 176 m bajo la superficie.

Por otro lado, a la calcopirita se la reconoció conformando principalmente agregados de cristales subedrales de tonalidades amarillentas fuertes (Figura 3.10-C), con tamaños muy

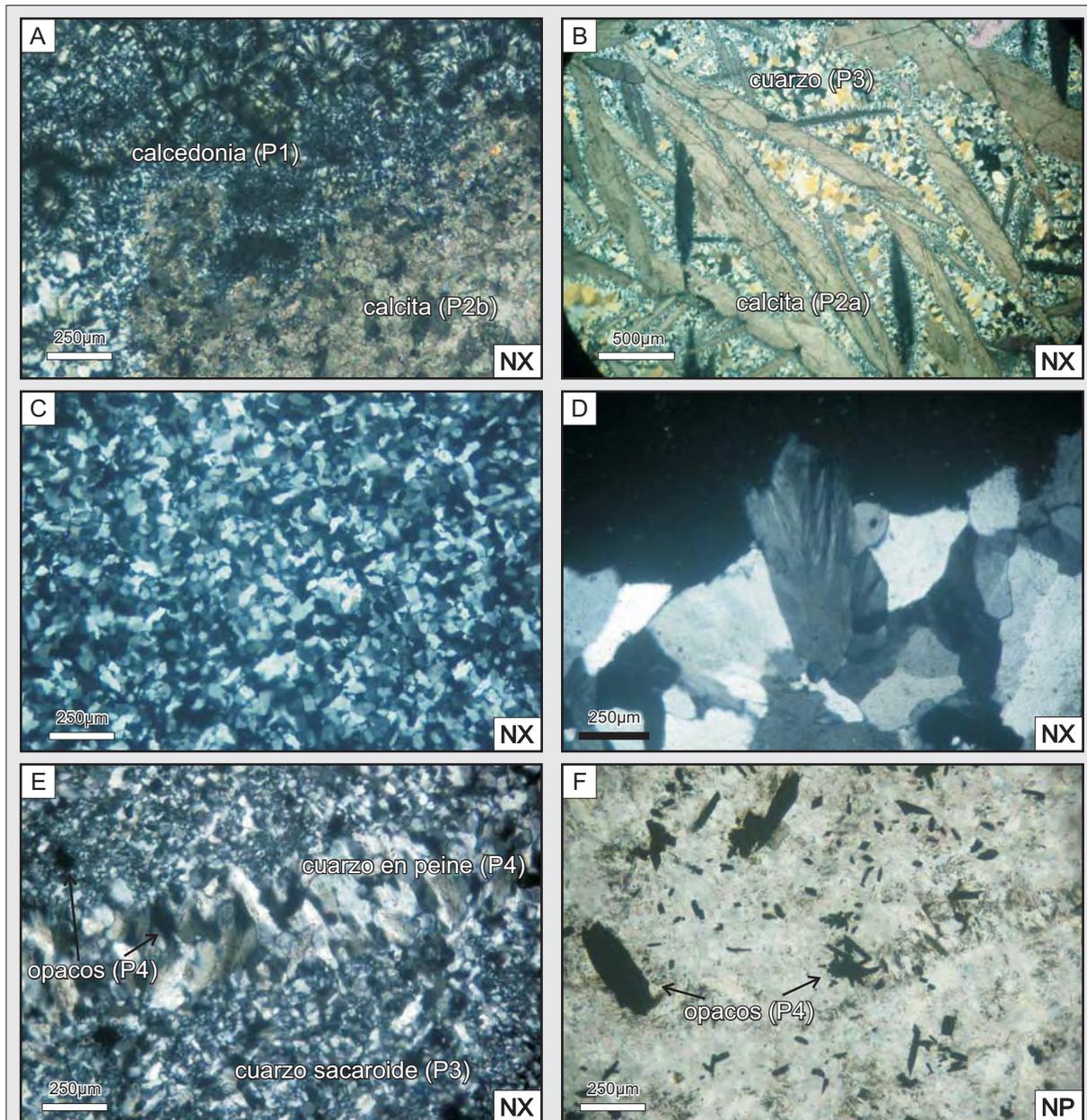


Figura 3.9. Área Wendy - Fotomicrografías de los pulsos mineralizantes P1 a P4. A) Vista de los pulsos iniciales calcedónicos P1 y carbonáticos P2b; B) Cristales de calcita laminar o “platycalcita” del pulso P2a, con los espacios entre sus individuos rellenos por el cuarzo del pulso P3; C) Mosaico de cristales de cuarzo sacaroide correspondiente al pulso P3; D) Cuarzo con extinción ondulante o microplumosa (P3); E) Vetilla de cuarzo del pulso P4 con textura en peine o *comb* y opacos diseminados cortando al pulso P3 previo; F) Detalle con nicoles paralelos del pulso P4 en donde se resaltan los minerales opacos diseminados en todo el corte petrográfico. (Referencias: NP - nicoles paralelos; NX - nicoles cruzados.).

variables (desde pequeños cristales de decenas de micras hasta algunos cristales que alcanzan los 300 μm). En este mineral se observó el comportamiento inverso que en la marcasita, ya que su presencia en las muestras profundas es mucho mayor que en las muestras de superficie.

Por último, la arsenopirita se encuentra como pequeños cristales rómbicos bien formados de unos 100-250 μm de tamaño, como así también creciendo como rebordes de cristales de calcopirita (Figura 3.10-C y 3.10-D).

Este pulso, junto con los pulsos previos, fue cortado y brechado por un pulso de cuarzo blanco grisáceo (P5), con texturas primarias macizas, bandeados coliformes-crustiformes y principalmente brechadas (Dong *et al.*, 1995), no reconociéndose presencia de sulfuros primarios pero si una tinción por óxidos de hierro (Figura 3.11 y 3.12).

Los pulsos siguientes (P6 y P7) son los más importantes desde un punto de vista metalogénico, ya que de acuerdo a los resultados geoquímicos corresponden a los pulsos silíceos portadores de

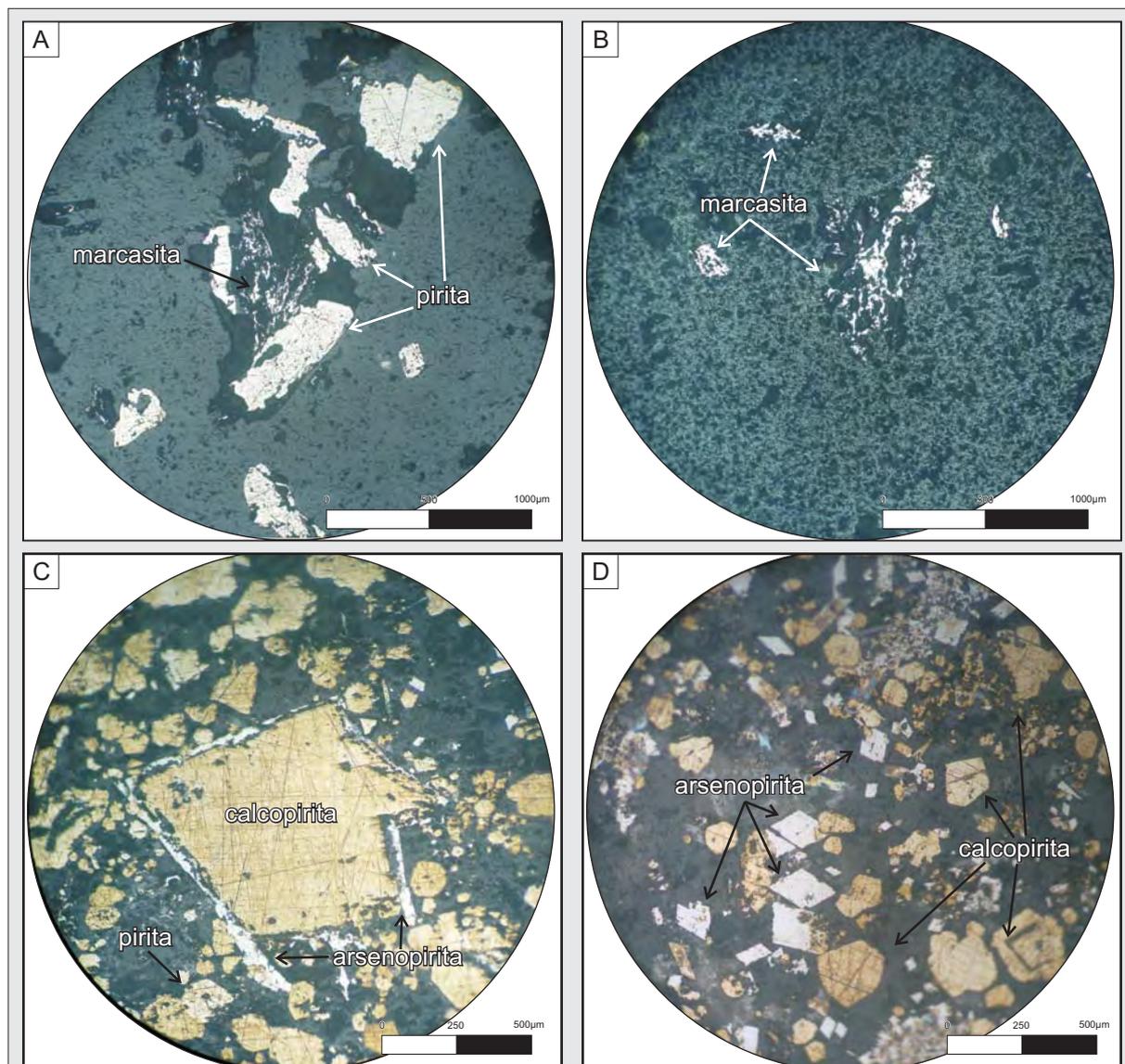


Figura 3.10. Área Wendy - Fotomicrografías de los sulfuros presentes en el pulso P4. **A)** Pirita subedrales creciendo junto a marcasita; **B)** Detalle de los cristales de marcasita con un hábito radiado y aspecto corroído; **C)** Calcopirita subedral con rebordes de arsenopirita, en un agregado de pequeño cristales de calcopirita+pirita+arsenopirita; **D)** Cristales eudrales rómbicos de arsenopirita.

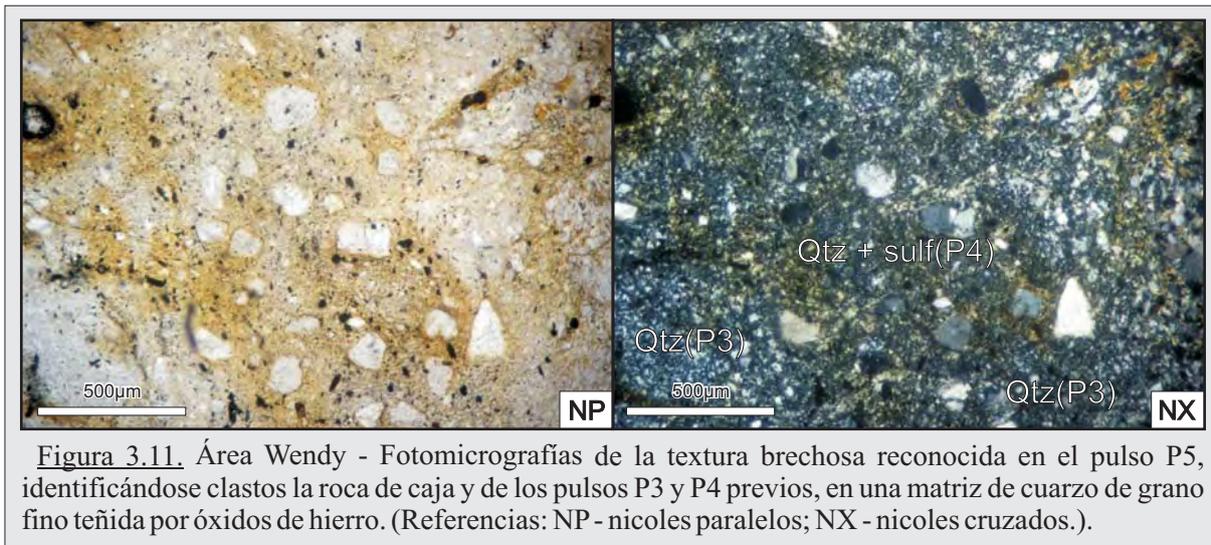


Figura 3.11. Área Wendy - Fotomicrografías de la textura brechosa reconocida en el pulso P5, identificándose clastos la roca de caja y de los pulsos P3 y P4 previos, en una matriz de cuarzo de grano fino teñida por óxidos de hierro. (Referencias: NP - nicoles paralelos; NX - nicoles cruzados.).

las fases minerales argentíferas, siendo los responsables de las anomalías metalíferas que se discutirán más adelante.

El pulso **P6** presenta abundantes sulfuros de grano muy fino, que se depositaron tanto en forma de un diseminado homogéneo como en finas vetillas, lo que no permitió en muestra de mano una diferenciación de las especies minerales presentes (Figura 3.12). De su estudio calcográfico fue posible discriminar la presencia de pirita, arsenopirita, esfalerita y sulfosales de Ag-Sb-As, siendo los dos primeros los minerales más abundantes; la pirita se presenta masiva, desarrollando cristales euedrales con tamaños que superan los 250 μm y presentando una zonación difusa, mientras que la arsenopirita se presenta en cristales pequeños (entre 15 y 20 μm) y como rebordes en los cristales de pirita. (Figura 3.13-A). La esfalerita es escasa y fue reconocida junto con la arsenopirita (Figura 3.13-B).

Dentro de las sulfosales de Ag-Sb-As se reconocieron individuos pertenecientes a la serie polibasita ($\text{Ag}_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{11}$) - pearcerita ($\text{Ag}_{16}\text{As}_2\text{S}_{11}$), los cuales forman pequeños cristales no mayores a los 50 μm . Se reconoció gran cantidad de arsenopirita creciendo junto con los minerales de esta serie (Figura 3.13-A), lo cual nos lleva a suponer que la pearcerita podría ser la fase dominante de la serie ya que su discriminación en el microscopio calcográfico no fue posible.

Por último, el pulso **P7** desarrolla vetillas finas de cuarzo cristalino, formando texturas en peine o *comb* (Dong *et al.*, 1995) y drusiformes (Figura 3.12), precipitando abundante arsenopirita y sulfosales de Ag-Sb que se depositan dando buenos cristales euedrales en las cavidades de las drusas, con menor proporción de pirita acompañando (Figura 3.14-C).

De su estudio calcográfico se identificaron dentro de estas sulfosales a minerales de la serie “proustita-samsonita” (pirargirita) y del “grupo de la tetraedrita” (tetraedrita) (Pracejus, 2008). La pirargirita se presenta con fuertes reflejos internos rojizos y en un amplio rango de tamaño, que va desde los 60-70 μm hasta 1800 μm , con un desarrollo cristalino subedral de bordes irregulares a anedral (Figura 3.13-C, 3.13-D y 3.13-E). Por otro lado, la tetraedrita se presenta menos abundante y con tamaños que no superan los 100 μm , desarrollando cristales eudrales de tonalidades verdosas que se encuentran comúnmente intercrecidos con la arsenopirita (Figura 3.13-F).

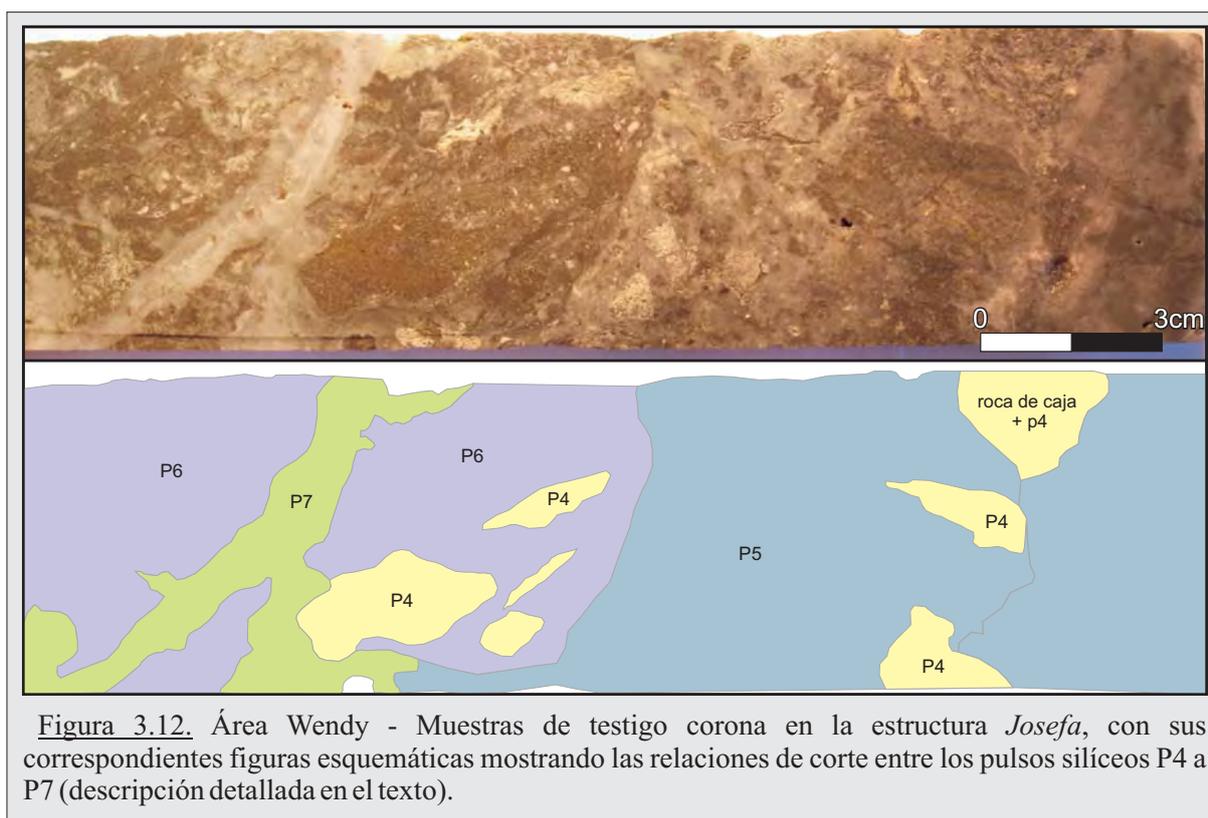


Figura 3.12. Área Wendy - Muestras de testigo corona en la estructura *Josefa*, con sus correspondientes figuras esquemáticas mostrando las relaciones de corte entre los pulsos silíceos P4 a P7 (descripción detallada en el texto).

Luego, para confirmar las sulfosales reconocidas en el microscopio calcográfico, se llevaron a cabo 19 análisis químicos sobre el pulso **P7** con una microsonda electrónica (Figura 3.14). De esta manera, no solo se confirmó la presencia de pirargirita y pirita, sino que además se reconoció galena y la presencia de otros tres minerales argentíferos: el primero de ellos es rico en hierro, cobre y zinc y corresponde a la argentotennantita (mineral perteneciente al grupo de la tetradrita), el segundo es rico en antimonio y pertenece a la miargirita, y el tercero es rico en plomo y corresponde a la freieslebenita (Figura 3.14).

Finalmente, es importante remarcar que al igual que los pulsos P5 y P6, este pulso no se encuentra representado en superficie y fue reconocido únicamente en las muestras de los testigos de perforación.

b) Microtermometría de minerales transparentes y semitransparentes.

Siguiendo los criterios para el análisis termométrico citados al comienzo del capítulo, se realizó un estudio sobre las inclusiones fluidas primarias (IF) presentes en cristales de cuarzo y calcita, solo hallando estas IF en tres de los 7 pulsos mineralizantes: en el pulso carbonático P2a, en el pulso silíceo rico en metales base P4 (Figura 3.15-A) y en el pulso silíceo rico en metales preciosos P7 (Figura 3.15-B).

En las muestras analizadas las inclusiones que se seleccionaron son de morfología regular a ovoidal, con una disposición al azar dentro del corte y diámetros promedios entre los 8 a 20 μm , siendo de naturaleza bifásica (Nash, 1976), en donde la fase vapor ocupa entre el 5% y el 30% del volumen total de la inclusión.

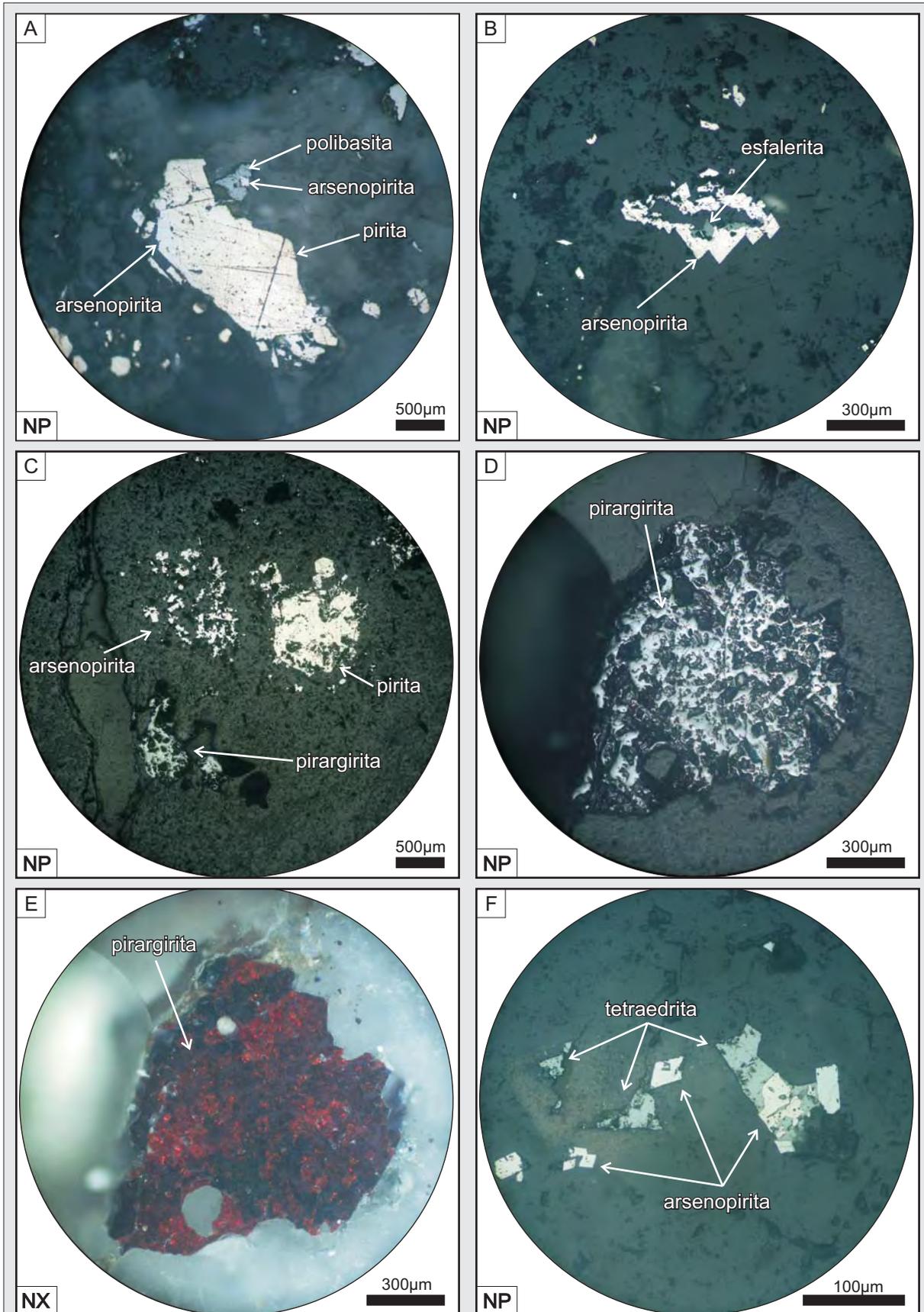


Figura 3.13. Fotomicrografías de los sulfuros y sulfosales presentes en el pulso P6 y P7. **A)** Asociación pirita+arsenopirita+polibasita (P6); **B)** Cristales rómbicos de arsenopirita creciendo junto a esfalerita (P6); **C)** Pirargirita anedral junto a un agregado de arsenopirita y pirita euedrales (P7); **D)** y **E)** Pirargirita subedral de gran tamaño con nicóles paralelos (NP) y cruzados (NX) respectivamente; **F)** Cristales euedrales rómbicos de arsenopirita intercrecidos con tetraedrita.

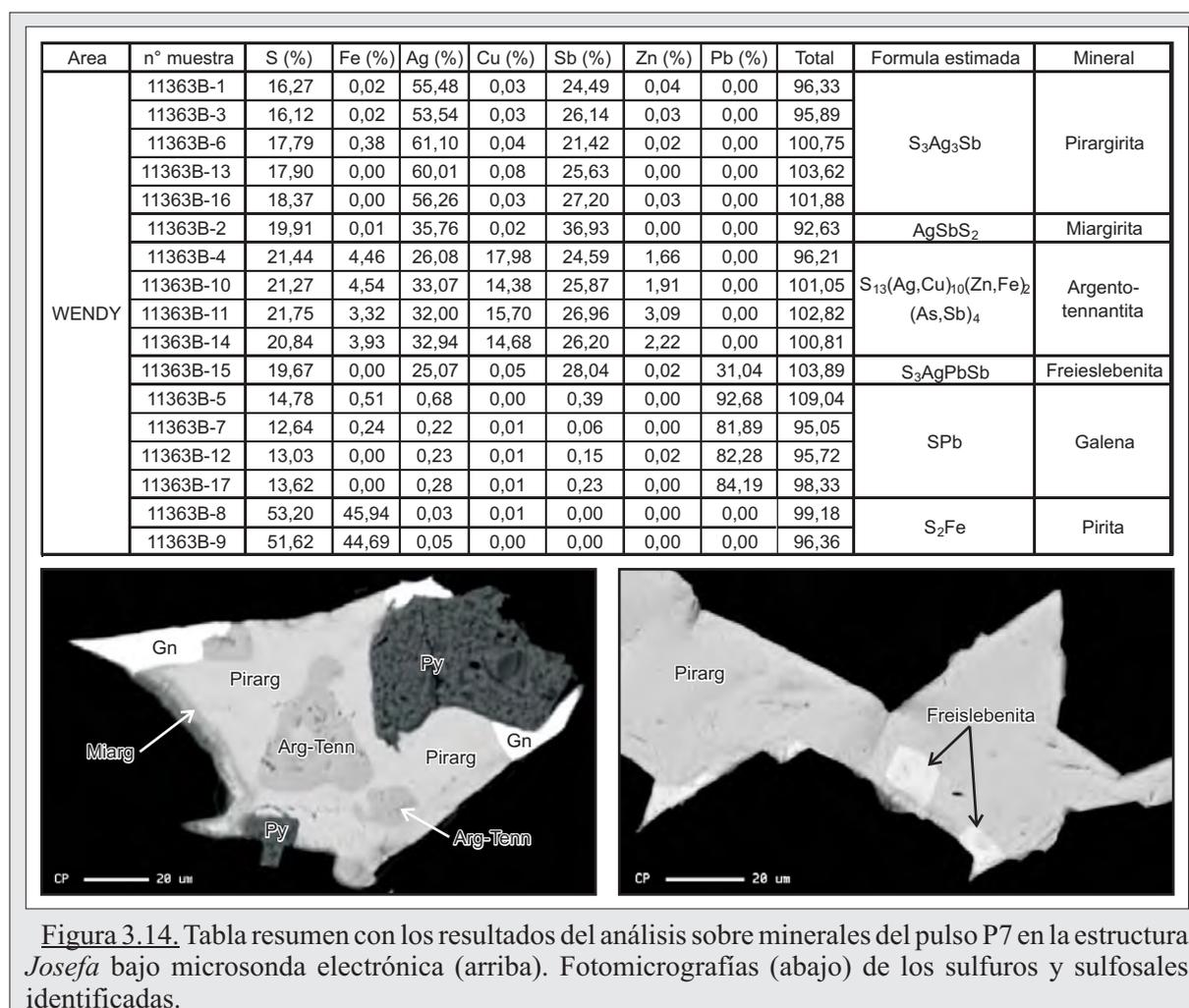


Figura 3.14. Tabla resumen con los resultados del análisis sobre minerales del pulso P7 en la estructura Josefa bajo microsonda electrónica (arriba). Fotomicrografías (abajo) de los sulfuros y sulfosales identificadas.

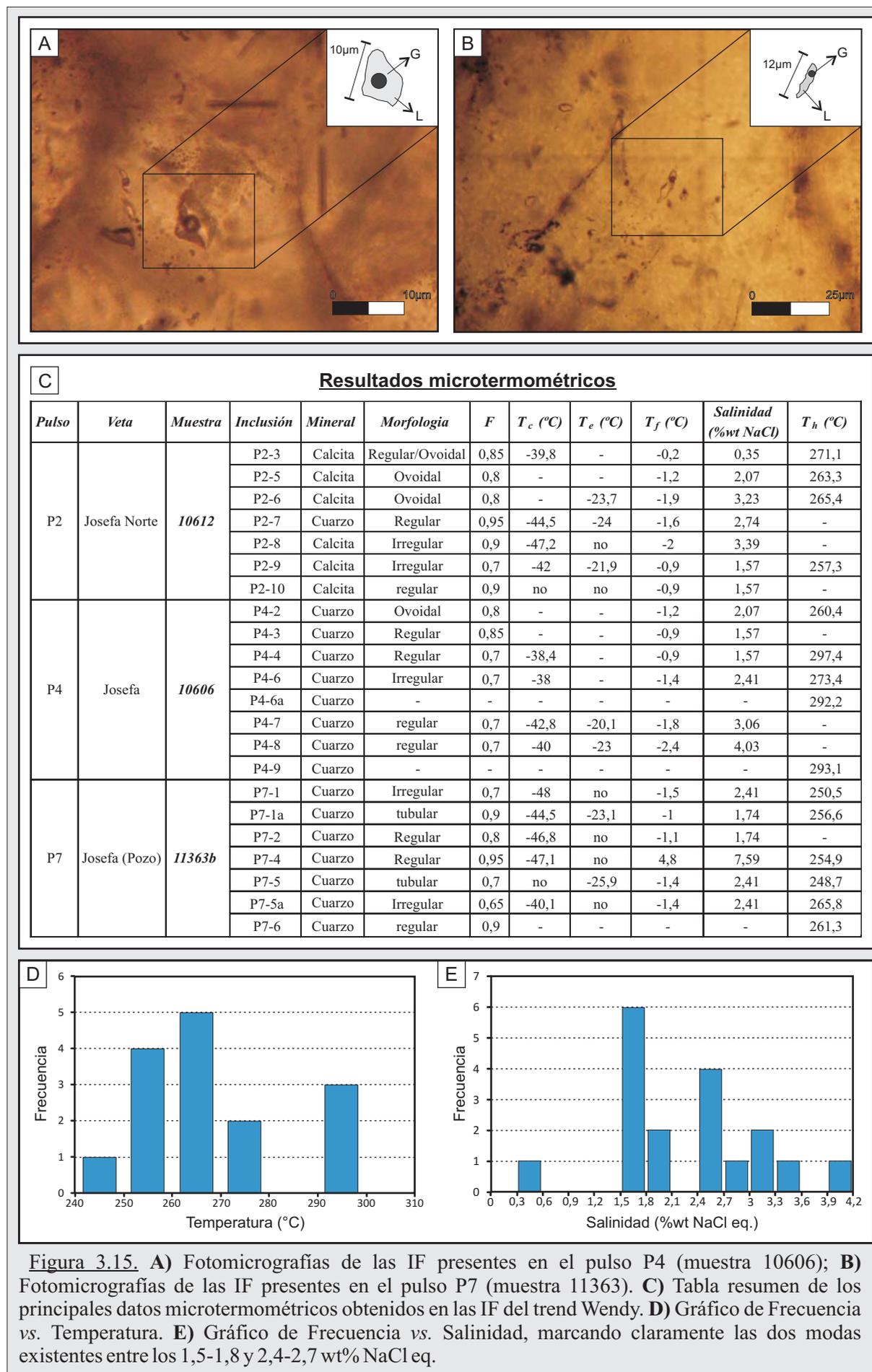
No se reconocieron durante las etapas criogénicas evidencias de presencia de CO₂ en la fase vapor de las inclusiones (nucleación de vapor, clatratos, etc), lo que está indicando un contenido de CO₂ inferior al 3,7 % en peso dentro de las inclusiones (Hedenquist y Henley, 1985).

La primera temperatura de fusión de sólidos (T₀) obtenida después del congelamiento, fue registrada en torno de los -25 a -20 °C (Figura 3.15-C). Esta temperatura corresponde a la del punto eutéctico del medio sal-agua, e indica que corresponde al sistema salino H₂O-KCl- NaCl (Shepherd *et al.*, 1985), con una T_e teórica de -23,5 °C.

Además, se observó una homogeneización de las inclusiones bifásicas en fase líquida entre 178,9 °C y los 297 °C, aunque se reconoce claramente que los datos se ajustan en una moda en el rango 250-270 °C (Figura 3.15-D).

Finalmente, con respecto a las temperaturas de fusión final de hielo (T_f) se obtuvieron valores entre los -2,4 °C y 4,8 °C, que corresponden a salinidades del orden de 0,3 y 4,03 % en peso equivalente de NaCl (%wt NaCl)), con dos modas en los 1,5-1,8 %wt NaCl y 2,4-2,7 %wt NaCl (Figura 3.15-E).

Es de destacar que al hacer una integración de los análisis por pulso, no se reconocen variaciones importantes en las salinidades y las temperaturas desde los pulsos iniciales hacia los pulsos finales (Figuras 3.16-A, 3.16-B y 3.16-C). No obstante, se observa que el fluido presenta una evolución con un leve aumento de la Th y la salinidad desde el pulso carbonático P2 hacia el



pulso silíceo rico en metales bases P4, para luego seguir con una pequeña disminución en la T_h acompañada con un baja leve en la salinidad hacia el pulso rico en metales preciosos P7, que de acuerdo a [Wilkinson \(2001\)](#) podría estar reflejando un proceso de despresurización inicial seguido de un enfriamiento natural del fluido, todo esto asociado a procesos de ebullición propios de los depósitos epitermales (Figura 3.16-D y 3.16-E).

c) Caracterización geoquímica.

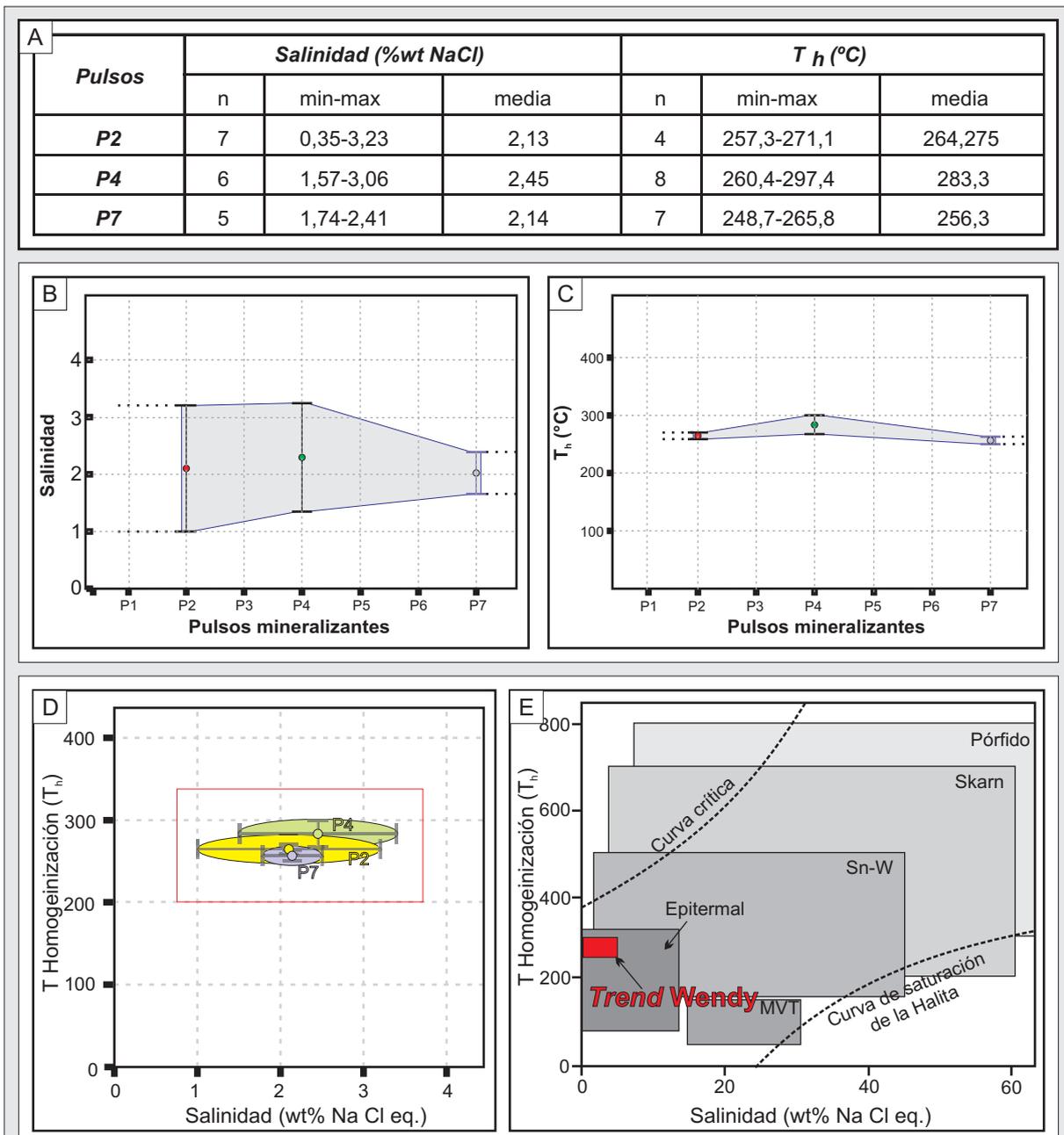


Figura 3.16. A) Tabla resumen con los resultados promedios de los ensayos termométricos realizados en los pulsos P2, P4 y P7; B) Diagrama de salinidad (wt% Na Cl eq.) máxima, media y mínima para cada pulso; C) Diagrama de temperaturas (°C) máxima, media y mínima para cada pulso mineralizante; D) Gráfico T_h vs. Salinidad reflejando la baja variabilidad existente entre los pulsos P2-P4-P7; E) Ubicación del *trend Wendy* en el diagrama de [Wilkinson \(2001\)](#) coincidiendo con los rangos de valores propios de los depósitos tipo epitermales.

En la definición de las características geoquímicas de las estructuras mineralizadas del *trend* Wendy se conto con los datos generados en las respectivas campañas de exploración que las sucesivas empresas dueñas de la propiedad minera realizaron entre los años 1998 y 2008.

La primera perforación estuvo a cargo de la empresa “Compañía Minera Polimet” durante el año 1998, siendo parte de una campaña de perforación (aire reverso) realizada sobre las estructuras *Josefa*, *Zulema* y *Carito*, totalizando 15 pozos someros y 502 metros perforados. La confiabilidad de los datos geoquímicos con los que se cuenta de estos pozos es baja principalmente por dos cuestiones: la primera de ellas es que los pozos son someros y algunos no cortan a las estructuras en profundidad, y la segunda corresponde al criterio de muestreo utilizado, el cual fue realizado tomando muestra cada dos metros, por lo que solo nos brindó una idea bastante errática de la distribución en profundidad en los valores de Au-Ag.

Desde 2005, Coeur Argentina S.R.L. comenzó a llevar a cabo tareas de exploración en este sector, en primer lugar con muestreo sistemático de superficie (Figura 3.17) hallando buenos valores de Au y Ag (1,1 ppm y 462 ppm respectivamente) en la estructura *Josefa*. Luego, entre los años 2005 y 2008, se lleva a cabo un programa de perforación con 3500 m en total, sobre las estructuras *Josefa*, *Josefa norte*, *Carito* y en las estructuras del área *Wendy Oeste* (Tabla II). A diferencia de la primera campaña de perforación realizada en el *trend* Wendy, esta vez casi todas las estructuras perforadas fueron interceptadas en profundidad, y en algunos casos (especialmente los pozos más profundos) se obtuvieron valores elevados de oro y plata (Figura 3.18).

Vale aclarar que en los sucesivos programas de perforación no se incluyeron perforaciones en *Josefa Este*, *Cintia* y *Albanie*, por lo que no se cuenta con información de estas estructuras en profundidad (Figura 3.18).

Tabla II. Resumen de las estructuras perforadas por Coeur Argentina entre el 2005 y 2008.

Estructura	Total de pozos	Profundidad alcanzada	Mejores valores (intersección @ Au/Ag en ppm)
Josefa	12 (2005)	Superficiales (~60 - 150 m)	0,45 m @ 1,5/1095
	3 (2007)	Superficiales a profundos (~100 - 200 m)	3,3 m @ 0,55/320,5
	6 (2008)	Profundos (~200 - 240 m)	0,9 m @ 0,47/414,5
Josefa Norte	2 (2005)	Superficiales (~70 - 100 m)	sin anomalías
Zulema	1 (2005)	Superficiales (~70 m)	0,55 m @ 0,3/23
Carito	1 (2005)	Superficiales (~65 m)	sin anomalías
Wendy Oeste	6 (2006)	Superficiales (~70 - 100 m)	0,60 m @ 0,15/128

En líneas generales, de estos datos se desprende que la signatura geoquímica que caracteriza al *trend* Wendy está ampliamente dominada por valores anómalos de Ag, los cuales en superficie poseen valores máximos de 462 ppm (Figura 3.17) mientras que en profundidad (desde los 40 m hasta los 200 m) llegan a superar los 1000 ppm (Figura 3.18).

Asociados a los valores de Ag, se observan anomalías de Au con valores máximos de hasta 1,5 ppm (tabla II y Figuras 3.18 y 3.19). Estas anomalías en metales preciosos no son acompañadas a su vez por valores anómalos de metales base (Pb, Cu, Zn) aunque si se reconocieron anomalías menores en Bi, As, Sb y Se.

Haciendo una caracterización más detallada de los análisis realizados sobre 178 muestras de superficie y 538 muestras tomadas de testigos corona en perforaciones, se observó que los contenidos de metales preciosos poseen relaciones Ag/Au que promedian los 200-400, pero que en la intersección de las estructuras *Zulema* y *Josefa* pueden elevarse hasta los 900-1500 (Figura 3.18), no reconociéndose anomalías en metales base (Cu-Pb-Zn). Cabe aclarar que la mayoría de las muestras fueron analizadas por la empresa Coeur Argentina solamente en Au y Ag, contándose para este análisis con pocas muestras con los contenidos en metales base.

Estas relaciones entre metales preciosos y la ausencia de anomalías en metales base permite clasificar al sistema de vetas del *trend* Wendy como un depósito netamente argentífero con una leve tendencia hacia los depósitos auro-argentífero (Figura 3.19), similar a los yacimientos Mina Martha y Manantial Espejo (Páez, 2012; Echeveste, 2005a).

d) Marco estructural: Indicadores cinemáticos

En el área Wendy se han encontrado pocos indicadores cinemáticos (patrones de afloramientos, estrías, texturas, arreglos geométricos, entre otros) bien preservados en las estructuras que, no obstante, nos permitieron definir las direcciones de los esfuerzos principales y secundarios del sistema estructural reinante al momento de la formación de las estructuras mineralizadas.

Luego, al caracterizar la secuencia paragenética, se reconocieron siete etapas sucesivas de apertura y relleno que conformaron finalmente las estructuras, siendo episodios mineralizantes que sugieren que dichas estructuras crecieron en una zona de falla en donde los fluidos hidrotermales circulaban de manera multi-episódica.

Cabe aclarar que de acuerdo a Micklethwaite (2009), las vetas pueden ser consideradas como rocas de falla que cementan estructuras a lo largo de las cuales ha ocurrido un desplazamiento de cizalla significativo (Páez, 2012). Dentro de esta interpretación, es esperable encontrar zonas o estructuras de transferencia que conectan dos segmentos de falla vecinos, y que se generan como resultado del crecimiento y propagación de las mismas. Este tipo de estructuras son de tipo fractal, y reciben distintas denominaciones de acuerdo al arreglo geométrico y cinemático que presenten, como rampas de relevo, solapamientos, resaltos o sigmoides, colas de caballo, etc. (Cunningham y Mann, 2008; Micklethwaite, 2009; Rossello, 2009; Páez, 2012).

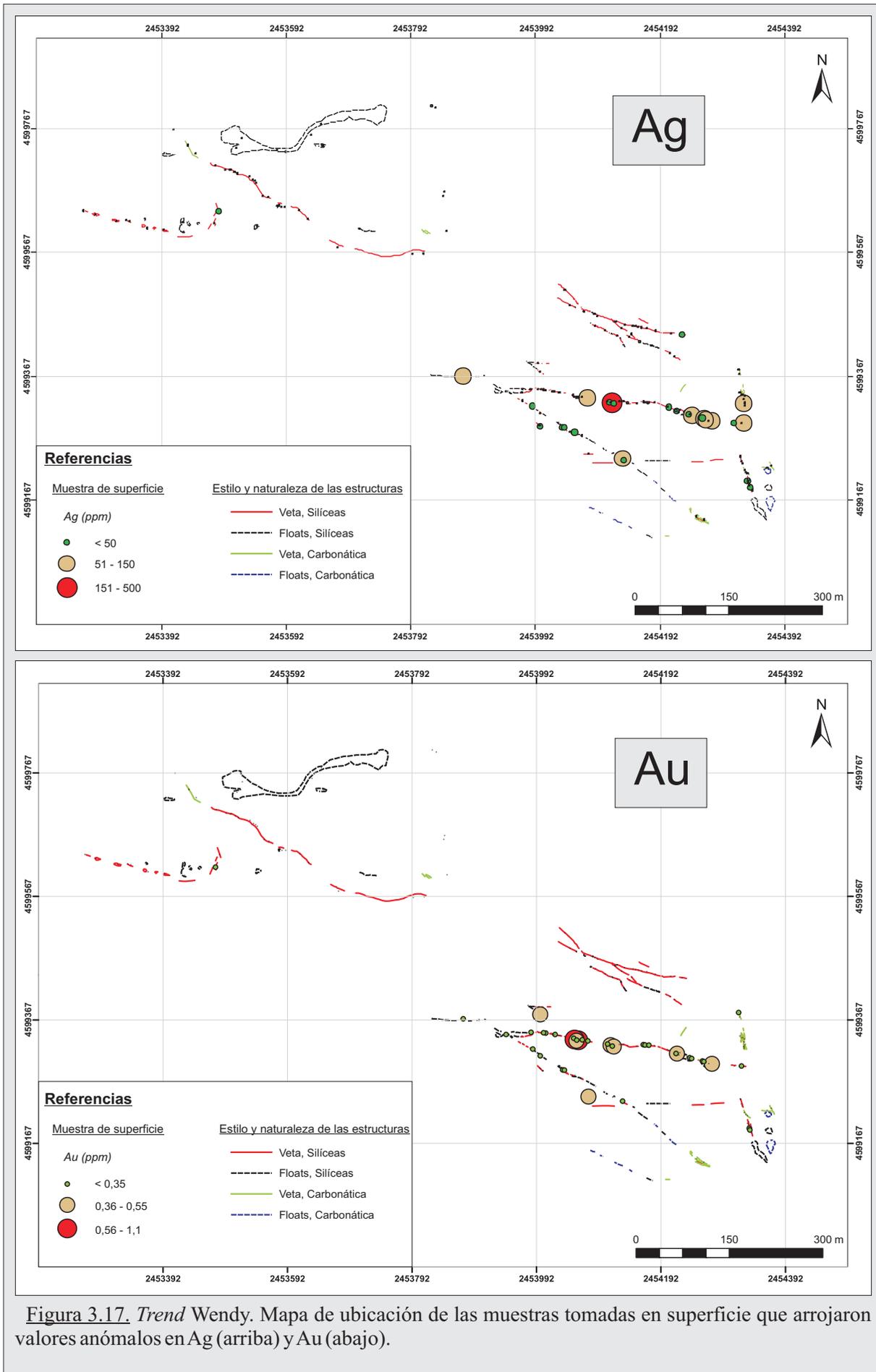


Figura 3.17. Trend Wendy. Mapa de ubicación de las muestras tomadas en superficie que arrojaron valores anómalos en Ag (arriba) y Au (abajo).

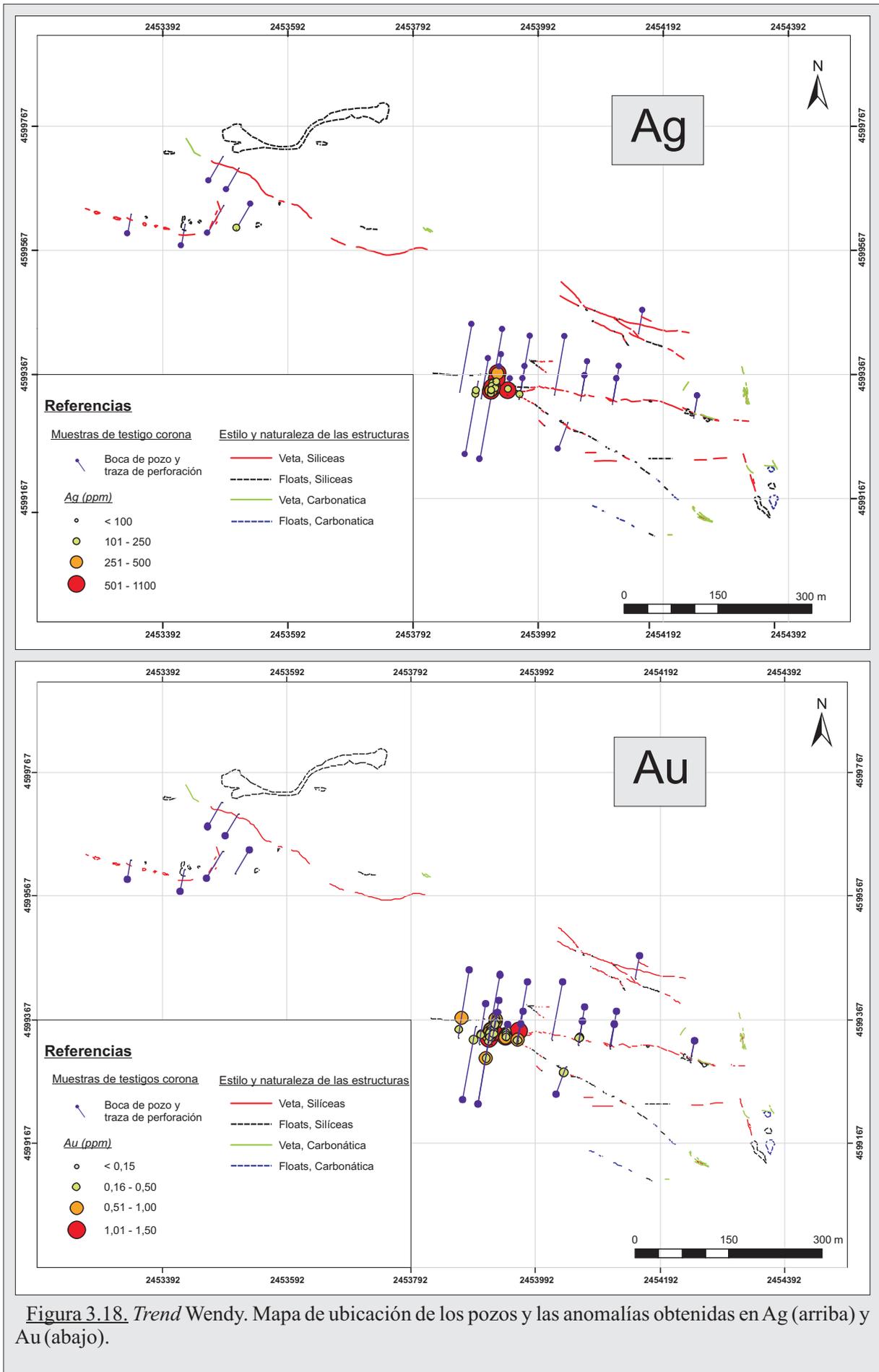
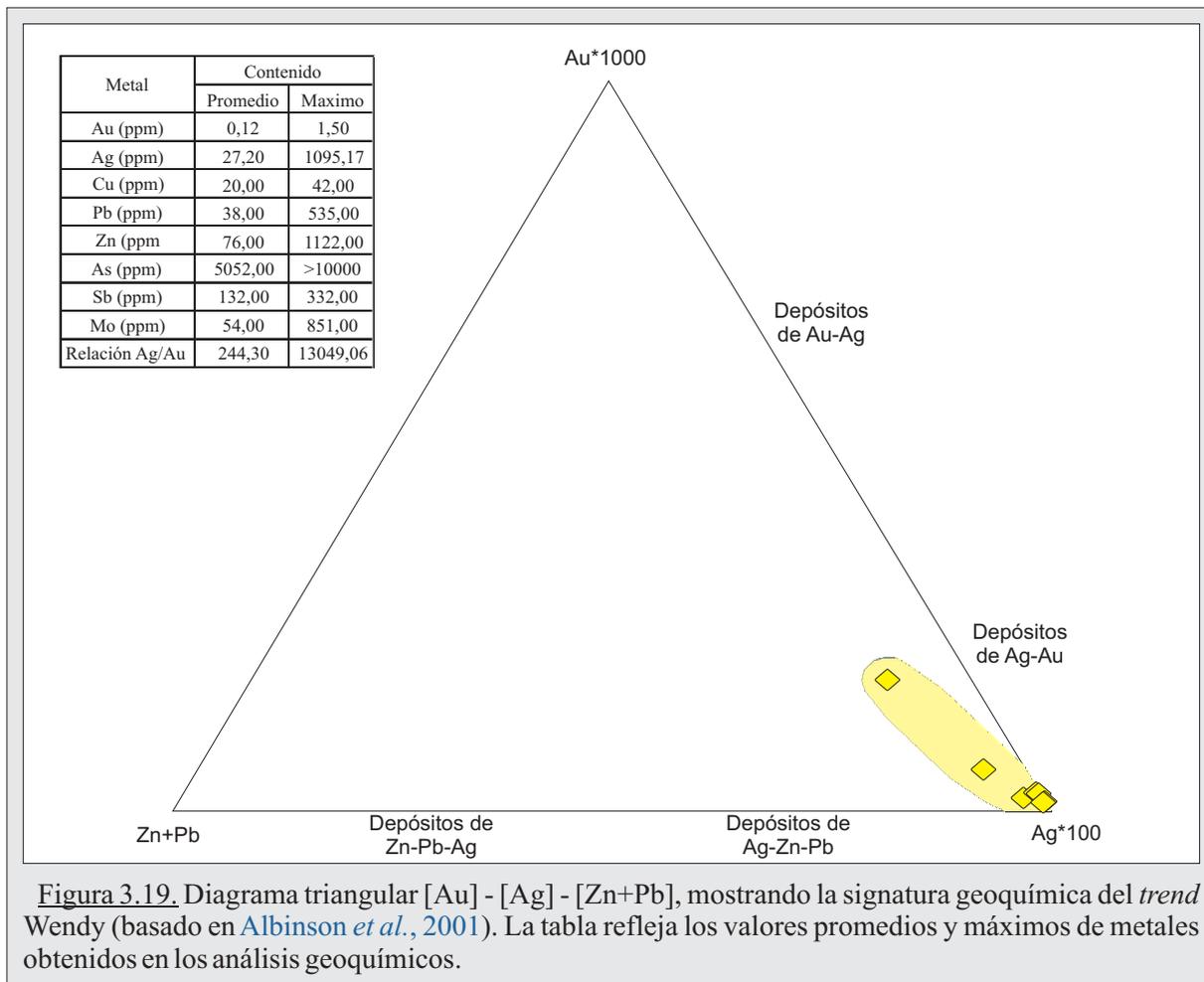


Figura 3.18. Trend Wendy. Mapa de ubicación de los pozos y las anomalías obtenidas en Ag (arriba) y Au (abajo).

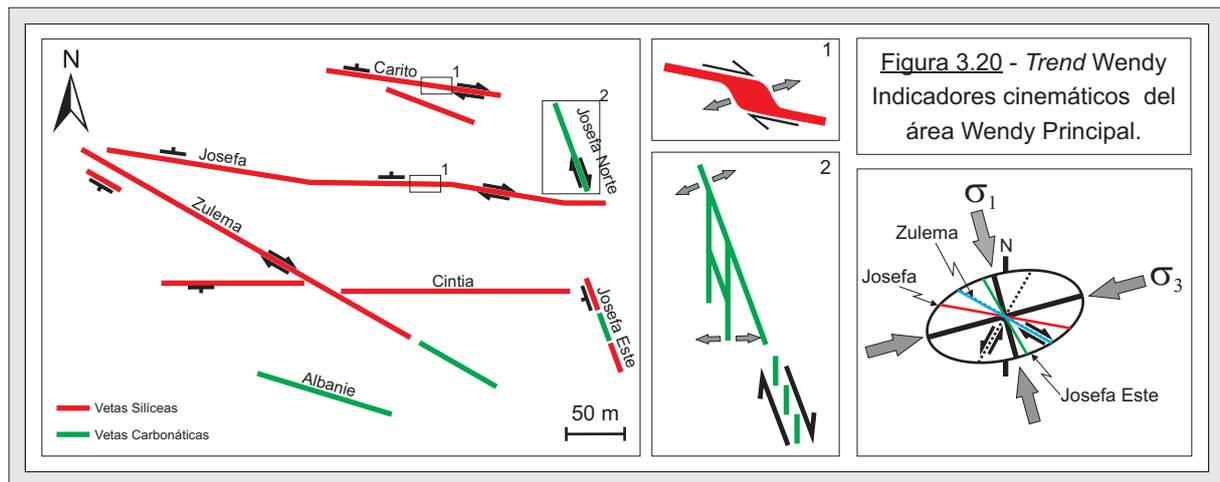


El *trend* Wendy presenta pocas estructuras de transferencia bien preservadas, siendo los sigmoides a escala de afloramientos los mejores desarrollados, y las zonas de solapamientos las menos reconocidas.

Se denominan sigmoides (o *jogs* dilatacionales) a segmentos de estructura con geometría sigmoidal a lenticular que se dan como resultado de resaltos o cambios en el rumbo y/o la inclinación de las vetas y representan zonas de apertura localizada dentro de los sistemas de fallas/vetas ([Micklethwaite, 2009](#); [Páez, 2012](#)). Por otro lado, las zonas de solapamiento (*step-overs*) corresponden a las áreas desarrolladas entre dos segmentos de falla/veta vecinos que presentan un arreglo en echelon, y que pueden o no estar conectadas por fallas/vetas de menor jerarquía ([Micklethwaite, 2009](#)).

Como ya se explicó, las estructuras se emplazan según tres rumbos principales: N120° a E-O, NO-SE (N150°) y N-S, en la mayoría con una componente de buzamiento vertical a sub-vertical de alto ángulo. Considerando el patrón de afloramientos y la potencia de las estructuras, junto con las texturas primarias como indicadores sobre el grado de apertura, se observó que en *Josefa* y *Cintia* (con rumbos N120° a E-O) se formaron crestones con potencias que llegan a los 3-4m y con texturas de relleno bandeadas, vetillas y drusas, con una menor proporción de brechas.

Por otro lado, en las estructuras localizadas en la dirección NO-SE (N150°) se observó que en *Zulema* el patrón de afloramiento es menos desarrollado, con mayor predominancia de floats y



crestones sub-aflorantes con fuerte presencia de las texturas brechosas, en *Carito* se desarrollaron lentes sigmoidales con cinemática dextral (Figura 3.4) y un cizallamiento intenso que por sectores desarrolló una brecha de falla, y en la *Rama Norte* del sector Wendy Oeste la textura que solo se desarrolla es la brechosa (Figura 3.6-C).

Finalmente, en el tercer rumbo reconocido (N-S) se aloja la estructura *Josefa Norte*, la cual posee una rama principal de rumbo N150° sobre la que convergen ramas secundarias de rumbo N-S, con un tramo al sur en donde se disponen en un arreglo en *echelon*, indicando un desplazamiento de tipo dextral (Figura 3.4-G y 3.20).

Estas disposiciones geométricas y las características texturales observadas nos estarían indicando que, al momento de la formación de las estructuras mineralizadas, el régimen estructural imperante era de tipo transtensivo, en donde el sistema N150° (NO-SE) aloja la dirección con mayor componente de rumbo (representada por *Zulema*, *Carito* y *rama norte*), mientras que en los sistemas N120° y E-O (*Josefa* y *Cintia*) están localizadas las direcciones de mayor extensión o apertura dentro de un régimen cinemático normal-dextral (Figura 3.20).

3.3.2. Sistema Argenta

3.3.2.1. Ubicación, distribución y características generales de las estructuras.

El sistema Argenta se encuentra localizado en el sector central del Distrito Cerro Primero de Abril (Figura 3.2), y está conformado por un set de 8 estructuras que de sur a norte se denominan *Argenta stock*, *Argenta madre*, *Argenta centro*, *Argenta oeste*, *Argenta norte*, *Marisel sur*, *Marisel* y *Marisel oeste*, las cuales poseen rumbos promedios NO-SE a E-O, con longitudes que van de los 500 m hasta los 1,5 km y potencias medias de 3 a 5 m, totalizando 11,5 km lineales de vetas (Figura 3.21).

Estas estructuras se encuentran alojadas en las unidades litoclásticas, casi en su totalidad dentro de la ignimbrita dacítica y en menor proporción en la ignimbrita lítica (Anexo I), desarrollando en líneas generales estructuras vetiformes de composición silíceas, dominando las vetas, vetillas y *stockworks* con texturas bandeadas, brechadas, en peine y coliformes.

A continuación se detallaran las características generales de cada una:

Argenta stock

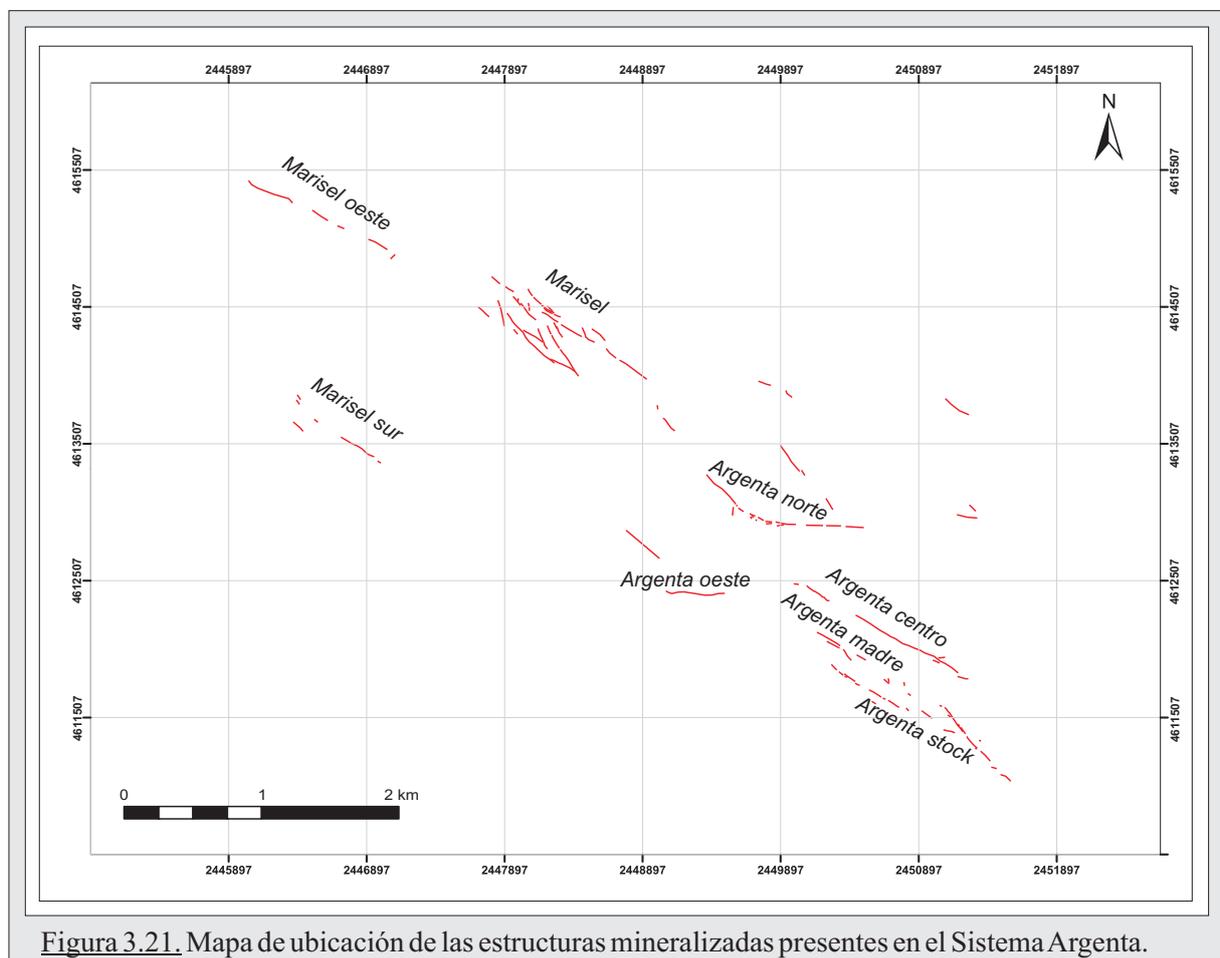
La estructura *Argenta stock* se caracteriza por ser un tren de pequeñas estructuras continuas con una disposición subparalela (Figura 3.22-A) con dos rumbos claros: uno principal N140° a N120° y otro secundario N70° a E-W, con buzamientos que van desde los 65° al NE hasta subverticales.

A lo largo de toda su extensión, la cual es mayor a los 1,5 km, estos dos set de vetillas subparalelas se interceptan mutuamente entre sí, no distinguiendo una relación de corte entre ellas, lo que nos evidencia que existió una coetaneidad temporal en su formación.

Ambos set están formados por vetillas de cuarzo cristalino, con espesores promedios de 1-1,5 cm llegando hasta los 6-8 cm, distribuyéndose en un ancho de afloramiento cercano a los 2 m en donde dominan las texturas en peine, y en menor proporción, texturas brechadas y sacaroides masivas (Figura 3.22-B).

Argenta madre

La estructura *Argenta madre*, localizada al noreste de *Argenta stock*, se puede considerar una





continuación de esta última (Figura 3.21). Se caracteriza por ser una estructura continua de rumbo N120° buzando con alto ángulo hacia el NE, con potencias promedio no mayores a los 50 cm. No obstante, la potencia supera los 2 m cuando se considera el halo de alteración generado en el techo de la estructura, con un vetilleo fino de cuarzo y una fuerte oxidación, con abundante hematita y limonitas.

Desarrolla una morfología de crestones vetiformes (Figura 3.23-A), constituidos por una brecha silíceica con abundantes clastos de cuarzo cristalino y roca de caja con una intensa oxidación de coloraciones ocres y rojizas, y minerales secundarios de Cu (Figura 3.23-B), en una matriz de cuarzo sacaroide de coloraciones castaña clara a incolora.

En líneas generales, la estructura *Argenta madre* presenta tres tramos con características particulares: en el sector norte se reconocieron abundantes minerales oxidados de cobre junto con escasos sulfuros correspondientes a piritita desarrollando un incipiente *boxwork* (Figura 3.23-C). Por otro lado, el sector central se caracteriza por un aumento en la intensidad del brechamiento, reflejado en el mayor tamaño de los clastos de roca de caja brechados, junto con una mayor participación de limonitas ocres que por sectores son lixiviadas y le confirieron a la estructura un aspecto oqueroso. Finalmente, el sector sur es el que presenta las mayores similitudes con *Argenta stock*, ya que se encuentra conformado por un set de vetillas de cuarzo con rumbos N120° y desarrollando texturas en peine (Figura 3.23-D).

Argenta oeste

Esta estructura, a diferencia de las anteriores, es una estructura que corre a lo largo de 500 m con rumbo N80° a E-W (Figura 3.21) buzando al sur con alto ángulo, con potentes espesores promedios de 1 m y máximos cercanos a los 5 m.

Su patrón de afloramiento es continuo y se puede seguir a lo largo de su rumbo pero van

variando sus estilos desde importantes crestones al oeste, pasando por afloramientos rasantes en su sector central, y culminando en *floats* en su tramo oriental. Además, en su flanco sur y alojado en la roca de caja, tiene asociado un vetilleo fino de cuarzo con disposición subparalela e igual rumbo, desarrollando texturas en peine con estructuras sigmoidales en un área de influencia desde la estructura menor a los 5 m.

Su tramo occidental está mejor expuesto debido a dos estructuras potentes formadas por brechas intensamente oxidadas, con abundantes limonitas que le dan una coloración ocre (Figura 3.24-A). Posee un incipiente *boxwork* de piratas oxidadas y una abundante limonitización y menor hematitización. En cambio, sus tramos central y oriental se presentan como subafloramientos y *floats* de la brecha con un menor grado de oxidación, pudiéndose reconocer clastos de cuarzo bandeados opalescentes en una matriz de cuarzo grisáceo dado por la presencia de sulfuros diseminados poco alterados (pirita y galena) y óxidos secundarios de Cu y Pb (Figura 3.24-B).

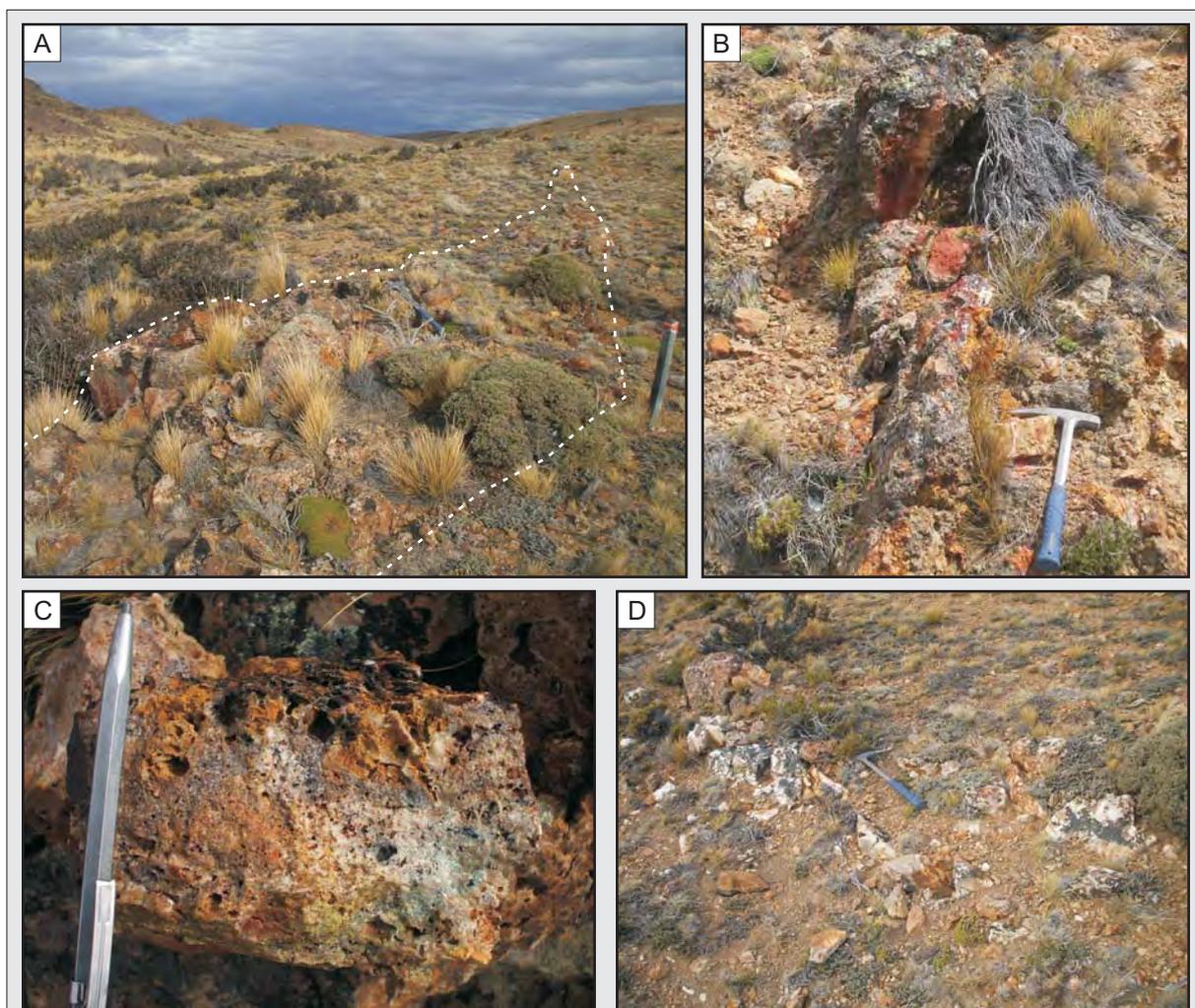


Figura 3.23. A) Vista regional de los afloramientos de *Argenta madre*; B) Detalle de la estructura con una fuerte tinción rojiza dada por la importante presencia de óxidos de Fe; C) Detalle de la brecha con el *boxwork* de pirita junto a abundantes óxidos de Fe, Cu y Pb; D) Afloramientos del tramo sur de la estructura, desarrollando vetilla de cuarzo en peine similares a la estructura *Argenta stock*.

Argenta centro

La estructura *Argenta centro* posee afloramientos bien definidos con una longitud cercana a los 1,5 km (Figura 3.21), en donde su patrón de afloramientos se desarrolla como crestones en su sector oriental (Figura 3.25-A) y como subaflorantes en su tramo occidental (Figura 3.25-B).

Se reconocen tres direcciones favorables donde las estructuras se alojan: el rumbo N110°-N120° se caracteriza por ser el principal y contener la mayor parte de las estructuras, el rumbo E-W funciona como enlace entre las estructuras que poseen el rumbo principal cuando estas se bifurcan o presentan geometrías sigmoidales. Estas dos direcciones se caracterizan por alojar estructuras vetiformes con vetillas de cuarzo con texturas en peine y brechas con cuarzo sacaroide con un boxwork de piritita y abundantes oxidados de Fe y Cu (Figura 3.25-C).

Por último, el rumbo N140° se presenta como una dirección de menor relevancia que aloja solo estructuras pequeñas con abundantes vetillas de cuarzo en peine (Figura 3.25-D).

Argenta norte

Está compuesta por dos ramas con rumbos diferentes que totalizan 1,3 km de longitud, comenzando al sur con un rumbo E-W que pasa al norte a un rumbo N120° (Figura 3.21).

La estructura *Argenta norte* es interpretada como la continuación de la estructura *A. Centro*, reconociéndose el mismo estilo en la geometría de las estructuras y sus texturas, pero que en este sector además ha coincidido con una falla de escala regional de rumbo E-W que provocó sobre la rama que se desarrolló en esta dirección un intenso tectonismo, sobreimponiendo una brecha tectónica con clastos de la caja (la ignimbrita TD), las vetillas de cuarzo con textura en peine y las brechas hidrotermales (Figuras 3.26-A y 3.26-B).

Marisel, Marisel oeste y Marisel sur

Las estructuras *Marisel, Marisel oeste y Marisel sur* están ubicadas en el extremo noroeste del



Figura 3.24. *Argenta oeste.* **A)** Vista de los potentes afloramientos fuertemente oxidados; **B)** Detalle de las texturas brechadas con abundantes óxidos de Fe y Cu.

sistema Argenta (Figura 3.21). Estas estructuras se alojan principalmente en la ignimbrita dacítica (TD), aunque hacia el oeste también son alojadas en la ignimbrita lítica (TL) (Anexo I).

Las estructuras *Marisel* y *Marisel oeste* están conformadas por varias ramas con rumbo N110° a N140° y que sumadas superan los 4,5 km. Se caracterizan por afloramientos con una geometría lenticular (Figura 3.26-C) que están compuestas por vetillas de cuarzo con una disposición anastomosada y textura en peine de grano grueso (Figura 3.26-D), y brechas de matriz silíceosa con clastos de la caja y cuarzo bandeado.

La estructura *Marisel sur* es una pequeña estructura continua de rumbo N120° que aflora como crestones de baja altura y que está conformada por un vetilleo intenso de cuarzo, con vetillas no mayores a los 3 cm de ancho con textura en peine de grano grueso y una disposición subparalelas a anastomosada. Este set de vetillas abarca una superficie de 6 a 7 m de ancho y se extiende a lo largo de 1,2 km en su rumbo (Figuras 3.26-E y 3.26-F).

La particularidad de esta estructura respecto a las demás es que corre paralela a un dique riolítico de rumbo N120° que buza al NO con alto ángulo, estando ambos localizados en un lineamiento regional NO-SE, ubicándose la mineralización en el flanco noreste del dique (Figura 3.26-E).

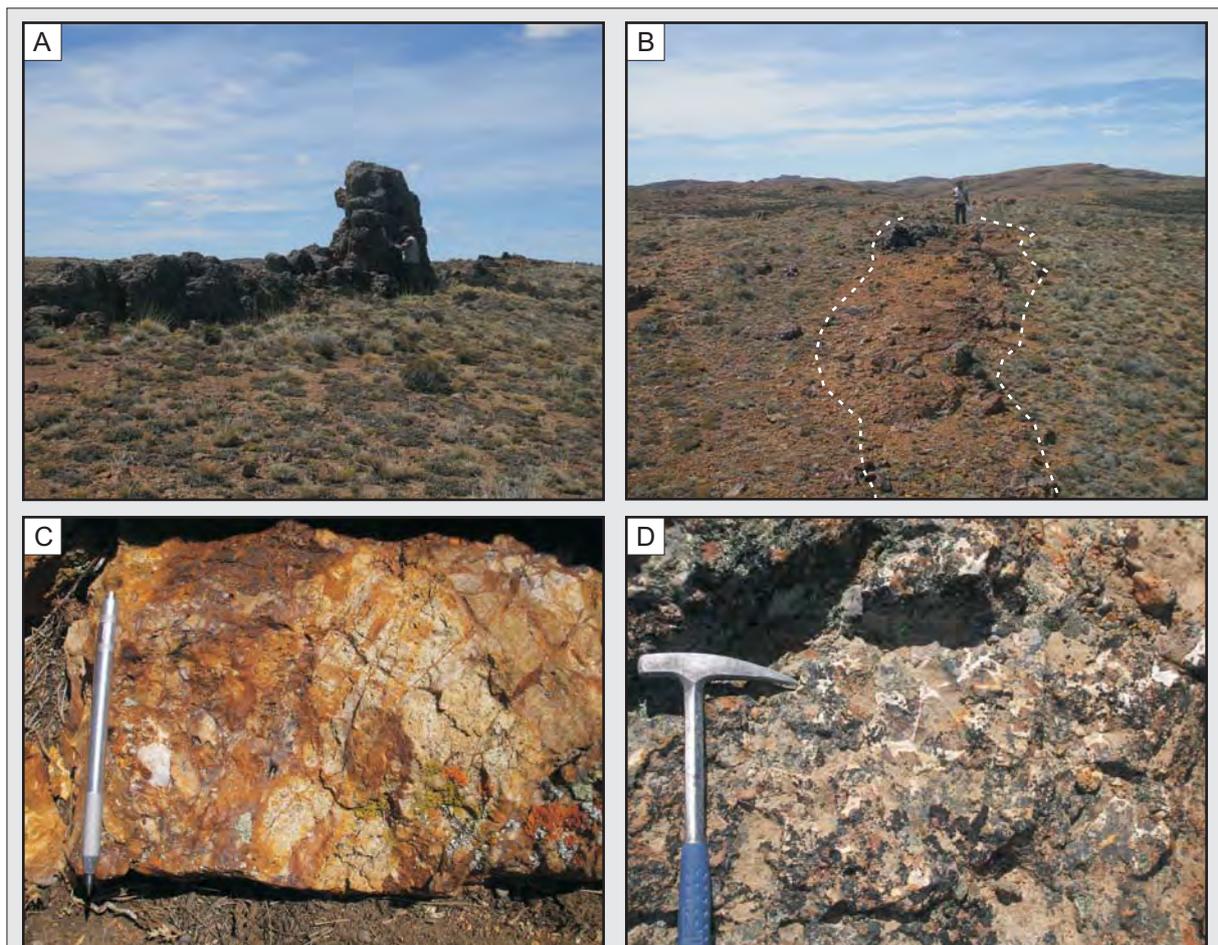


Figura 3.25. A) y B) Vista regional de los patrones de afloramientos de *Argenta centro* en su tramo oriental y occidental respectivamente; C) Detalle de la brecha con abundantes óxidos de Fe; D) Detalle de las vetillas de cuarzo alojadas en el rumbo N140°.

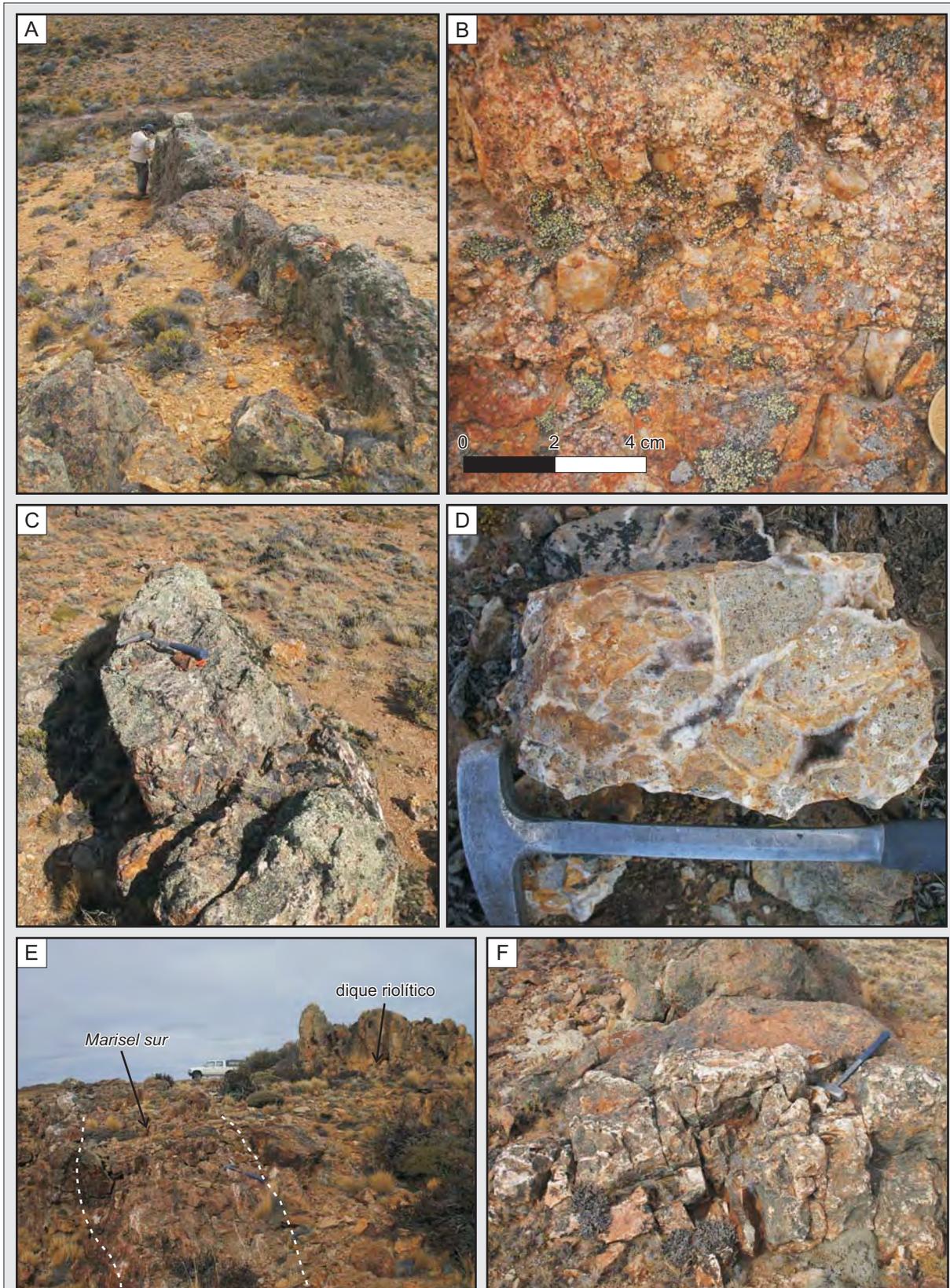


Figura 3.26. Estructuras *Argenta norte*, *Marisel* y *Marisel sur*, detalles de sus patrones de afloramientos y texturas. *Argenta norte*: **A)** Vista regional de los crestones vetiformes aflorantes y **B)** Detalle de la brecha tectónica; *Marisel*: **C)** Vista regional de los afloramientos con geometrías lenticulares y **D)** Detalle de la vetillas de cuarzo-adularia con texturas en peine, generando una textura pseudobrechada dada por una mayor densidad del vetilleo; *Marisel sur*: **E)** Vista regional de los afloramientos vetiformes ubicados en el flanco noreste del dique riolítico y **F)** Detalle de las vetillas de cuarzo.

3.3.2.2. Caracterización de la mineralización

a) Mineralogía y secuencia paragenética.

En las estructuras mineralizadas del área Argenta se reconoció una mineralogía simple, dominada en su mayoría por sulfuros de metales base, identificándose galena, esfalerita, pirita, calcopirita, pirrotina (FeS) y covelina (CuS) como minerales de mena, mientras que calcita, cuarzo y adularia (KAlSi₃O₈) son las fases minerales de ganga presentes.

Se identificaron además abundantes minerales de alteración supergénica, siendo en orden de importancia los siguientes: hematita (Fe₂O₃), azurita (Cu₃(OH)₂(CO₃)₂), malaquita (Cu₂(CO₃)(OH)₂) y fases minerales pertenecientes al grupo de las limonitas (hidróxidos de Fe).

Respecto a su esquema paragenético se reconocieron cuatro pulsos mineralizantes (Figura 3.27), uno de naturaleza carbonática y tres de naturaleza silíceo, estando el último de ellos fuertemente asociado a un evento de fracturación frágil.

A continuación se describirán los cuatro pulsos en detalle:

Pulso 1 (P1): el pulso inicial, de naturaleza carbonática, quedó escasamente preservado con su composición original, y solo se reconoce en la estructura *A. Madre*. No obstante, este pulso pudo ser confirmado en varias estructuras a través de la textura de reemplazo sobre los individuos de calcita que generó el primero de los pulsos silíceos (P2), pulso que además posee una amplia distribución en el Sistema Argenta.



Figura 3.27. Diagrama paragenético del área Argenta, en donde se observa la presencia de los diferentes minerales de mena y ganga en cada uno de los cuatro pulsos mineralizantes reconocidos. El grosor de las barras refleja la abundancia del mineral en cada pulso.

Se reconoció, tanto en muestra de mano como al microscopio, una textura bandeada fina (Figura 3.28-A), con el desarrollo de cristales elongados en una textura *carbonate lattice bladed* (Figura 3.28-B) (Dong *et al.*, 1995).

Pulso 2 (P2): luego del estadio carbonático generador del pulso P1 se suceden tres episodios silíceos. El primero de ellos (P2) posee una amplia distribución por toda el área, pero se encuentra mejor representado en sector de *Argenta Stock*.

Se trata de un pulso de cuarzo-adularia que conforma un stockwork con vetas y vetillas subparalelas (Figura 3.22-A) que se entrelazan en un arreglo anastomosado. Por sectores se observó una mayor densidad en el vetilleo, generando un aspecto de pseudobrechas vetiformes o *vein-breccias* en donde los clastos angulosos de la roca de caja son rodeados por las vetillas (Figura 3.26-D).

Respecto a las vetillas, se caracterizan por una estructura bandeada de cuarzo-adularia, presentando variaciones en cuanto al contenido de los dos minerales, dominando en algunas vetillas el cuarzo (Figura 3.29-A) mientras que en otras domina casi por completo la adularia (Figura 3.29-B).

Al microscopio se reconoció una amplia y variada cantidad de texturas, tanto primarias como de reemplazo y de recristalización. Dentro de las texturas primarias se reconocieron las mismas texturas identificadas en muestra de mano, es decir, grandes cristales de cuarzo y adularia pseudo-rómbica con texturas en peine, bandeados finos y macizas (Figuras 3.29-A y 3.29-B). Este pulso es el responsable además de los cristales pseudomórficos de cuarzo con texturas de reemplazo sobre los cristales de calcita generando un arreglo paralelo o *parallel-bladed* (Dong *et al.*, 1995) (Figura 3.28-B).

Finalmente, se identificaron tres texturas de recristalización; la más marcada es la observada en los cristales de cuarzo que desarrollan el tipo micro-plumosa o *feathery* (Dong *et al.*, 1995) (Figura 3.30-A). Por otro lado, en las cavidades de la textura primaria en peine se reconoció cuarzo microcristalino en una textura en mosaico de grano fino, junto con calcedonia con una textura bandeada fina y fibrosa radiada, las cuales corresponden al tipo “llameante” o

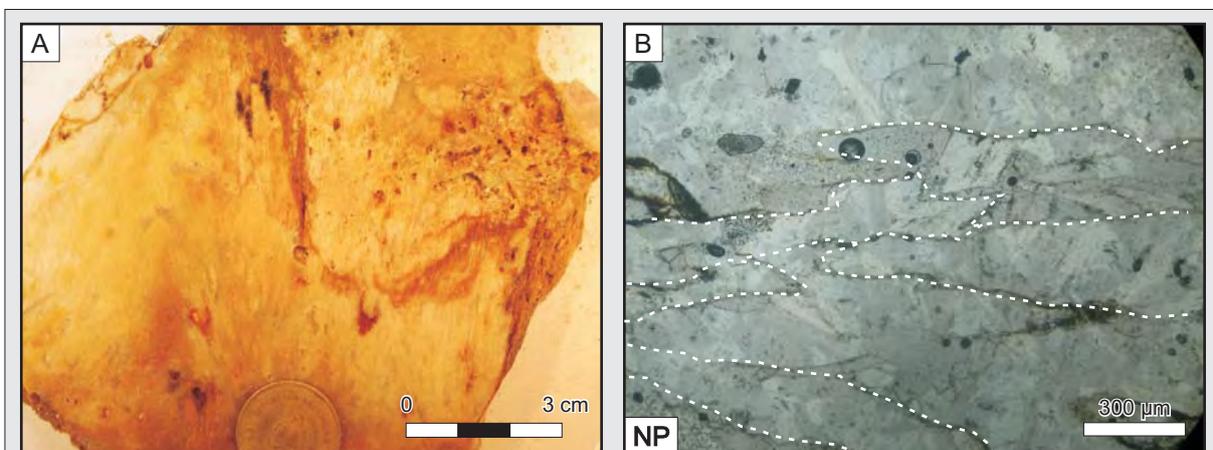


Figura 3.28. Pulso P1. **A)** detalle de la calcita parcialmente reemplazada por sílice en la estructura *Argenta madre*; **B)** Vista al microscopio de las calcitas laminares (en líneas punteadas se resaltó los límites entre individuos). NP: nicoles paralelos.

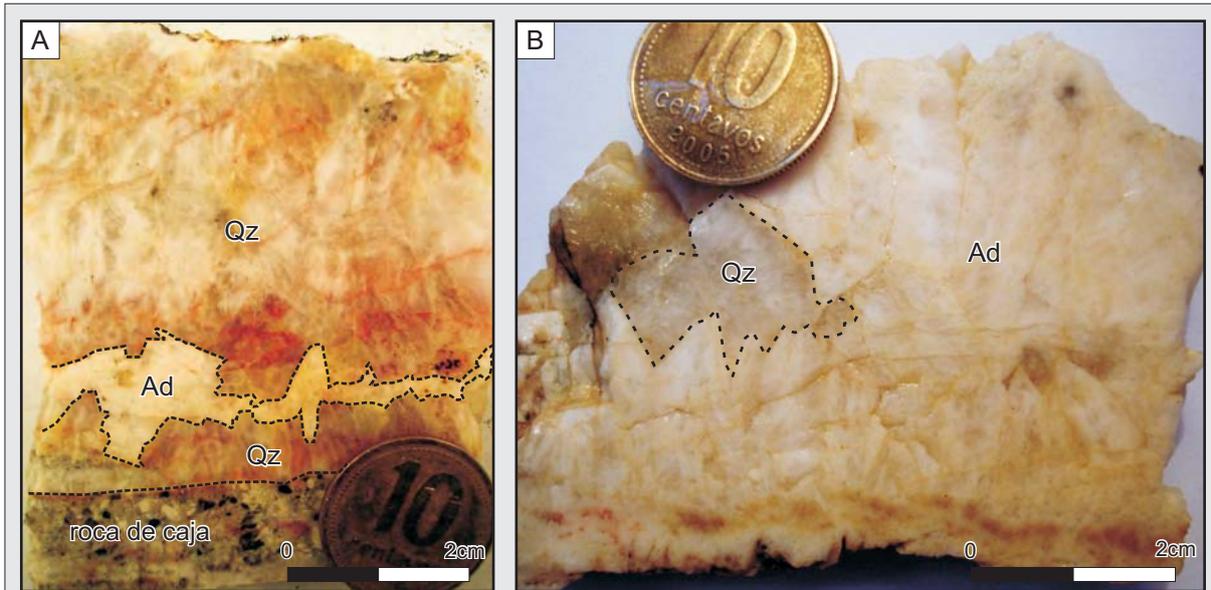


Figura 3.29. Pulso P2. Vista en muestras de mano de los dos estilos observados en las vetillas; en **A)** con mayor presencia de cuarzo sobre adularia y en **B)** el caso inverso, dominando la adularia por sobre el cuarzo.

“flamboyant” (Dong *et al.*, 1995) (Figura 3.30-B)

Pulso 3 (P3): posteriormente al pulso P2, se suceden eventos tectónicos intensos al mismo tiempo que el pulso P3 se deposita, siendo un pulso silíceo que se encuentra representado por brechas multiepisódicas tectono-hidrotermales que se presentan aflorando como grandes sigmoides (Figura 3.26-C) alojados principalmente a lo largo de lineamientos regionales. Estas brechas tectónicas presentan texturas cataclásticas intensas con clastos angulosos en una matriz subordinada cuarzo-hematítica-limonítica (Figura 3.26-B).

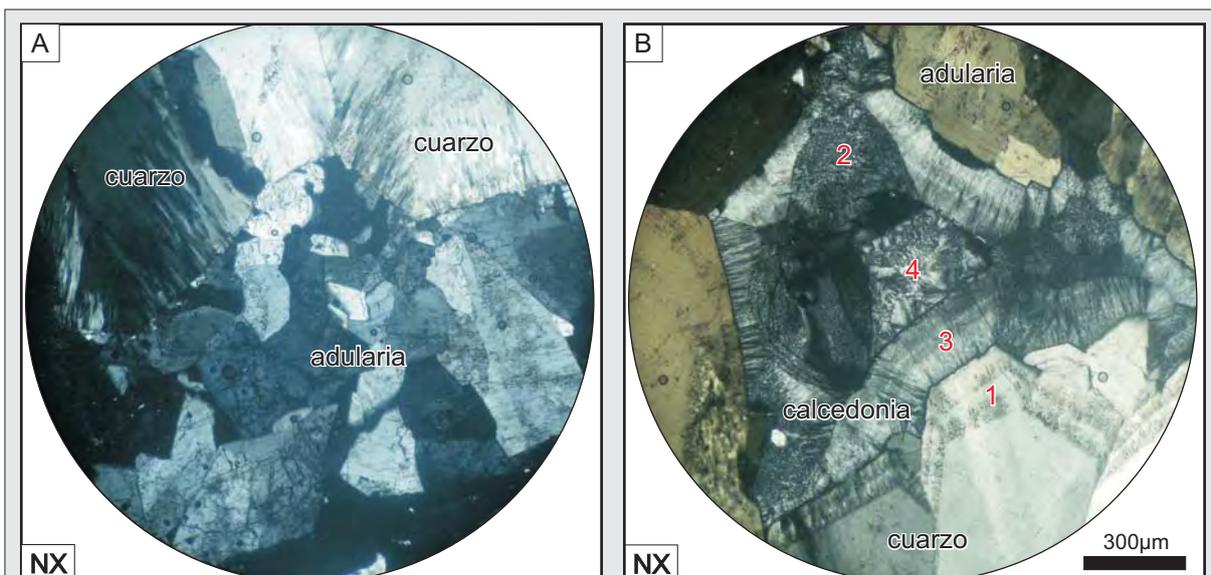


Figura 3.30. Fotomicrografías de los minerales y texturas presentes en el pulso P2. **A)** Mosaico de cristales pseudo-rómbicos de adularia en contacto con cuarzo presentando este último una textura de recrystalización micro-plumosa; **B)** Detalle de texturas de recrystalización en el pulso P2, los números en rojo marcan las diferentes texturas: **1)** cuarzo con textura llameante; **2)** cuarzo micro-cristalino con textura en mosaico; **3)** y **4)** texturas llameantes o *flamboyant* en calcedonia bandeada fina y fibrosa radiada respectivamente. (NX: nicoles cruzados).

Dentro de las brechas tectónicas se desarrollan lentes de brechas hidrotermales con clastos de roca de caja, del pulso P2, y clastos completamente oxidados y limonitizados en una matriz de cuarzo sacaroide rica en sulfuros, identificándose en las muestras de superficie solamente un diseminado de pirita y escasa galena (Figuras 3.31-A y 3.31-B), ya que en su mayoría los sulfuros se encuentran completamente alterados a óxidos e hidróxidos de Fe y minerales secundarios de Cu (principalmente azurita y malaquita) (Figuras 3.22-B, 3.23-C, 3.24-B, y 3.25-C).

Cabe resaltar que se encontró en algunas de las estructuras la presencia de clastos de la brecha hidrotermal dentro de la brecha tectónica, lo que nos estaría indicando una naturaleza multiepisódica y/o sintectónica de este pulso.

Del análisis al microscopio se reconoció que, además de la galena y pirita reconocida en muestra de mano, este pulso contiene esfalerita, calcopirita, pirrotina y covelina (Figura 3.27).

La galena se presenta en grandes cristales (con cristales que superan los 1600 μm de largo), con desarrollo eudral pero con bordes irregulares, mientras que a la esfalerita se la reconoce límpida como así también con abundantes desmezclas de calcopirita, las cuales no poseen una distribución en particular sino que están diseminadas por todo el individuo (Figuras 3.32-A y B). Por otro lado, la pirita desarrolla cristales cúbicos bien formados, con un tamaño promedio entre 50 y 200 μm (Figuras 3.32-B y C).

Estos cuatro minerales son los sulfuros dominantes, reconociéndose además una menor participación de pirrotina y covelina. El primero de ellos posee un desarrollo subedral y hábitos tabulares de hasta 400 μm (Figura 3.32-C), observándose en general intercrecido con pirita, calcopirita y esfalerita, mientras que la covelina se encuentra normalmente asociada a la esfalerita, con cristales eudrales de tamaños cercanos a los 100-120 μm con tonalidades azules intensas (Figura 3.32-D).

Pulso 4 (P4): finalmente el pulso P4, de naturaleza silíceo y de carácter tardío, se presenta

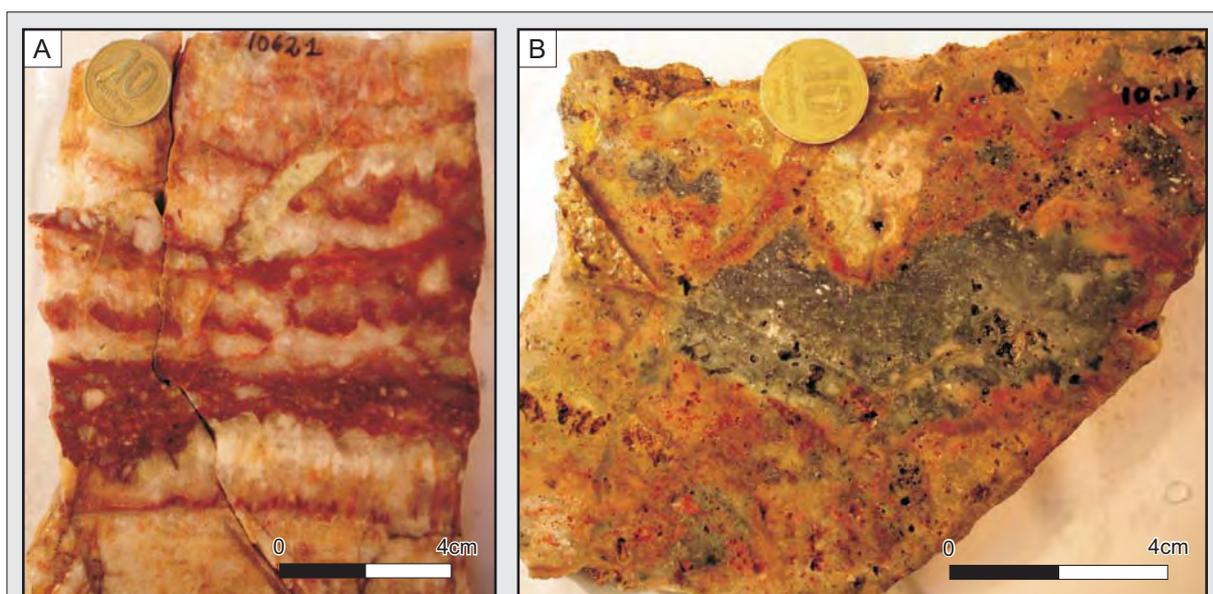


Figura 3.31. Vista en muestras de mano de las brechas hidrotermales del pulso P3. **A)** Muestra de la brecha con clastos del pulso previo en una matriz silíceo ferruginosa; **B)** muestra de la brecha con el núcleo fresco rico en un pulso silíceo con abundante galena y pirita, con el borde fuertemente oxidado.

cortando a los pulsos anteriores. Se caracteriza por un set de vetillas finas de cuarzo, las cuales desarrollan texturas en peine de grano grueso (Figuras 3.33-A y B).

b) Microtermometría de minerales transparentes y semitransparentes.

Se realizó un estudio sobre las inclusiones fluidas primarias (IF) presentes en cristales de cuarzo de los pulsos P2 y P3 (Figuras 3.34-A y B). Al igual que para el sistema Wendy, se consideraron los criterios para el análisis termométrico citados al comienzo del capítulo.

En las tres muestras analizadas las IF que se seleccionaron tienen morfología regular en su mayoría, con algunas pocas tubulares y ovoidales (Figura 3.34-C). Poseen diámetros promedio entre los 8-10 μm hasta los 30 μm , siendo de naturaleza bifásica (Nash, 1976), en donde la fase vapor ocupa entre el 10% y el 30% del volumen total de la inclusión.

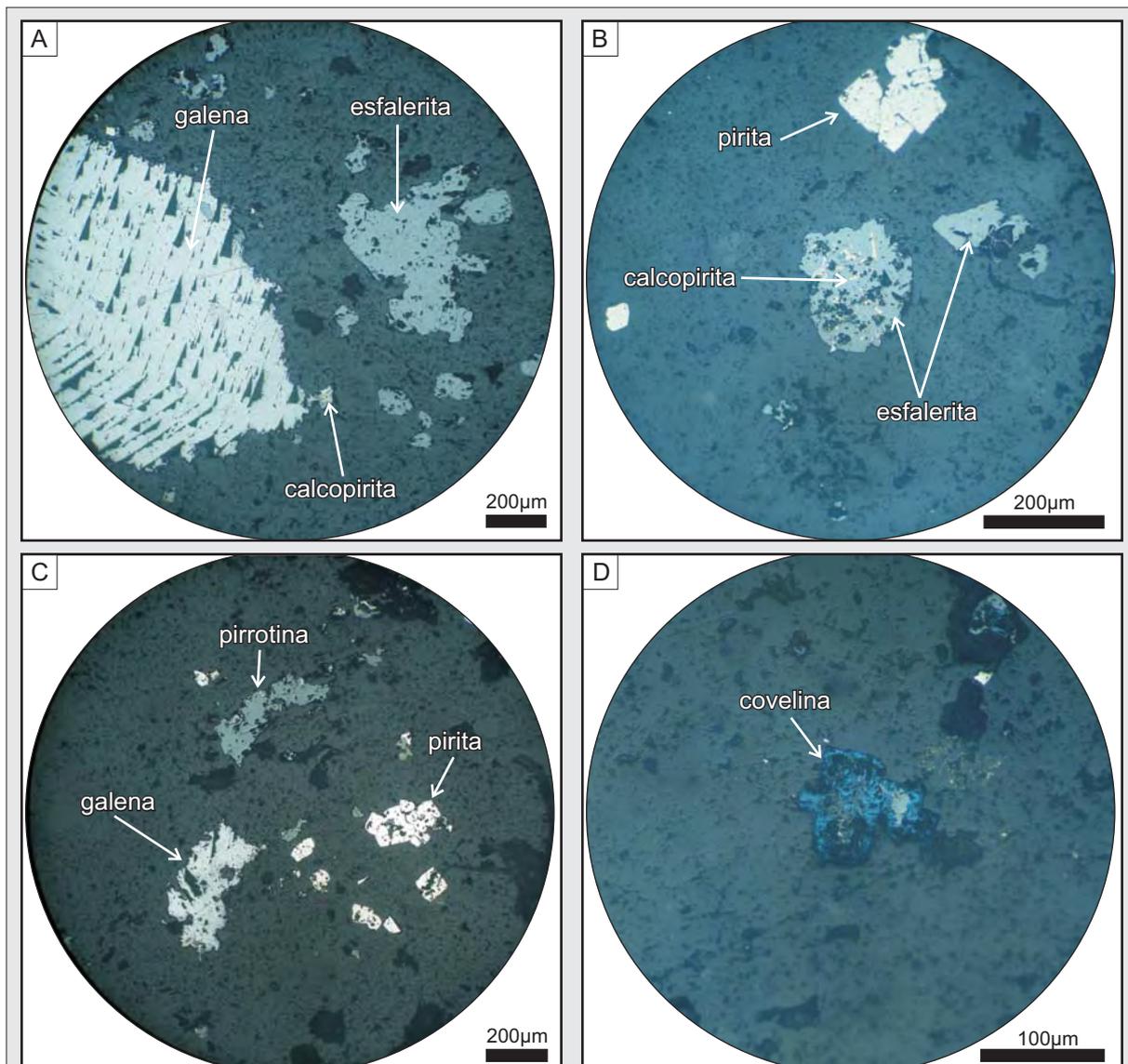


Figura 3.32. Fotomicrografías de los sulfuros presentes en el pulso P3. **A)** Galena de gran tamaño con bordes irregulares junto a cristales de esfalerita subedrales y escasa calcopirita; **B)** Cristales de esfalerita con desmezcla de calcopirita; **C)** Pirrotina subedral asociada a galena y pirita; **D)** Cristal eudral de covelina.



Figura 3.33. A) Vetillas de cuarzo del pulso P4 cortando la brecha del pulso previo; B) Vista al microscopio de las vetillas de cuarzo con textura en peine.

Al igual que en el Sistema Wendy, no se reconocieron durante las etapas criogénicas evidencias de presencia de CO_2 en la fase vapor de las inclusiones, lo que también nos está indicando un contenido de CO_2 inferior al 3,7 % en peso dentro de las inclusiones (Hedenquist y Henley, 1985).

La primera temperatura de fusión de sólidos (T_f) obtenida después del congelamiento, fue registrada en torno de los $-23,1$ a $-20,1$ °C (Figura 3.34-C). Esta temperatura corresponde a la del punto eutéctico del medio sal-agua, e indica que corresponde al sistema salino $\text{H}_2\text{O-KCl-NaCl}$ (Shepherd *et al.*, 1985), con una T_f teórica de $-23,5$ °C.

Durante el calentamiento, la homogeneización de las inclusiones bifásicas en fase líquida se produce entre $214,7$ °C y los $320,1$ °C. No obstante, en dos inclusiones del pulso P3 al ser calentadas por encima de los 350 °C no se reconocieron evidencias de homogeneización (Figura 3.34-D).

Finalmente, se calcularon las temperaturas de fusión final de hielo (T_f) y se obtuvieron valores entre los $-5,4$ °C y $-0,6$ °C, que corresponden a salinidades del orden de 1,05 a 8,41% en peso equivalente de NaCl (%wt NaCl)), con dos modas claras una de baja salinidad en los 0,9-3,3 %wt NaCl y otra con mayor salinidad a los 6,3-8,4 %wt NaCl respectivamente (Figura 3.34-E).

Cabe resaltar que dentro de los dos pulsos analizados (P2 y P3) se reconoció que el fluido evoluciona desde un pulso inicial caracterizado por temperaturas y salinidades bajas a un fluido con mayores salinidades y temperaturas (Figuras 3.34-D, 3.34-E, 3.35-A y 3.35-B), pero siendo igualmente valores que de acuerdo a Wilkinson (2001) se encuadran dentro del rango propio de los depósitos epitermales (Figura 3.35-C).

c) Caracterización geoquímica.

Al contrario que en el Sistema Wendy, para la definición de las características geoquímicas de las estructuras mineralizadas del Sistema Argenta solo se contó con información generada por la

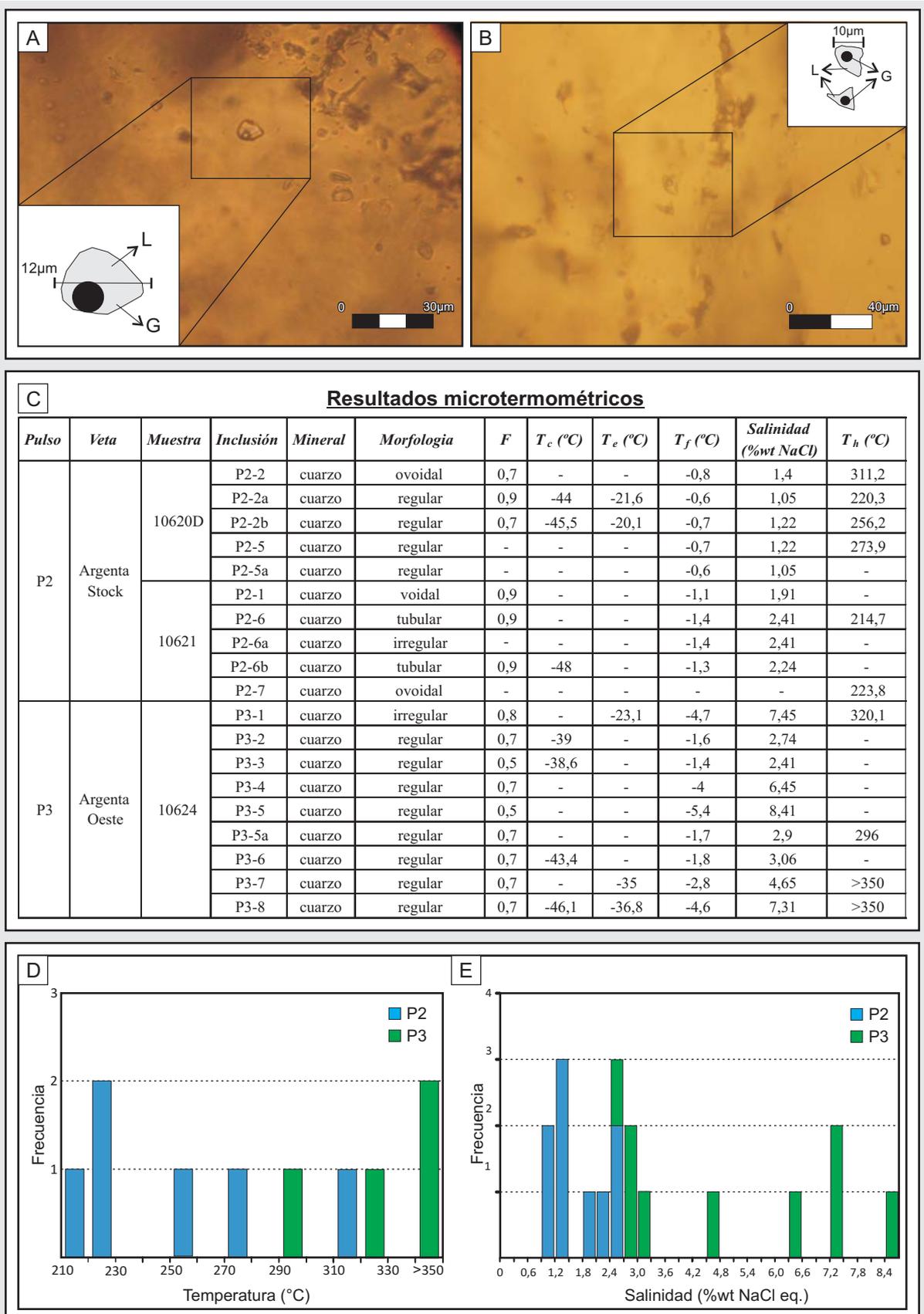
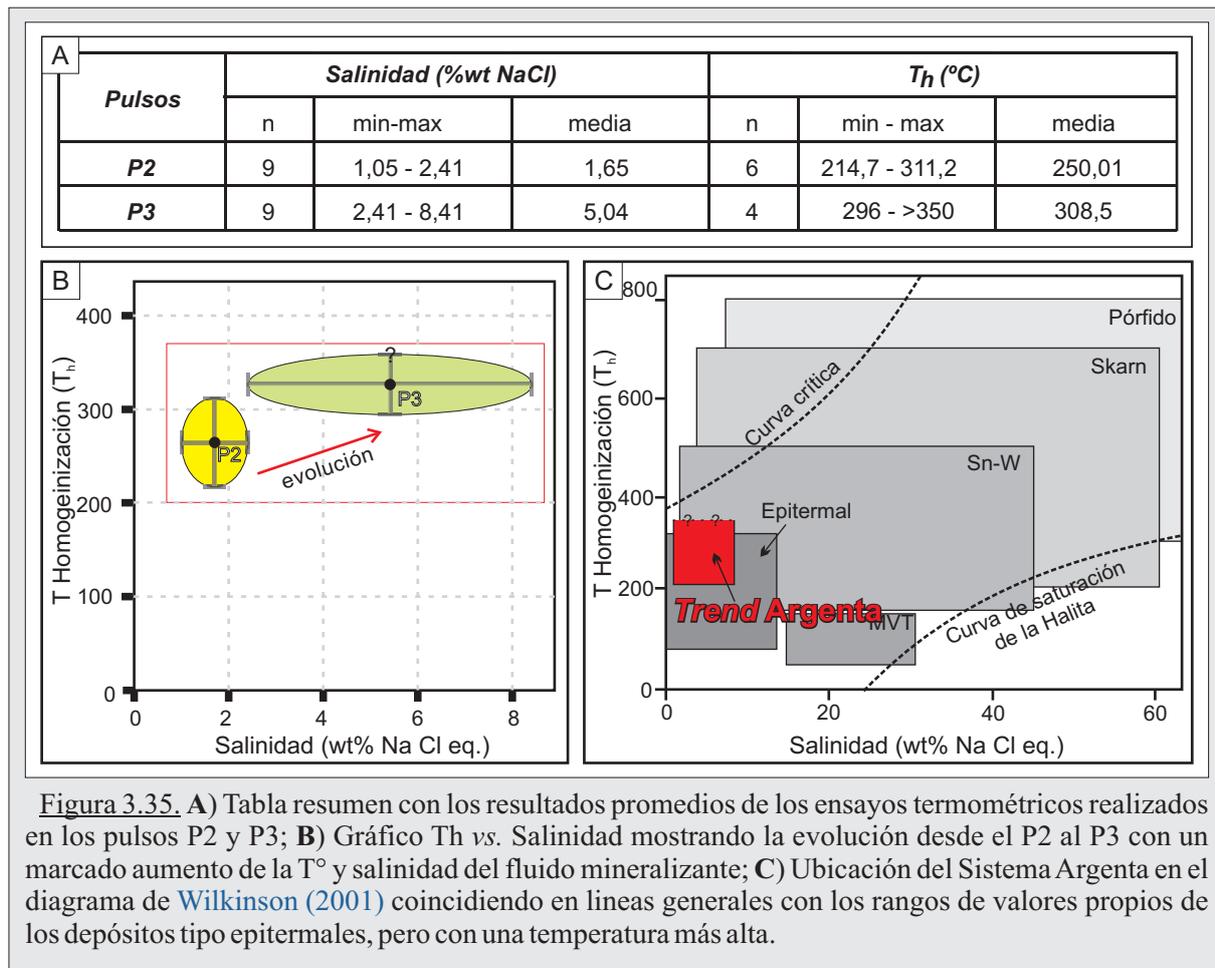


Figura 3.34. A) y B) Fotomicrografías de las inclusiones fluidas presentes en el pulso P2 (muestra 10620D); C) Tabla resumen de los principales datos microtermométricos obtenidos para el Sistema Argenta. D) Gráfico de Frecuencia vs. Temperatura; E) Gráfico de Frecuencia vs. Salinidad.



empresa Coeur Argentina S.R.L., en campañas de exploración y perforación realizadas entre los años 2003 y 2006.

Las primeras actividades exploratorias consistieron en un muestreo de esquirlas de las estructuras en superficie (*chip samples*), que permitieron delimitar zonas con valores anómalos en metales preciosos y metales bases (con valores máximos de 4,65 g/t Au, 1255 g/t Ag, 21,3 % Cu, 1,11 % Zn y 5,38 % Pb) (Figura 3.36).

Estos resultados favorables motivaron un programa de exploración detallada con sucesivas campañas de perforación, las cuales tuvieron dos puntos negativos: 1) el programa incluyó mayormente pozos superficiales (entre 60 y 150 m, salvo un solo pozo de 300 m de longitud), y 2) no fueron realizadas siguiendo una grilla sistemática en cada set de estructuras, por lo que no se cuenta con buena información sobre la distribución de los metales y la geometría de las estructuras en profundidad.

Estos trabajos se concentraron en las estructuras *Argenta stock*, *A. centro*, *A. madre*, *A. oeste* y *Marisel*, totalizándose 4600 m perforados (Figura 3.37). Se obtuvieron pocas muestras con valores anómalos en Au y Ag en las estructuras *A. oeste* y *Marisel* (con valores máximos de 6,50 g/t Au y 428 g/t Ag), mientras que en las estructuras *A. centro*, *A. oeste* y *Marisel* se identificaron anomalías en metales base, siendo también estos valores anómalos poco abundantes y de baja concentración (con máximos de 11,86% en Pb, 32,40% de Zn y 0,36% en Cu) (Figuras 3.38-A y 3.38-B).

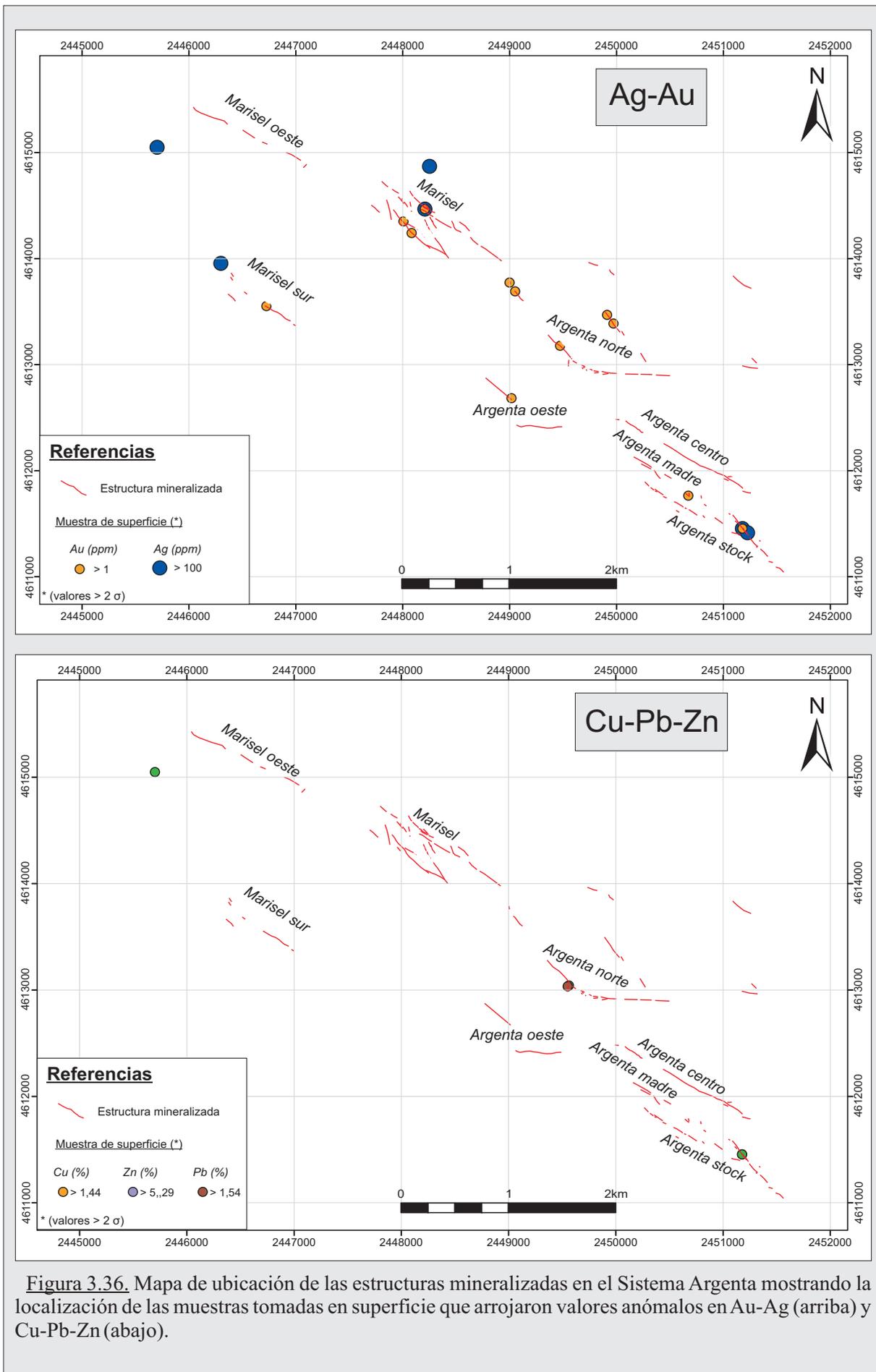


Figura 3.36. Mapa de ubicación de las estructuras mineralizadas en el Sistema Argenta mostrando la localización de las muestras tomadas en superficie que arrojaron valores anómalos en Au-Ag (arriba) y Cu-Pb-Zn (abajo).

A partir de una integración de los datos de superficie y de pozos (1481 muestras en total, correspondientes a 664 muestras de superficie y 817 muestras tomadas de testigos corona) se realizó una caracterización más detallada del perfil geoquímico del Sistema Argenta, seleccionándose en total 941 muestras por ser las que contaban con los datos completos de Au, Ag, Cu, Zn y Pb. Para la discriminación se consideró anómalos a todos aquellos valores mayores a dos desvíos estándar (2σ) respecto del valor promedio.

Se observó que los valores anómalos, tanto en Au-Ag como en Cu-Pb-Zn, representan una población muy pequeña respecto al total de datos considerados, además de que, a pesar de ser valores estadísticamente anómalos, corresponden a concentraciones geoquímicas bajas,

Tabla III. Resumen de las estructuras del Sistema Argenta perforadas entre el 2003 y 2006.

Estructura	Total de pozos	Profundidad alcanzada	Mejores valores (intersección @ Au/Ag en ppm)
Argenta centro	3 (2003)	Superficial (~120 m)	0,5 m @ 0,2/sin anomalía
Argenta meste	3 (2003)	Superficial (~100 m)	1 m @ 5,9/23
	8 (2004)	Superficial (~60 - 150 m)	2,5 m @ 3,5/20
Argenta norte	6 (2004)	Superficial (~40 m)	sin anomalía
Argenta stockwork	2 (2004)	Superficial (~45 m)	sin anomalía
Argenta madre	2 (2004)	Superficial (~40 m)	sin anomalía
Marisel	11 (2004)	Superficial (~100 m)	0,5 m @ 0,88/27
	5 (2006)	Profundo (~200 - 300 m)	0,4 m @ 0,85/18

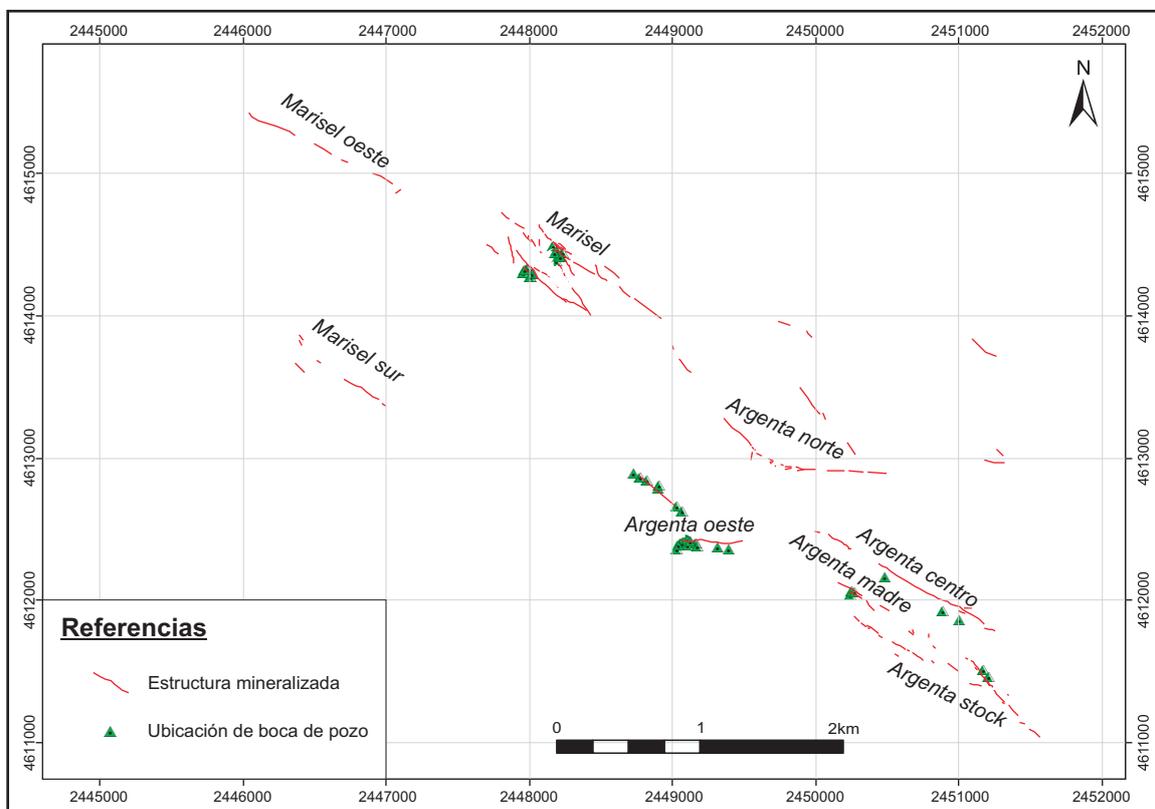


Figura 3.37. Mapa de ubicación de las estructuras mineralizadas del Sistema Argenta con la localización de los pozos perforados en el período 2003-2006.

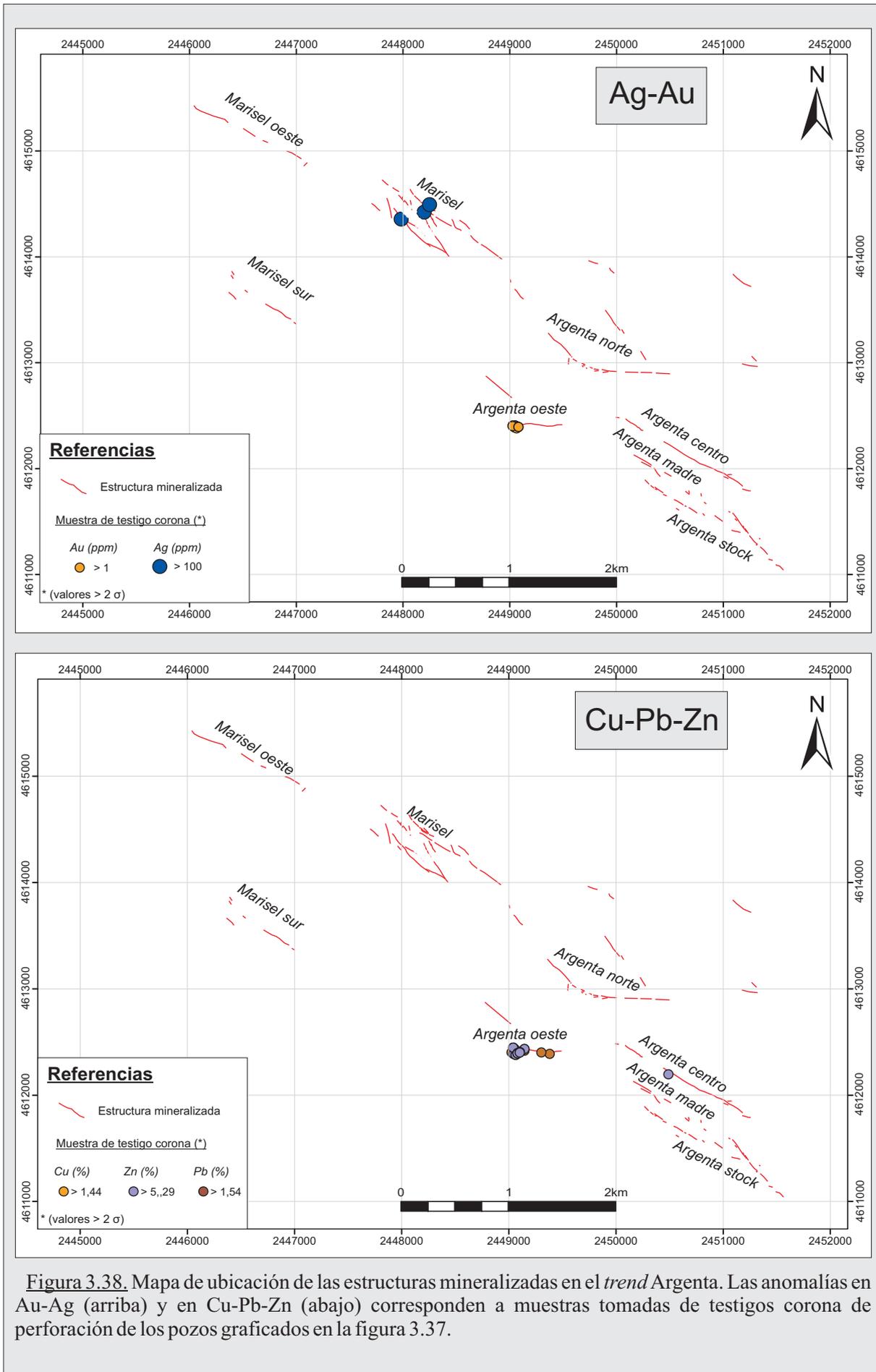
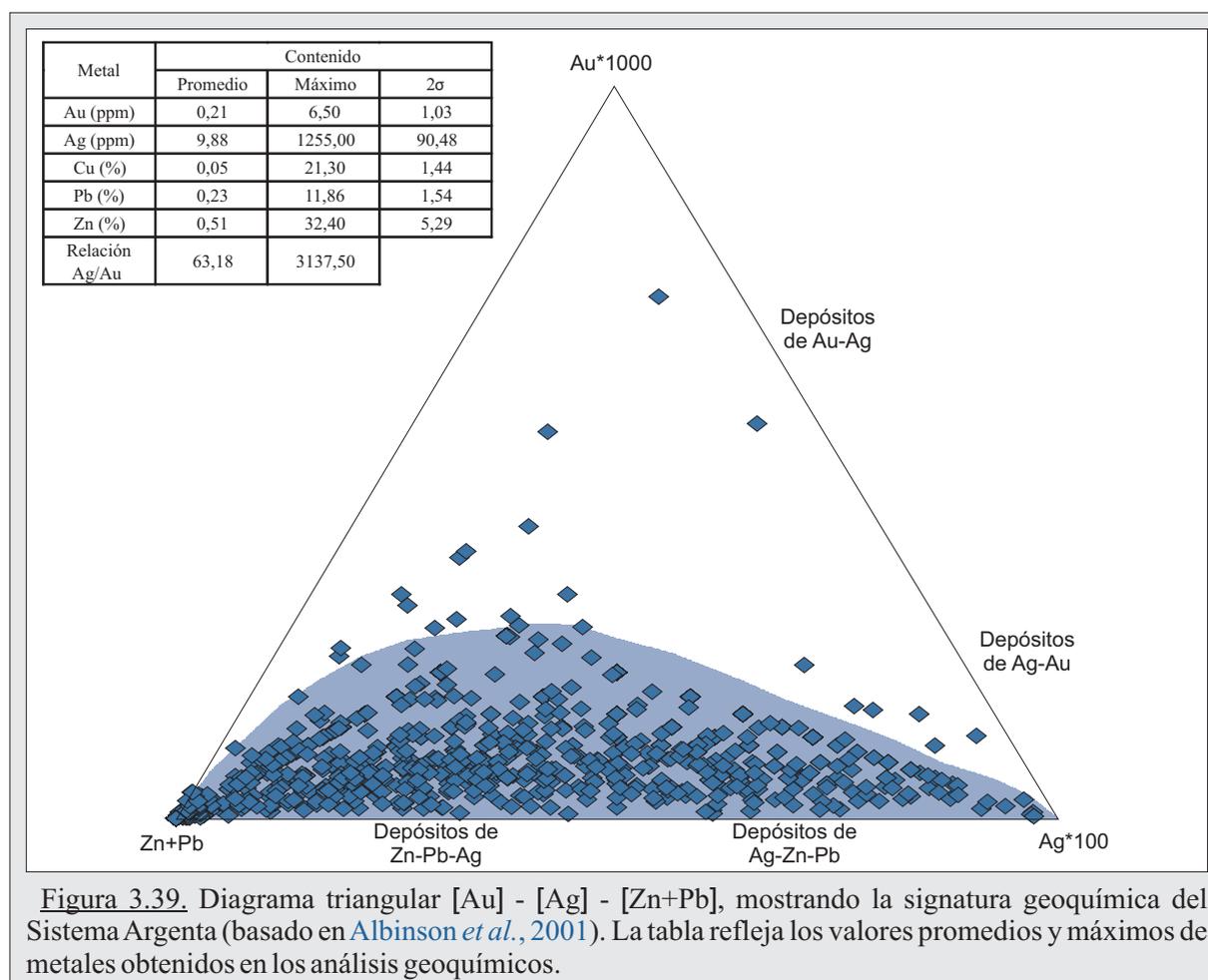


Figura 3.38. Mapa de ubicación de las estructuras mineralizadas en el *trend* Argentino. Las anomalías en Au-Ag (arriba) y en Cu-Pb-Zn (abajo) corresponden a muestras tomadas de testigos corona de perforación de los pozos graficados en la figura 3.37.



reconociéndose solo 60 muestras con anomalías en Au y Ag (6,4% del total de muestras consideradas), presentándose relaciones Ag/Au que promedian los 50-350:1 con máximos que superan levemente los 3000:1, mientras que en los metales bases se identificaron 45 muestras con anomalías significativas (equivalentes a un 4,78% del total de muestras consideradas).

Finalmente, se analizaron las relaciones entre los metales preciosos y los metales base y se observó una clara tendencia a un mayor contenido de Pb-Zn respecto a Au-Ag, lo cual nos permite clasificar al sistema de vetas del sistema Argenta como un depósito rico en metales bases o Zn-Pb-Ag (Figura 3.39).

d) *Marco estructural: Indicadores cinemáticos*

Como se explicó al caracterizar al Sistema Wendy, las zonas o estructuras de transferencias poseen la particularidad de ser elementos fractales, repitiéndose a diferentes escalas de observación. Así es que, en el Sistema Argenta, se reconocieron evidencias de un fuerte control estructural sobre las estructuras mineralizadas a distintas escalas de observación, siendo las direcciones de las vetas las mismas direcciones identificadas en las imágenes satelitales como importantes rasgos lineales, correspondientes a fallas/lineamientos de escala distrital.

Las estructuras mineralizadas del Sistema Argenta pueden ser divididas en dos grandes sistemas estructurales con rumbos claramente distintivos, ONO-ESE (N140°-150°) y E-O

(Figura 3.21).

Dentro del rumbo ONO-ESE se encuentran la mayoría de las estructuras (*A. stock*, *A. madre*, *A. centro*, *Marisel*, *Marisel sur y oeste*, y el extremo norte de *A. norte*) con buzamientos de alto ángulo al noreste a vertical, mientras que el rumbo E-O se encuentran las estructuras *A. oeste* y el extremo sur de *A. norte*, ambas con buzamientos al norte con alto ángulo.

Al igual que en el Sistema Wendy, se consideraron los patrones de afloramientos y las texturas primarias como indicadores sobre el grado de apertura y como elementos estimadores para calcular las direcciones del campo de esfuerzo imperante. En el primero de los rumbos se observó que las estructuras a escala de afloramiento desarrollan crestones no mayores a los 2 m de potencia, de baja altura a sub-aflorantes y con geometrías lenticulares (lentes que se corresponden estructuralmente con los pequeños sigmoides que en ocasiones contienen) siendo ambos evidencias de un régimen con cinemática dextral (Figuras 3.40-A y 3.40-B). Además, analizando la geometría de las vetillas y las texturas que dominan en esta dirección, se reconoce que no solo las vetillas con texturas en peine son las más abundantes sino también que los cristales crecen perpendiculares a las paredes o con una leve rotación (Figura 3.40-C).

Respecto a las estructuras alojadas en el segundo rumbo, se reconoció en los afloramientos una mayor componente de cizalla, con el desarrollo de potentes crestones de hasta 5 metros de ancho, los cuales alojan una mayor cantidad de brechas tectónicas en relación a las vetillas con texturas en peine y a las brechas hidrotermales (Figuras 3.26-A y 3.26-B).

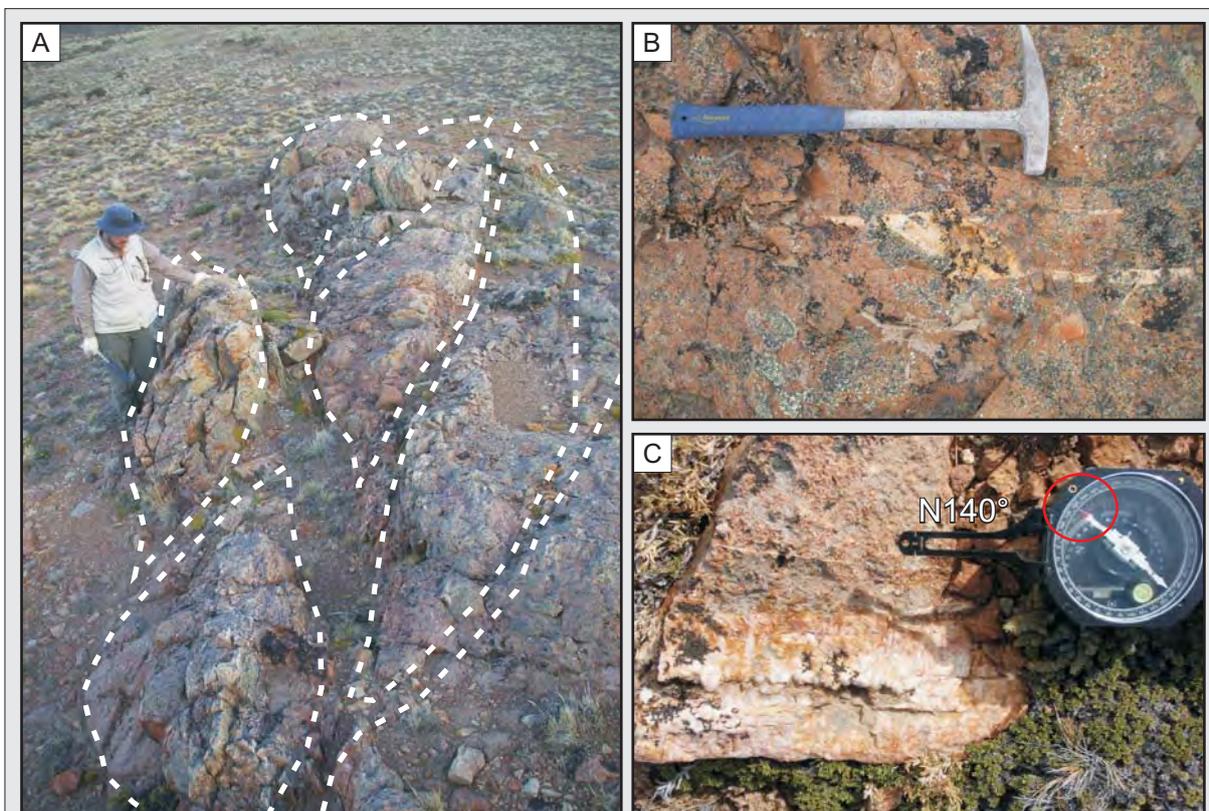


Figura 3.40. Sistema Argenta. **A)** Vista de los afloramientos lenticulares de *Marisel*; **B)** Detalle de una vetilla de cuarzo en *A. madre* desarrollando una estructura sigmoidal dextral; **C)** Detalle de una vetilla de cuarzo con textura en peine y rumbo N140°, en donde los cristales crecen perpendiculares a las paredes.

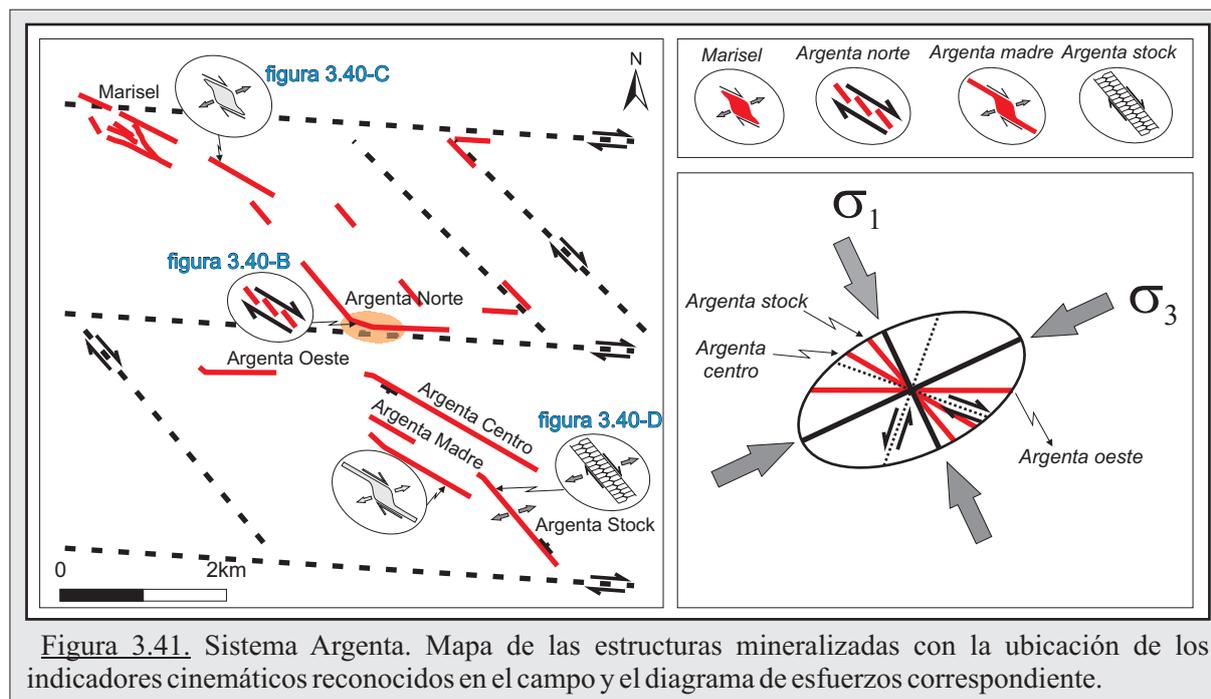


Figura 3.41. Sistema Argenta. Mapa de las estructuras mineralizadas con la ubicación de los indicadores cinemáticos reconocidos en el campo y el diagrama de esfuerzos correspondiente.

Estas disposiciones fractales, en donde se reconocen estructuras de transferencias desde la escala regional hasta la escala de afloramiento, sumado a las evidencias geométricas y texturales observadas, reflejan un régimen estructural de tipo transtensivo en donde el sistema ONO-ESE (N120°-140°) aloja las direcciones de mayor extensión o apertura, mientras que en la dirección E-O está ubicado la dirección con mayor componente de rumbo o compresiva, en el marco de un régimen cinemático normal-dextral (Figura 3.41).

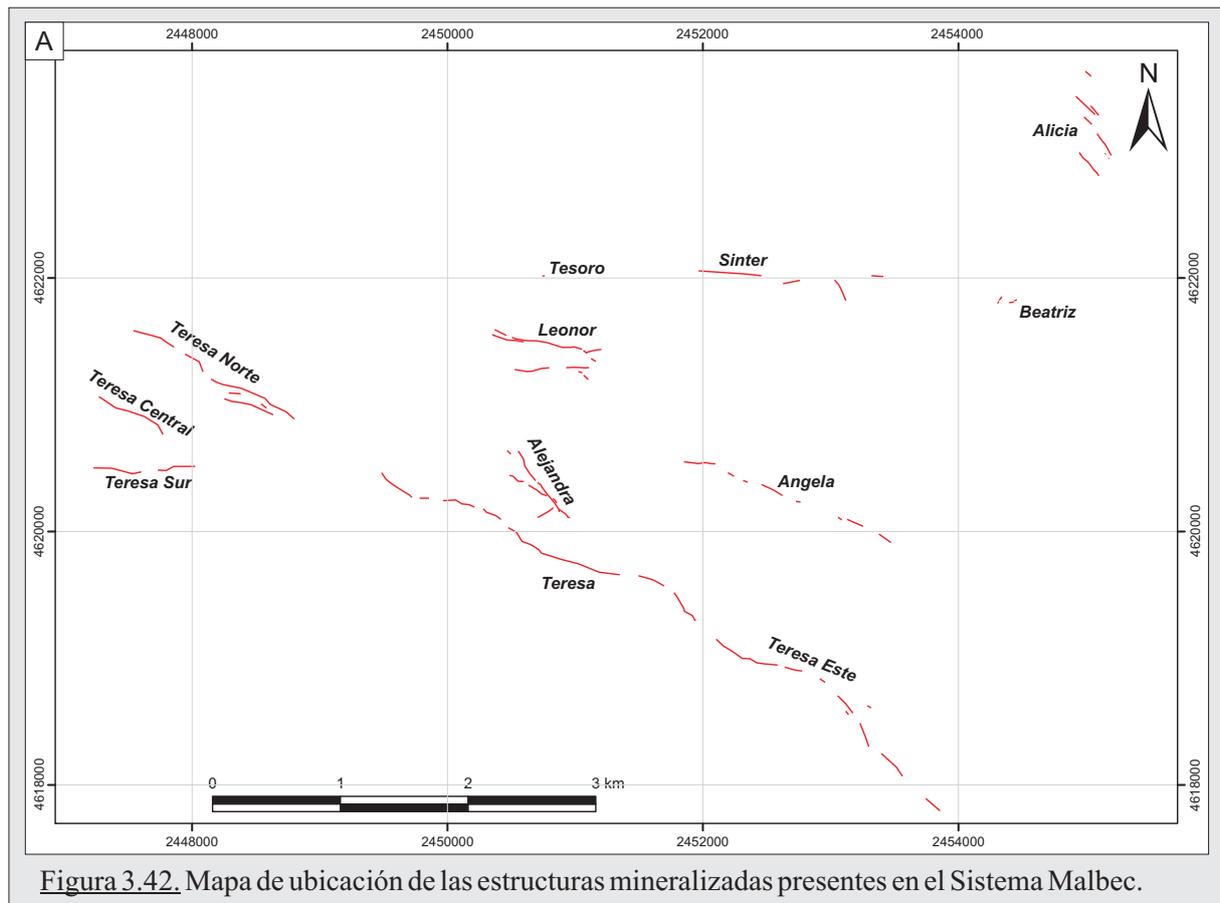
3.3.3. Sistema Malbec

3.3.3.1. Ubicación, distribución y características generales de las estructuras.

Localizado en el sector norte del Distrito (Figura 3.2 y Anexo I), el Sistema Malbec posee al menos 12 estructuras vetiformes de rumbo NO-SE y E-O, denominadas de sur a norte: *Teresa este*, *Teresa*, *Teresa sur*, *Teresa central*, *Teresa norte*, *Alejandra*, *Ángela*, *Leonor*, *Tesoro*, *Sinter*, *Beatriz* y *Alicia* (Figura 3.42), y que en su conjunto totalizan 15,6 km lineales, siendo por su extensión las más importantes en el Distrito Cerro Primero de Abril.

Estas estructuras alojan mineralización rica en metales base, con desarrollo de crestones silicificados, stockwork y vetillas de cuarzo con texturas en peine de grano grueso, y brechas de cuarzo y sulfuros intensamente oxidados.

De acuerdo a las similitudes y diferencias observadas en los afloramientos de algunas de las estructuras (patrón de afloramiento, roca de caja, estructura y texturas presentes, mineralogía, entre otras) se analizaron las estructuras agrupándolas en un tren principal integrado por las estructuras *Teresa*, *Alejandra*, *Ángela* y *Leonor*, y cuatro sectores, donde se encuentran *Tesoro*, *Alicia*, *Sinter* y *Beatriz*, en donde se realizará una caracterización detallada debido a que por sus características particulares no pueden ser definidos como trenes y merecen un enfoque especial.



Tren Teresa - Alejandra - Ángela - Leonor

Este tren comprende a las cuatro estructuras principales (considerando sus longitudes) del Sistema Malbec, las cuales a su vez están integradas por numerosas ramas o estructuras menores (Figura 3.42).

Teresa comprende varias estructuras menores (*Teresa*, *T. este*, *T. norte*, *T. central* y *T. sur*) con rumbos variables ONO-ESE a NO-SE, con buzamientos que van desde los 55° al sur hasta verticales y con una longitud aproximada de 8 km, dividiéndose hacia el noroeste en tres ramas (Figura 3.42). Se encuentra alojada principalmente en las ignimbritas riolíticas superiores y en menor medida en las ignimbritas litoclásticas (Anexo I), y se caracteriza por desarrollar importantes crestones silicificados de hasta tres metros de ancho y dos metros de alto (Figuras 3.43-A y 3.43-B).

Por otra parte, *Alejandra* está conformada por una estructura principal que corre a lo largo de 700 m, con un rumbo NO-SE, y que se caracteriza por estar intensamente tectonizada y con abundantes óxidos e hidróxidos de Fe (Figura 3.44-A). Además, se observó también una rama cruzada en rumbo respecto a la dirección principal NO-SE, presentando un rumbo N50° y buzando 55° al SE, siendo la única que presenta esta dirección en todo el Sistema Malbec (Figura 3.44-B).

Ángela está caracterizada por crestones de rumbo NO-SE (Figura 3.45-A) alojados en el complejo dacítico y con longitudes cercanas a los 1,5 km, los cuales van perdiendo

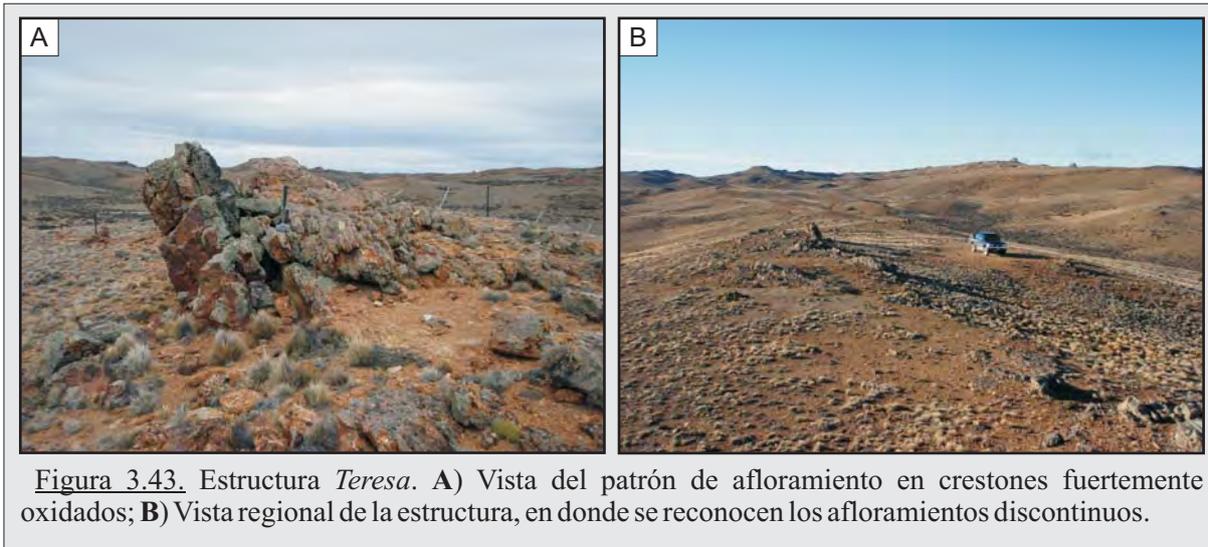


Figura 3.43. Estructura *Teresa*. A) Vista del patrón de afloramiento en crestones fuertemente oxidados; B) Vista regional de la estructura, en donde se reconocen los afloramientos discontinuos.

representatividad hacia el este en finas vetillas no mayores a 1 cm.

Finalmente, *Leonor* se encuentra alojada en las ignimbritas litoclásticas y se desarrolla a lo largo de 850 m en dos ramas de rumbo ONO-ESE (Figura 3.45-B), con su extremo occidental caracterizado por la abundancia de bloques de cuarzo blanquecinos que van disminuyendo hacia el este, dando paso a vetillas de cuarzo con minerales secundarios de Cu.

En estas cuatro estructuras principales el patrón de afloramientos es discontinuo, con crestones de geometrías lenticulares a sigmoidales que resaltan en el campo por su fuerte oxidación que le otorga tonos ocres y rojizos (Figuras 3.43 y 3.44). Estas estructuras están formadas principalmente por una potente brecha silíceo con intenso diseminado fino de sulfuros (se reconocieron mayormente pirita y galena) que le da un aspecto gris oscuro a negro y abundantes óxidos de Cu, Fe y Pb (Figuras 3.46-A y 3.46-B), y en menor proporción por vetillas de cuarzo sacaroides con espesores variables, llegando hasta los 10 cm, con texturas primarias bandeadas fina y en peine que se densifican hasta generar una textura tipo “*vein breccia*”, junto con texturas de reemplazo de calcita laminar (*bladed calcite*), y finas vetillas milimétricas de sílice ferruginosa oscura (Figuras 3.46-C y 3.46-D).

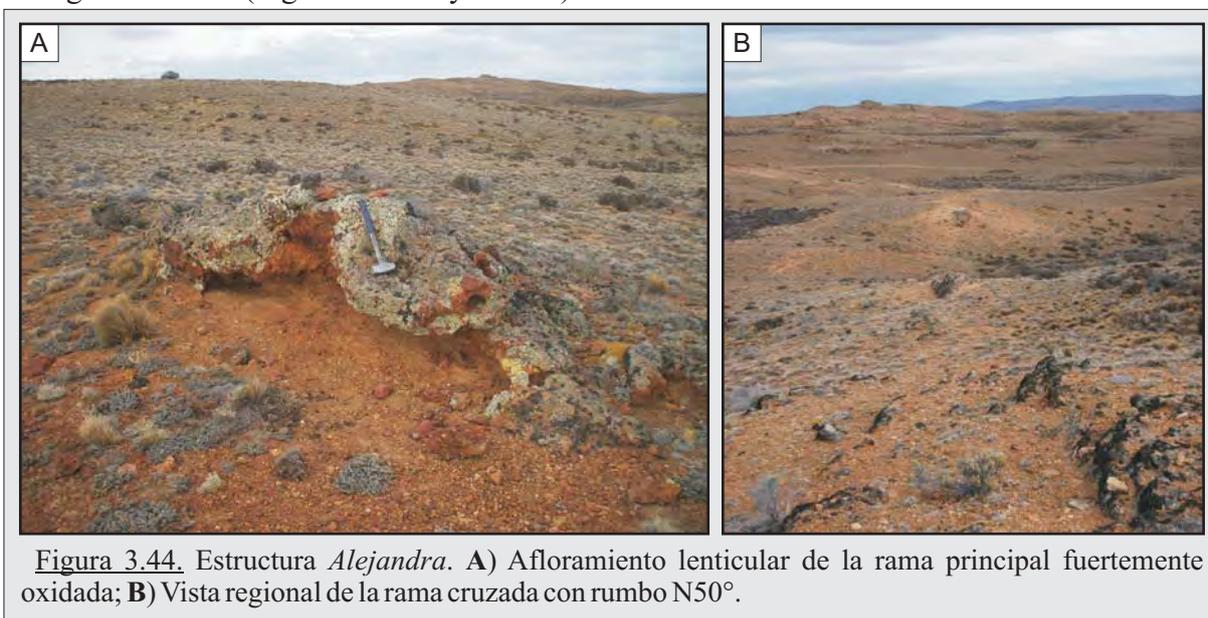


Figura 3.44. Estructura *Alejandra*. A) Afloramiento lenticular de la rama principal fuertemente oxidada; B) Vista regional de la rama cruzada con rumbo N50°.

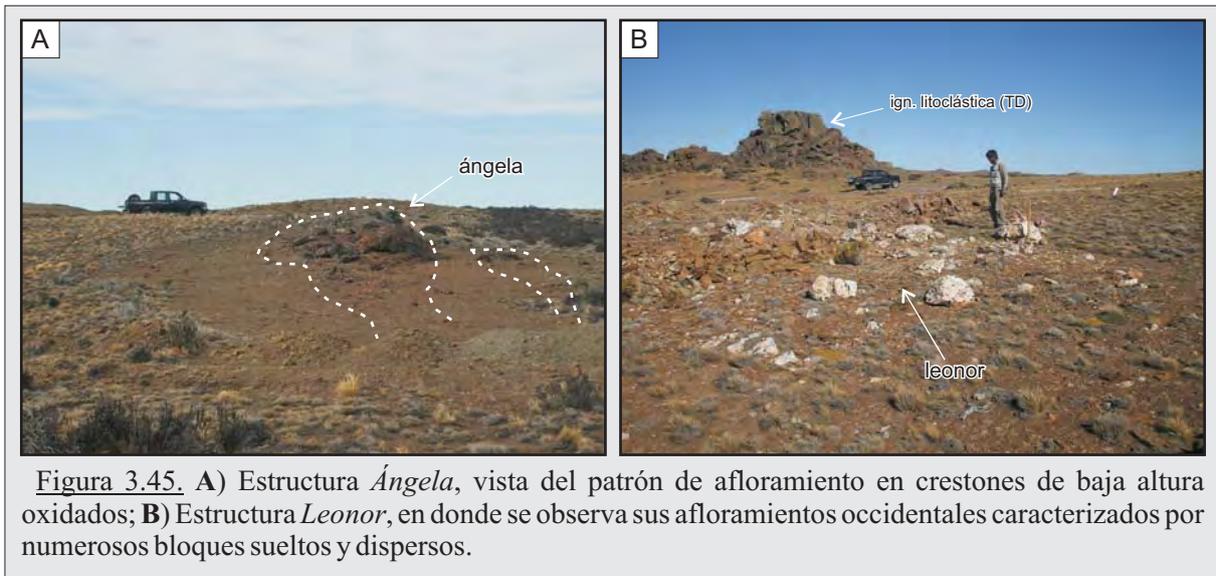


Figura 3.45. A) Estructura *Ángela*, vista del patrón de afloramiento en crestones de baja altura oxidados; B) Estructura *Leonor*, en donde se observa sus afloramientos occidentales caracterizados por numerosos bloques sueltos y dispersos.

Finalmente, se identificó un evento tectónico posterior a la generación de las estructuras, dando como resultado una brecha tectónica con una intensa oxidación de la matriz (Figuras 3.46-E y 3.46-F).

Área Tesoro

Este sector no presenta buenos afloramientos y tiene una escasa representación en superficie, con asomos no mayores a los 10 m. Además, presenta una importante disturbación de sus afloramientos por los laboreos realizados por la empresa Coeur Argentina (trincheras y planchadas de perforación).

Estas condiciones no permitieron definir su rumbo o patrón de afloramientos (Figura 3.42), pero se observó en las dos trincheras existentes la presencia de brechas hidrotermales con abundantes minerales secundarios de Cu, y vetillas de cuarzo con texturas en peine, bandeadas y en cucardas (Figuras 3.47-A y 3.47-B).

Algo que caracteriza a la roca de caja es que posee una fuerte alteración (corresponde a ignimbritas litoclásticas con una intensa oxidación y argilización), la cual está restringida a las inmediaciones de la estructura.

Áreas Sinter y Beatriz

Estas dos áreas (Figura 3.42) presentan depósitos de características particulares y muy bien preservados, pertenecientes a un ambiente geotermal fósil de tipo *hot spring*. Dado el volumen y la importancia que estos depósitos tienen en el marco geológico-metalogénico regional para el Distrito, en el punto 3.4 se describirán en detalles las diferentes facies y estructuras asociadas.

El área *Sinter* fue denominada así por la empresa Coeur Argentina en sus campañas exploratorias regionales, y a pesar de no corresponder a un depósito de este tipo, se consideró apropiado preservar el nombre original para facilitar su localización.

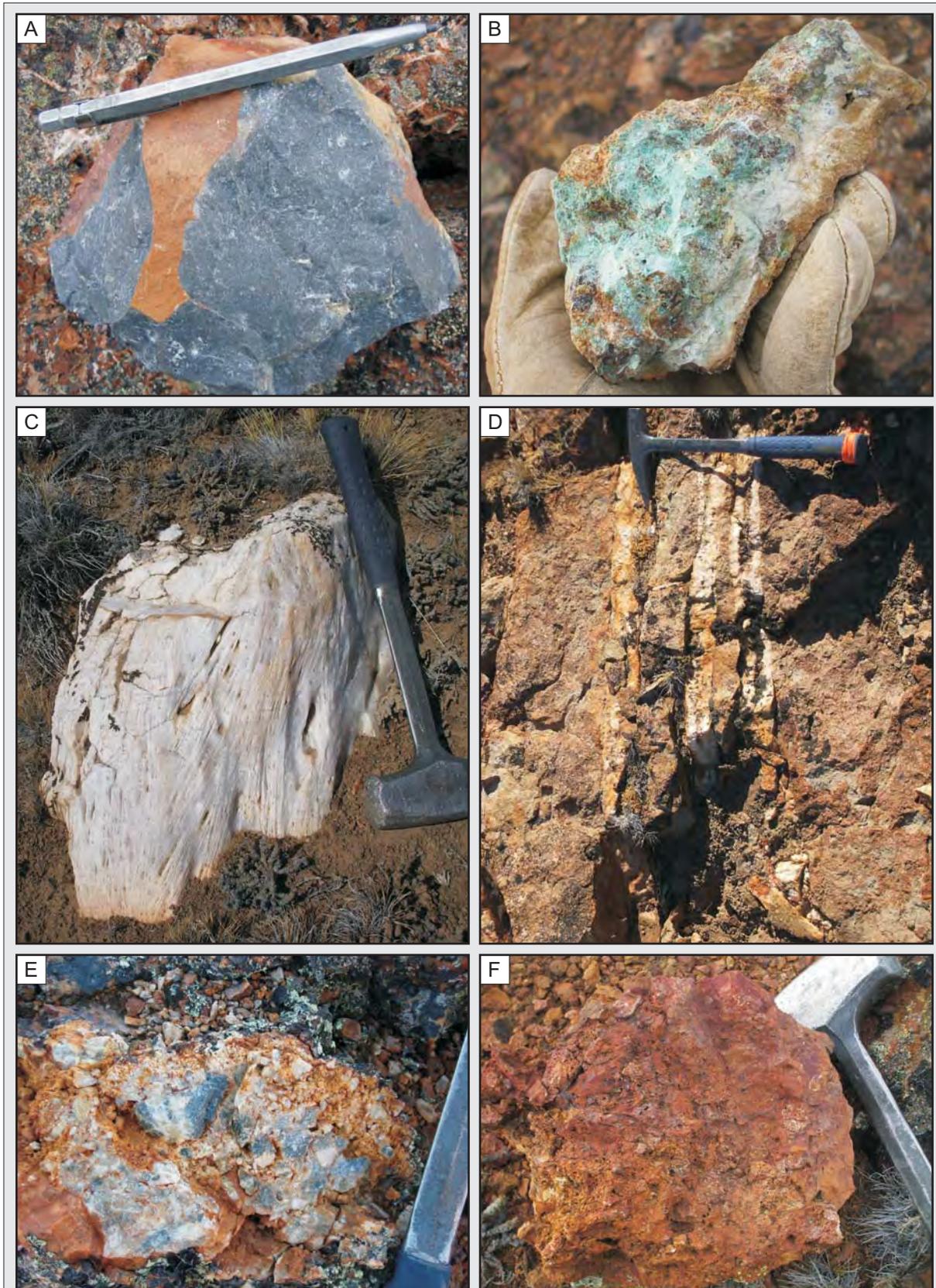


Figura 3.46. Tren Teresa-Alejandra-Angela-Leonor. **A)** Vista en muestra de mano de la estructura Teresa con un intenso diseminado de sulfuros; **B)** Detalle de la misma estructura alterada y con abundante óxidos de Cu; **C)** Bloques con texturas de reemplazo de calcita laminar presentes en la estructura Leonor; **D)** Vetillas de cuarzo con texturas bandeadas y en peine (estructura Leonor); **E)** Detalle en la estructura Teresa de las brechas tectónicas con clastos de la veta con un diseminado rico en sulfuros; **F)** Vista de la brecha tectónica de la foto anterior con una intensa alteración.



Figura 3.47. Área *Tesoro*. A) Trincheras en donde se observa una fuerte alteración en la zona de la estructura con abundantes óxidos e hidróxidos de Fe junto a minerales secundarios de Cu; B) Detalle en muestra de mano de la brecha con los minerales secundarios de Fe y Cu.

Los afloramientos de este sector corresponden a depósitos aterrizados formados por la actividad de un sistema hidrotermal que desarrolló un ambiente de *hot spring*, donde se observaron niveles con buena preservación de sus texturas y estructuras primarias de composición carbonática, reconociéndose numerosas facies de brechas, travertinos laminados verticales y horizontales, desarrollando estructuras monticulares, crestas, terrazas, entre otras (Figura 3.48-A).

Por otro lado, en el área *Beatriz* se identificó una estructura lineal curva de aproximadamente 60 m de longitud y no más de 2 m de ancho, con texturas brechadas perteneciente a los canales de salida de fluidos, y depósitos contiguos de terrazas con estructuras mantiformes (Figura 3.48-B). Además, se encontró evidencias de troncos fosilizados en dichas terrazas.

Ambas áreas, que originalmente estaban conformadas por depósitos carbonáticos, fueron en su mayoría afectadas por una silicificación pervasiva que obliteró la mayor parte de sus texturas originales, solo preservándose algunos troncos fósiles y sus moldes externos. No obstante, en el área *Beatriz* se pudo reconocer con dificultad vetillas de cuarzo en peine con secundarios de Cu asociados, probablemente vinculadas al pulso silíceo que reemplazó los depósitos carbonáticos.

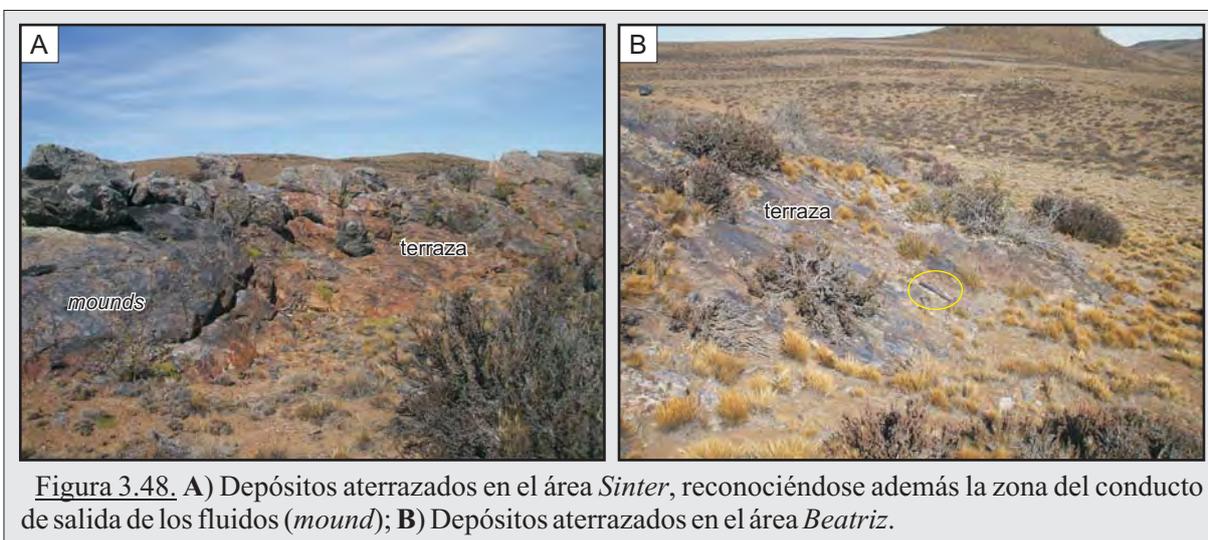


Figura 3.48. A) Depósitos aterrizados en el área *Sinter*, reconociéndose además la zona del conducto de salida de los fluidos (*mound*); B) Depósitos aterrizados en el área *Beatriz*.

Área Alicia

El área *Alicia* es la zona más al norte del Distrito en donde se identificaron estructuras mineralizadas (Figura 3.42), desarrollándose como crestones de baja altura alojados en el complejo dacítico y en los depósitos de tobas y tufitas (Figura 3.49-A).

Esta caracterizada por vetillas de cuarzo cristalino, con textura primarias en peine, cucardas, drusas y en los sectores donde se densifica desarrolla estructuras tipo “*vein breccia*”. Además, se observó la presencia de un cuarzo opalino relleno las cavidades de las texturas en peine.

Este vetilleo es el responsable de una silicificación leve de la roca de caja. Acompañando a estas vetillas se identificaron escasos sulfuros diseminados, principalmente calcopirita, piritita, bornita y minerales secundarios de Cu (Figura 3.49-B).

3.3.3.2. Caracterización de la mineralización

a) Mineralogía y secuencia paragenética.

El Sistema Malbec, a pesar de ser el que mayor cantidad de kilómetros lineales de estructuras posee, presenta una mineralogía sencilla. Se reconoció calcita, adularia y cuarzo como minerales que integran la ganga, mientras que los minerales de mena corresponden casi en su totalidad a sulfuros de metales base, reconociéndose galena, esfalerita, calcopirita, piritita y arsenopiritita.

Además, se identificaron abundantes minerales de alteración supergénica de fases ricas en Fe (hematita-limonitas), Cu (azurita-malaquita) y Pb (siderita-anglesita).

Se identificaron siete pulsos mineralizantes diferentes, y del análisis sobre sus relaciones de corte se confeccionó un modelo paragenético integrado por un pulso inicial carbonático y seis pulsos silíceos (Figura 3.50).

Estos siete pulsos que integran el evento hidrotermal son finalmente afectados por un evento tectónico, dando como resultado una brecha tectónica con una intensa oxidación de la matriz (Figura 3.46).

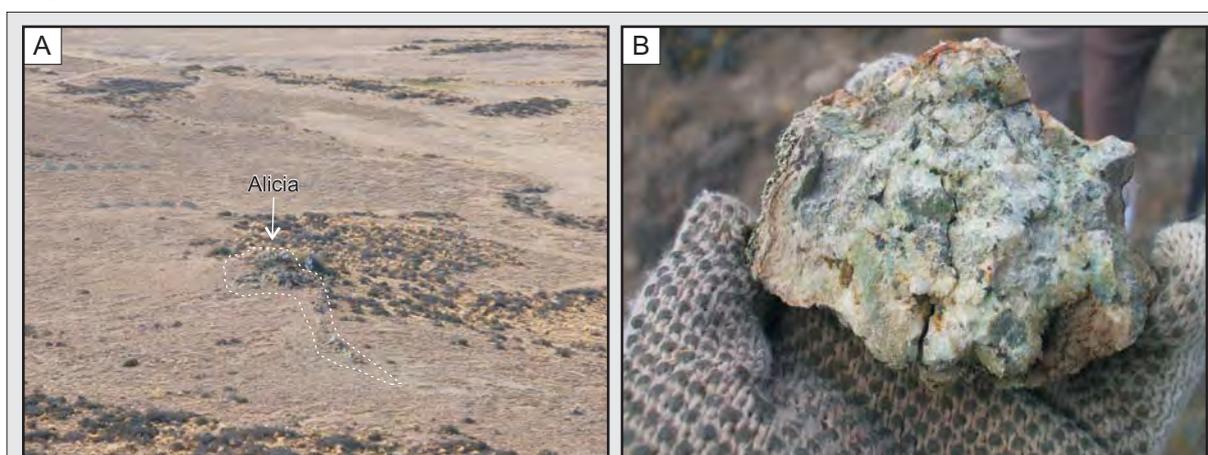


Figura 3.49. Área *Alicia*. **A)** Detalle de los afloramientos de baja altura; **B)** Detalle en muestra de mano de las vetillas de cuarzo con los minerales secundarios de Cu.

A continuación se describirán los siete pulsos en detalle:

Pulso 1 (P1): la secuencia se inicia con un pulso de naturaleza carbonática, el cual depositó calcita con un hábito elongado, desarrollando una textura primaria al microscopio de tipo *carbonate lattice bladed* (Dong et al., 1995). Este pulso se presenta reemplazado por una fuerte silicificación de un pulso posterior, no hallándose individuos con su composición carbonática original (Figuras 3.51-A y 3.51-B).

Pulso 2 (P2): luego de la precipitación del pulso P1 carbonático se suceden 6 pulsos de naturaleza silícea, iniciándose con un pulso rico en cuarzo-adularia que desarrolla vetillas con texturas primarias en peine, bandeados finos y drusiforme, siendo además el responsable del reemplazo silíceo sobre la calcita del pulso previo (Figuras 3.51-A y 3.51-B).

Al microscopio se observó que este mosaico de cuarzo-adularia presenta texturas primarias principalmente, pero también se desarrollan texturas secundarias tanto de recristalización como de reemplazo.

Los cristales de cuarzo se presentan con un hábito subedral de grano grueso, con una textura primaria maciza y texturas de recristalización tipo micro-plumosa o feathery (Dong et al., 1995) (Figura 3.52-A).

Por otro lado, los cristales de adularia se presentan en sus variedades rómbica y sub-rómbica, con un desarrollo eudral y generalmente con un maclado simple (Figura 3.52-A). Asociados a estos cristales de adularia se reconoció un agregado fino de illita-sericita (Figura 3.52-B), que se disponen tanto diseminado por todo el corte como así también como cúmulos o nidos.

Pulso 3 (P3): estos pulsos previos son afectados por un pulso silíceo con un intenso diseminado fino de sulfuros que le dan un aspecto gris oscuro (Figura 3.53). Cuando se observó este pulso al microscopio, se identificó solo a la marcasita como el sulfuro presente, la cual se

Sistema Malbec Diagrama paragenético		PULSOS PRIMARIOS						
		carbonático	silíceo					
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Mena	Marcasita			█				
	Pirita				█	█		
	Calcopirita				█			
	Esfalerita				█			
	Galena				█			
	Covelina				█			
Ganga	Calcita	█						
	Cuarzo		█	█	█	█	█	█
	Adularia		█					

Figura 3.50. Diagrama paragenético del Sistema Malbec, en donde se reconoce claramente al pulso P4 como el responsable de los minerales de mena y al cuarzo como la fase dominante dentro de los minerales de ganga.

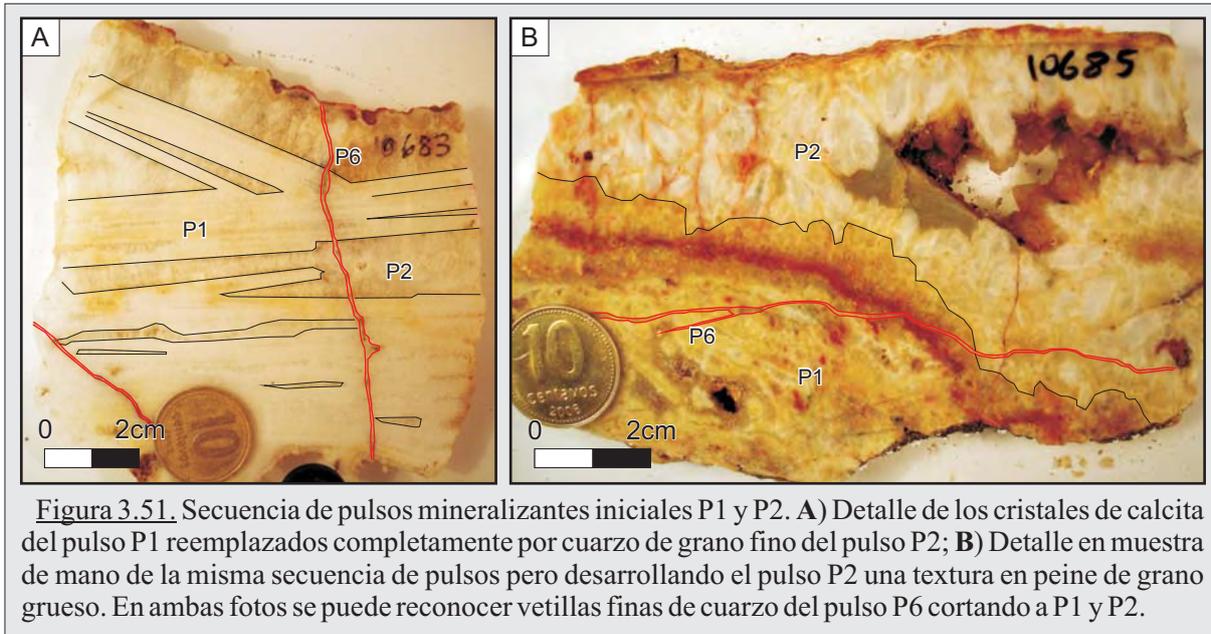


Figura 3.51. Secuencia de pulsos mineralizantes iniciales P1 y P2. **A)** Detalle de los cristales de calcita del pulso P1 reemplazados completamente por cuarzo de grano fino del pulso P2; **B)** Detalle en muestra de mano de la misma secuencia de pulsos pero desarrollando el pulso P2 una textura en peine de grano grueso. En ambas fotos se puede reconocer vetillas finas de cuarzo del pulso P6 cortando a P1 y P2.

presenta como cristales de hábito prismático largo que se agregan formando texturas cumulares (Figura 3.54-A).

Pulso 4 (P4): este pulso es sin dudas el más relevante de la secuencia paragenética, ya que es el responsable de la depositación de los minerales de mena en el Sistema Malbec.

Está conformado por un pulso silíceo rico en sulfuros de metales base (Figura 3.50), que se caracteriza en superficie por presentar vetillas con texturas bandeadas y brechadas en donde dominan los cristales de galena y esfalerita acompañadas por escasa calcopirita (Figuras 3.54-B, 3.55-A, 3.55-B y 3.55-C).

Estas tres fases minerales principales reconocidas en las muestras de superficie fueron identificadas también en las muestras de testigos corona de las perforaciones, y además se reconocieron otros tres minerales: pirita, arsenopirita y covelina, los cuales se presentaban en

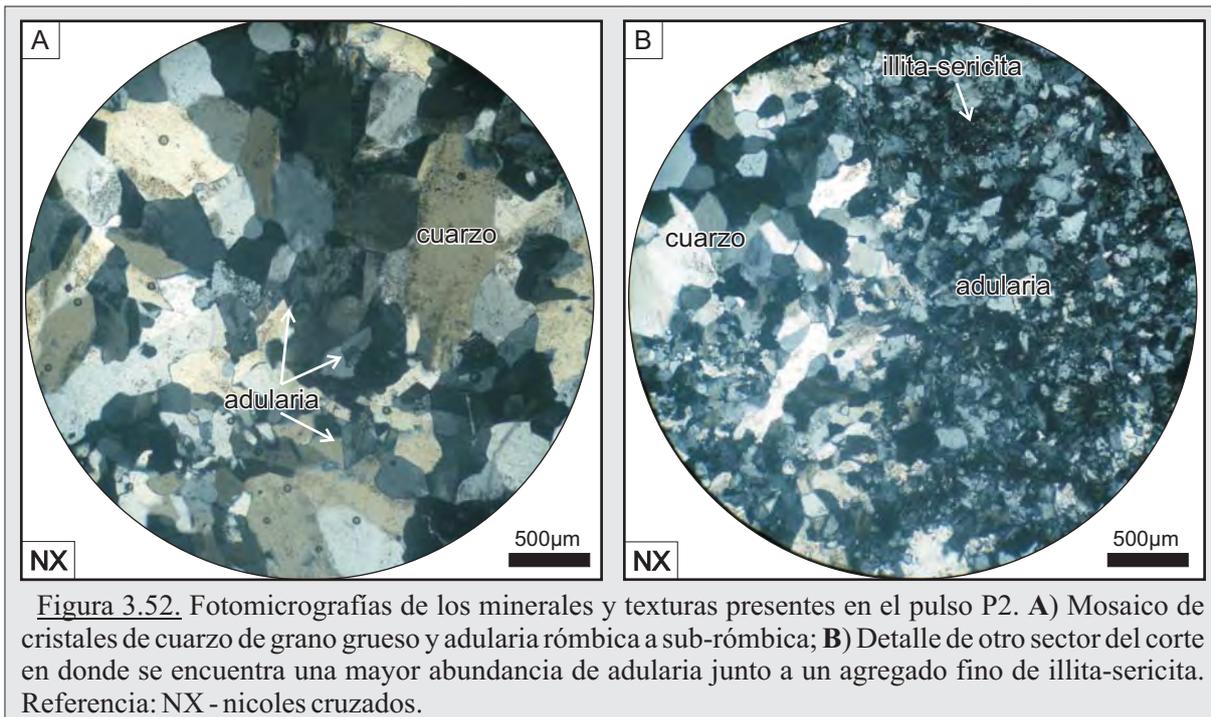


Figura 3.52. Fotomicrografías de los minerales y texturas presentes en el pulso P2. **A)** Mosaico de cristales de cuarzo de grano grueso y adularia rómbica a sub-rómbica; **B)** Detalle de otro sector del corte en donde se encuentra una mayor abundancia de adularia junto a un agregado fino de illita-sericita. Referencia: NX - nicoles cruzados.

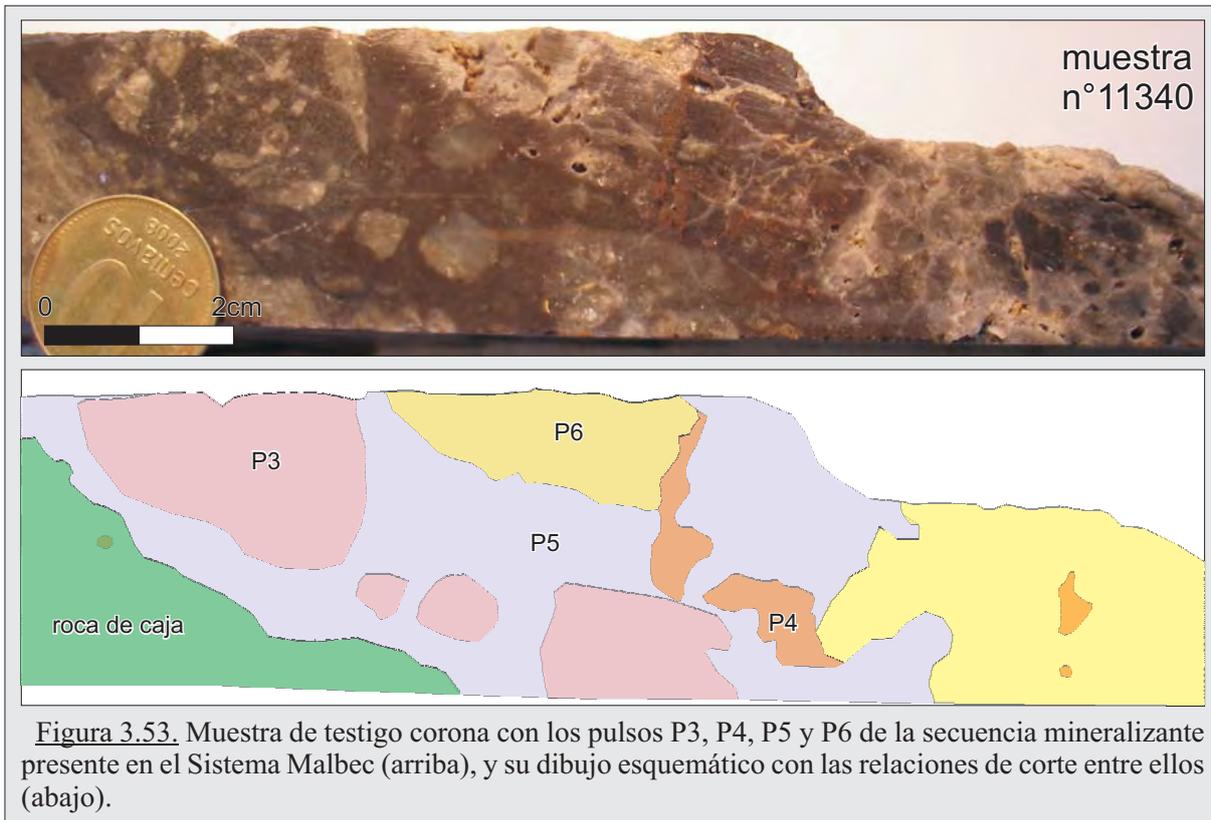


Figura 3.53. Muestra de testigo corona con los pulsos P3, P4, P5 y P6 de la secuencia mineralizante presente en el Sistema Malbec (arriba), y su dibujo esquemático con las relaciones de corte entre ellos (abajo).

muy bajas cantidades.

La galena y la esfalerita se presentan como grandes cristales con un desarrollo eudral y bordes irregulares, no observándose desmezclas de otras fases minerales en ellos, mientras que la calcopirita fue reconocida como agregados con tamaños no mayores a los 100 μm (Figura 3.54-B y 3.56-A).

Por otro lado, a la arsenopirita se la identificó desarrollando cristales tabulares alargados con longitudes cercanas a los 100 μm y la pirita con un hábito subedral a anedral y longitudes

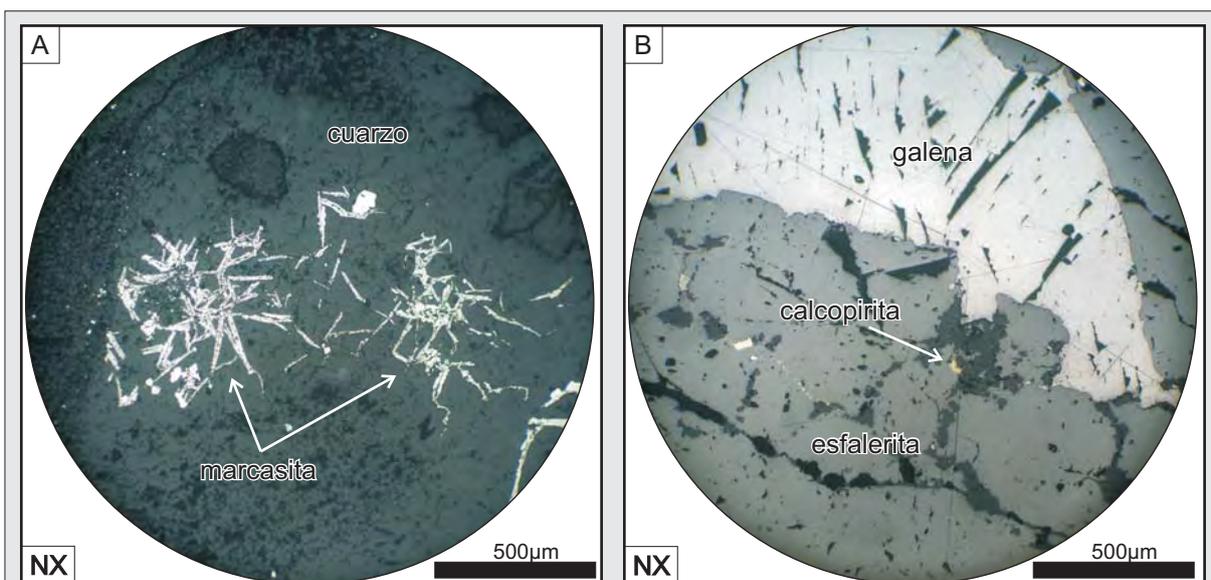


Figura 3.54. Fotomicrografías de los minerales y texturas presentes en el pulso P3 y P4. A) Pulso P3, cristales marcasita de hábito prismático largo; B) Pulso P4, cristales de galena, esfalerita y calcopirita. Referencia: NX - nicoles cruzados.

promedio cercanas a los 200 μm (Figura 3.56-B). Por último, se observaron escasos y pequeños agregados de covelina de color azul intenso.

Pulso 5 (P5): siguiendo en la secuencia, se depositó un pulso de cuarzo con un intenso diseminado fino de sulfuros con una textura brechosa característica, que a muestra de mano no permite diferenciar a que tipo de sulfuro corresponde pero que le otorga un aspecto gris oscuro a negro (Figura 3.53).

Este pulso desarrolla en las muestras de superficie una textura brechosa intensamente oxidada, con abundantes minerales secundarios de Cu, Fe y Pb producto de la alteración del pulso previo (Figura 3.55-C).

Al microscopio se pudo determinar que el sulfuro presente corresponde exclusivamente a un diseminado fino de pirita, la cual se presenta en cristales cúbicos bien desarrollados pero con tamaños pequeños que no superan los 100-120 μm (Figura 3.57).

Pulso 6 (P6): ya en los estadios finales se deposita un pulso silíceo no reconocido en las muestras de superficie y que posee una pobre expresión en las muestras profundas, que desarrolla

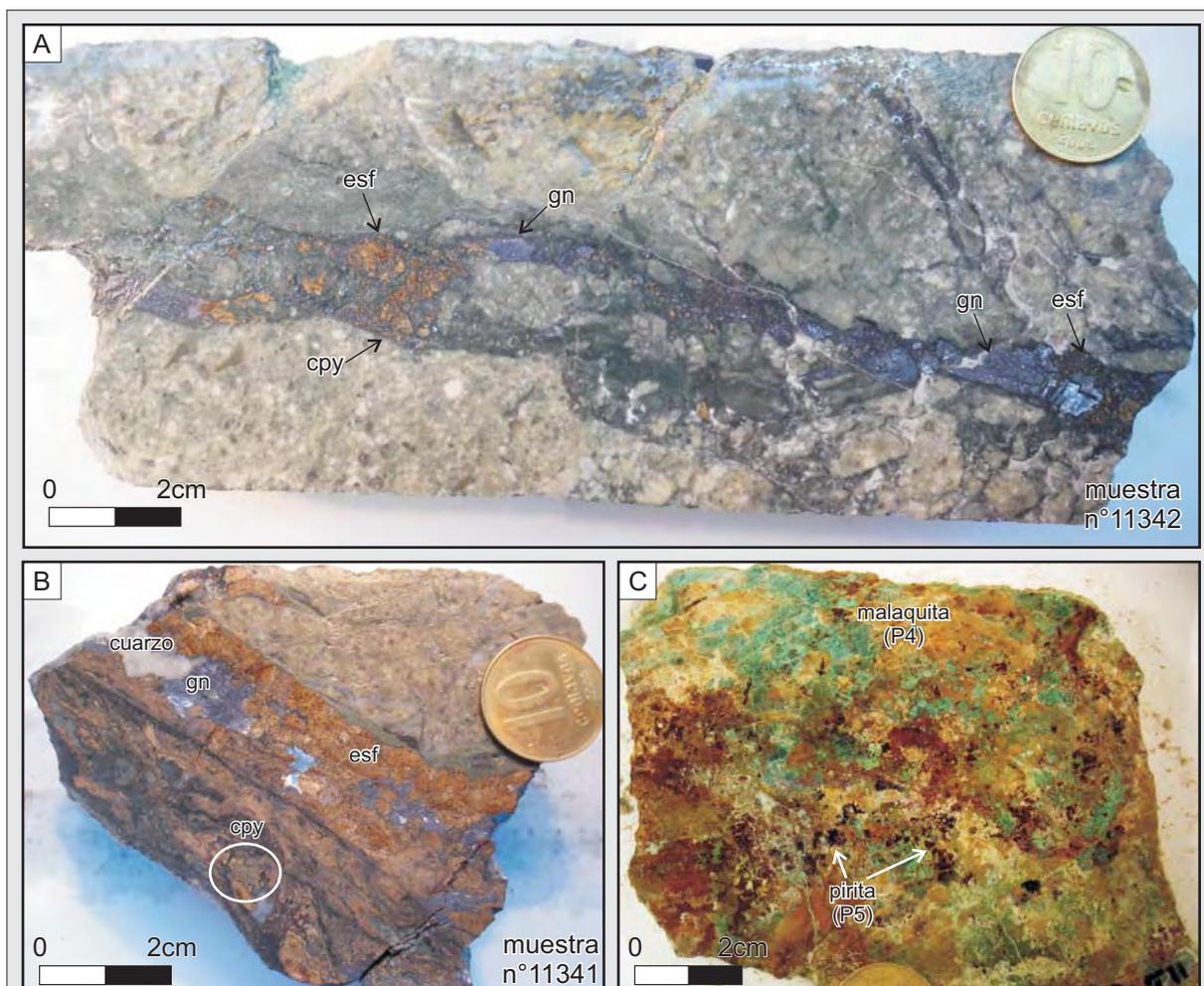
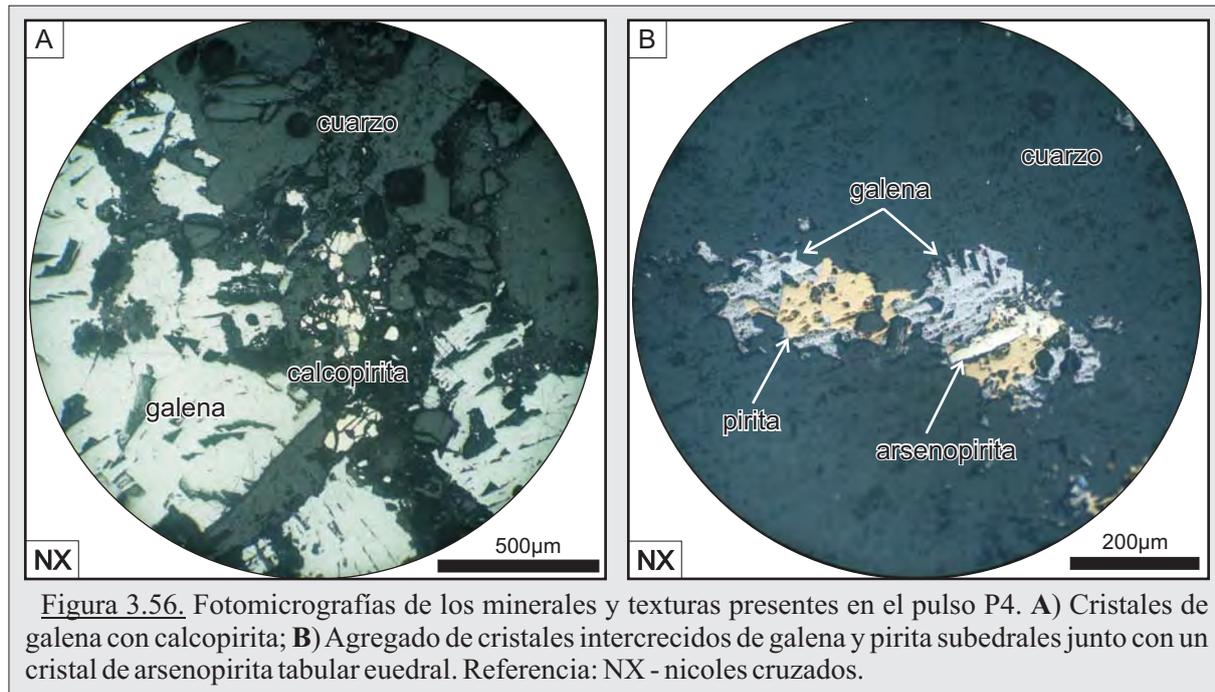


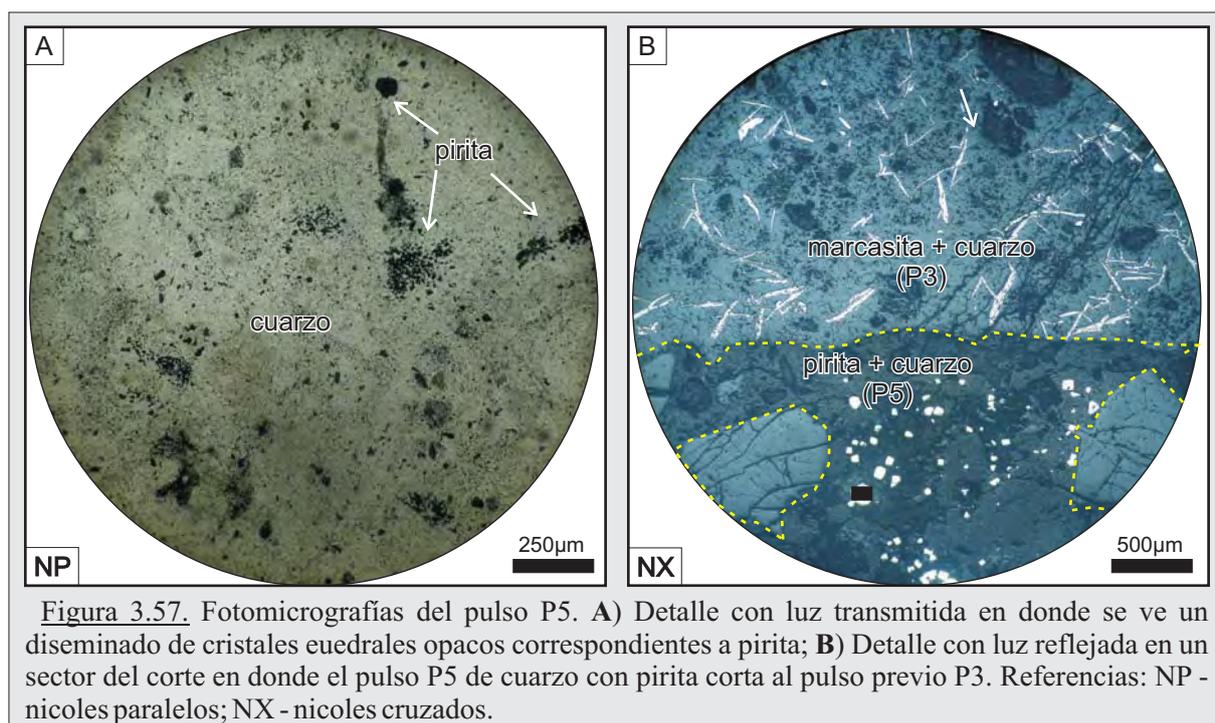
Figura 3.55. Muestras de mano del pulso P4 en la estructura *Teresa*. **A)** Muestra de testigo corona, observándose una vetilla con abundantes sulfuros desarrollando texturas brechosas; **B)** Detalle de una vetilla rica en esfalerita clara, acompañada por galena y calcopirita; **C)** Muestra de superficie, en donde los sulfuros primarios observados en las figuras A y B) se alteraron a minerales secundarios de Fe y Cu. Se reconoce en esta muestra la presencia de un diseminado fino de pirita que corresponde al pulso P5.



brechas y vetillas de cuarzo y que se presenta con un aspecto poroso característico (Figuras 3.53 y 3.58).

Pulso 7 (P7): finalmente, se identificó un último pulso conformado por vetillas compuestas por una sílice ferruginosa castaña oscura que corta a los pulsos antes descritos, y que se presenta con texturas macizas, bandeadas finas y brechosas (Figura 3.58-A y 3.58-B).

De su análisis al microscopio se identificó un intenso diseminado de pequeños cristales cúbicos de hematitas con un tamaño promedio de 10 µm, los cuales se encuentran ordenados en una textura fluidal, reconociéndose con claridad los filetes de flujos generado por este pulso (Figura 3.58-C y 3.58-D).



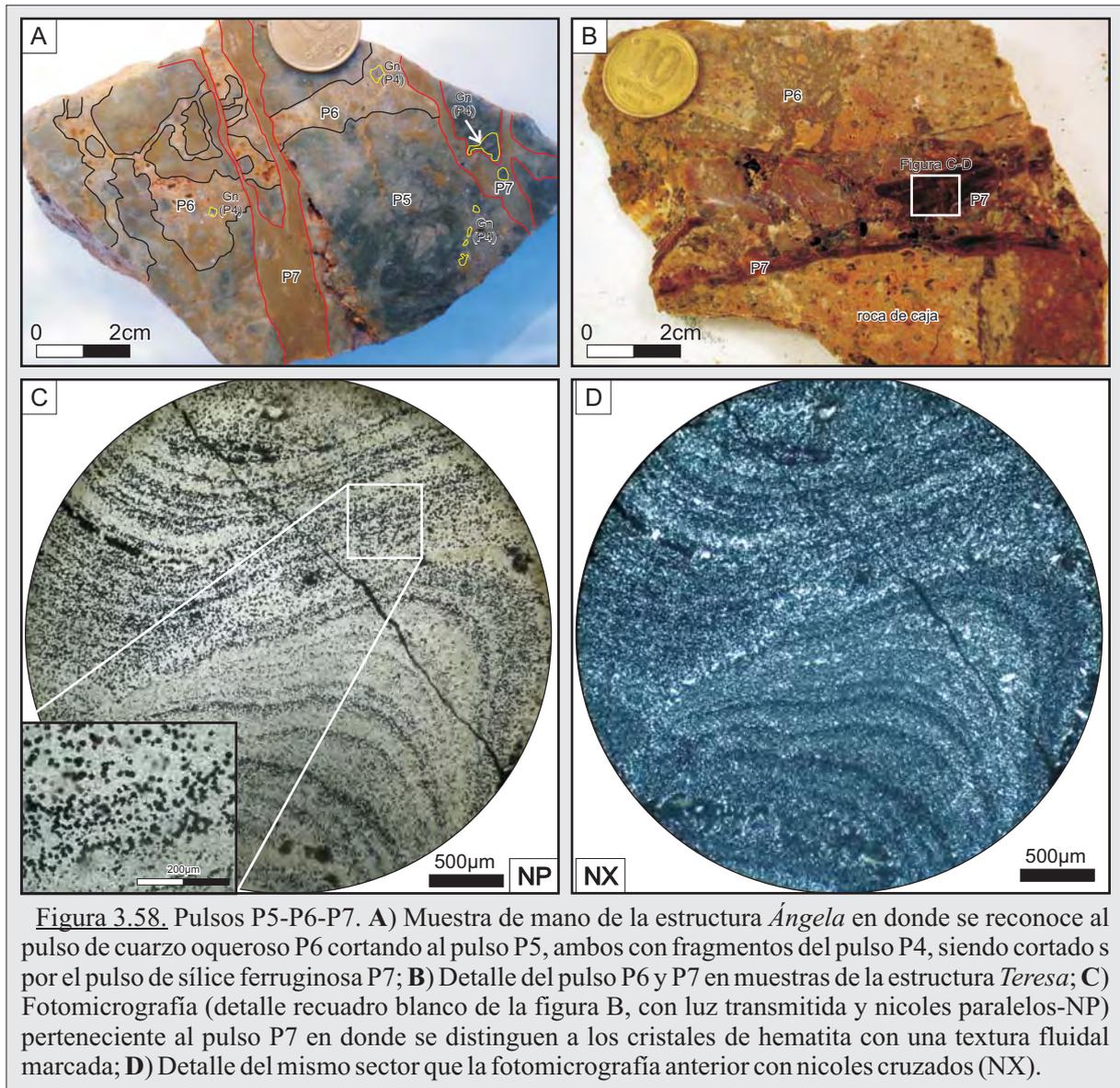


Figura 3.58. Pulsos P5-P6-P7. **A)** Muestra de mano de la estructura *Ángela* en donde se reconoce al pulso de cuarzo oqueroso P6 cortando al pulso P5, ambos con fragmentos del pulso P4, siendo cortado s por el pulso de sílice ferruginosa P7; **B)** Detalle del pulso P6 y P7 en muestras de la estructura *Teresa*; **C)** Fotomicrografía (detalle recuadro blanco de la figura B, con luz transmitida y nicoles paralelos-NP) perteneciente al pulso P7 en donde se distinguen a los cristales de hematita con una textura fluidal marcada; **D)** Detalle del mismo sector que la fotomicrografía anterior con nicoles cruzados (NX).

c) Microtermometría de minerales transparentes y semitransparentes.

En el Sistema Malbec, y siguiendo los criterios termométrico citados al comienzo del capítulo, se estudiaron las inclusiones fluidas primarias (IF) presentes en cristales de cuarzo de tres de los siete pulsos mineralizantes (P2, P4 y P7) y en cristales de esfalerita del pulso P4 (Figuras 3.59-A y 3.59-B).

Se analizaron las IF tomadas de seis muestras, presentando en su mayoría morfologías regulares a irregulares y pocas tubulares (Tabla III), con diámetros promedio entre los 8-10 μm hasta los 20 μm, siendo de naturaleza bifásica (Nash, 1979), en donde la fase vapor ocupa entre el 5% al 40% del volumen total de la inclusión.

Al igual que en sistemas anteriores, no se reconocieron durante las etapas criogénicas evidencias de presencia de CO₂ en la fase vapor de la inclusiones, lo que también indica un contenido de CO₂ inferior al 3,7 % en peso dentro de las inclusiones (Hedenquist y Henley, 1985).

Respecto a las temperaturas de fusión de sólidos (T_s) obtenidas después del congelamiento, se

identificaron dos modas: en los cristales de cuarzo se registraron en torno de los $-24,7$ a $-21,7$ °C (con dos valores extremos del orden de los -42 °C) mientras que en las esfaleritas se registraron valores entre los $-30,2$ a $-38,5$ °C (Tabla III). El primer rango de temperatura corresponde a la del punto eutéctico del medio sal-agua, e indica que corresponde al sistema salino $H_2O-KCl-NaCl$ con una T_e teórica de $-23,5$ °C, mientras que el segundo rango nos estaría indicando un sistema salino $H_2O-MgCl_2-NaCl-FeCl_2$ en donde la T_e teórica está entre los $-33,6$ y los -37 °C (Shepherd *et al.*, 1985; Velazco, 2004).

Cuando se analizó la temperatura de homogeneización (T_h) de las inclusiones bifásicas en fase líquida se reconoció un rango de temperaturas entre los $178,8$ °C y los $277,9$ °C, observándose nuevamente dos modas, una principal entre los $190-240$ °C y una secundaria entre los $260-280$ °C (Figuras 3.59-C y 3.59-D).

Finalmente, se calcularon las temperaturas de fusión final de hielo (T_f) obteniéndose valores entre los $-9,6$ °C y $-0,2$ °C, que corresponden a salinidades del orden de $0,35$ y $13,51\%$ en peso equivalente de NaCl (%wt NaCl), con una moda presente entre los $0,3$ a 4 %wt NaCl y otra moda entre los 7 a 10 %wt NaCl (Figuras 3.59-C y 3.59-E).

Cuando se analizan la evolución del fluido tomando los datos y discriminándolos por pulso, se reconoce que el aumento o descenso de la temperatura del fluido no presenta una correlación directa con los pulsos presentando una distribución homogénea de los datos, mientras que al considerar la salinidad se destaca un importante aumento de la salinidad desde los pulsos iniciales (P2) hacia los pulsos finales (P4 y P6), hecho que se refuerza al poder identificar claramente dos modas en los valores (Figuras 3.59-F y 3.59-G), y que de acuerdo a Wilkinson (2001) se encuadran dentro de procesos propios de los depósitos epitermales en donde pueden ocurrir mezclas isotérmica de dos fluidos hidrotermales (Figuras 3.59-F y 3.59-G).

c) Caracterización geoquímica.

Las estructuras mineralizadas del Sistema Malbec no solo se destacan en el campo por la extensa superficie que abarcan, sino también por una alteración que las hace muy llamativas. Estos factores motivaron una intensa campaña exploratoria llevada a cabo por Coeur Argentina S.R.L. entre los años 2002 y 2008, generando una abundante información sobre el área.

Las primeras actividades exploratorias se realizaron en las estructuras *Teresa*, *Alejandra*, *Leonor*, *Ángela* y en las áreas *Sinter*, *Tesoro* y *Alicia*, consistiendo en un muestreo de esquirlas de las estructuras en superficie (*chip samples*), canaletas, trincheras o zanjas de destape y muestreos de suelos, en donde solo se analizaron las concentraciones de Au y Ag.

En *Teresa* se tomaron 140 muestras de esquirlas de las cuales pocas arrojaron tenues valores anómalos en Au y Ag (con máximos de $0,65$ g/t Au y 96 g/t Ag), mientras que en *Alejandra* se tomaron 102 muestras de esquirlas pero no se reconocieron anomalías de ningún tipo. Por otro lado, no se pudo recuperar de la base de datos información confiable del muestreo de esquirlas en las estructura *Leonor* y *Ángela* por lo que no fue posible realizar un perfil geoquímico de estas

Tabla III - Resultados microtermométricos del sistema Malbec

Pulso	Veta	Muestra	Inclusión	Mineral	Morfología	F	T _e (°C)	T _e (°C)	T _f (°C)	Salinidad (%wt NaCl)	T _h (°C)
P2	Leonnor	10680	P2-1	Cuarzo	irregular	0,9	-53,2	-24,6	-4,9	7,73	-
			P2-5		regular	0,6	-44,2	-	-1,1	1,91	277,9
			P2-3		irregular	-	-	-	-1,9	3,23	263,9
			P2-4		regular	0,7	-48,1	-21,7	-5,8	8,95	244,7
			P2-2		regular	0,7	-47,2	-23,8	-2	3,39	276,8
			P2-6		regular	0,8	-51,6	-	-1,6	2,74	-
		10683	P2-7	Cuarzo	tubular	0,8	-	-	-0,9	1,57	-
			P2-7a		irregular	0,7	-42,1	-22,6	-4,4	7,02	218,4
			P2-8		irregular	0,7	-41,2	-	-1,2	2,07	-
			P2-9		irregular	0,7	-	-	-1,8	3,06	208,3
			P2-10		irregular	0,7	-44,3	-41,9	-5,1	8,00	262,6
			P2-11		irregular	0,7	-45,2	-	-0,2	0,35	255,7
			P2-12		regular	0,6	-35,8	-43,6	-1,8	3,06	198,6
			P2-13		irregular	0,9	-42,6	-33,4	-3,1	5,11	219,7
			P2-14		regular	0,9	-50,9	-	-6,5	9,86	230,6
			P2-15		regular	0,7	-45,2	-	-5	7,86	206
			P2-16		regular	0,7	-43,4	-	-5,1	8,00	249,5
	P2-17	regular	0,7	-51,9	-	-1,9	3,23	222,2			
	Tesoro	10633	Cuarzo	P2-20	regular	0,9	-	-	-	-	194,6
				P2-21	irregular	0,9	-35,8	-22,1	-0,6	1,05	203,6
				P2-21a	irregular	0,9	-34,7	-	-0,8	1,4	202,5
				P2-21b	regular	0,8	-37,9	-	-0,4	0,7	219,3
				P2-22	regular	0,7	-35,8	-28,2	-0,5	0,88	215,3
				P2-22a	regular	0,8	-34,1	-	-0,2	0,35	213,0
				P2-23	irregular	0,8	-38,6	-	-0,2	0,35	234,9
				P2-23a	regular	0,7	-36,5	-29,7	-0,2	0,35	250,6
				P2-24	regular	0,9	-	-28,9	-6	9,21	191,2
				P2-25	regular	0,8	-45,7	-	-1,8	3,06	192,5
P2-25a				regular	0,8	-	-	-	-	188,3	
P2-25b				regular	0,8	-	-	-	-	229,5	
P2-26				irregular	0,8	-45,1	-27,7	-2,1	3,39	222,8	
P2-27				irregular	0,7	-42,3	-	-2,6	4,34	268,5	
P2-28	irregular	0,9	-47,5	-	-3,2	5,26	198,8				
P4	Tesoro	10634	Cuarzo	P2-29	tubular	0,7	-46,2	-38,4	-1,1	1,91	188,8
				P2-30	regular	0,7	-	-	-2,2	3,71	178,8
				P2-31	regular	0,9	-45,9	-	-3,9	6,3	212,9
				P2-32	irregular	0,95	-38,1	-	-1,4	2,41	256,7
				P2-33	regular a tubular	0,7	-43,1	-	-3,7	6,01	255,6
	Teresa	11295	Cuarzo	P4-1	regular	0,9	-49	-	-2,6	4,34	272,9
				P4-2	regular	0,8	-23,4	-	-1,4	2,41	-
		11341	Esfalerita	P4-1	tubular	0,9	-66,9	-30,2	-9,6	13,51	-
				P4-2	tubular	0,8	-54	-	-6,7	10,11	256
				P4-2a	regular	0,9	-51,4	-33,5	-3,9	6,3	217
				P4-3	regular	0,9	-54,5	-38,5	-5,8	8,95	197
				P4-4	regular	0,7	-53,3	-36,7	-4	6,45	202
				P4-5	regular	0,95	-59,8	-35,1	-8,4	12,16	-
				P4-5	regular	0,95	-59,8	-35,1	-8,4	12,16	-
P6	Teresa	11293	Cuarzo	P6-1	regular	0,6	-45,9	-	-5,8	8,95	241,8
				P6-2	irregular	0,9	-	-	-	-	230,1
				P6-3	regular	0,8	-50,9	-24,7	-6	9,21	227,8

Tabla resumen de los principales datos microtermométricos obtenidos para los pulsos P2, P4 y P6 en el sistema Malbec. A diferencia de los dos sistemas anteriormente descritos, en este sistema se pudo ensayar la mena, obteniéndose en los cristales de esfalerita valores de salinidad elevados.

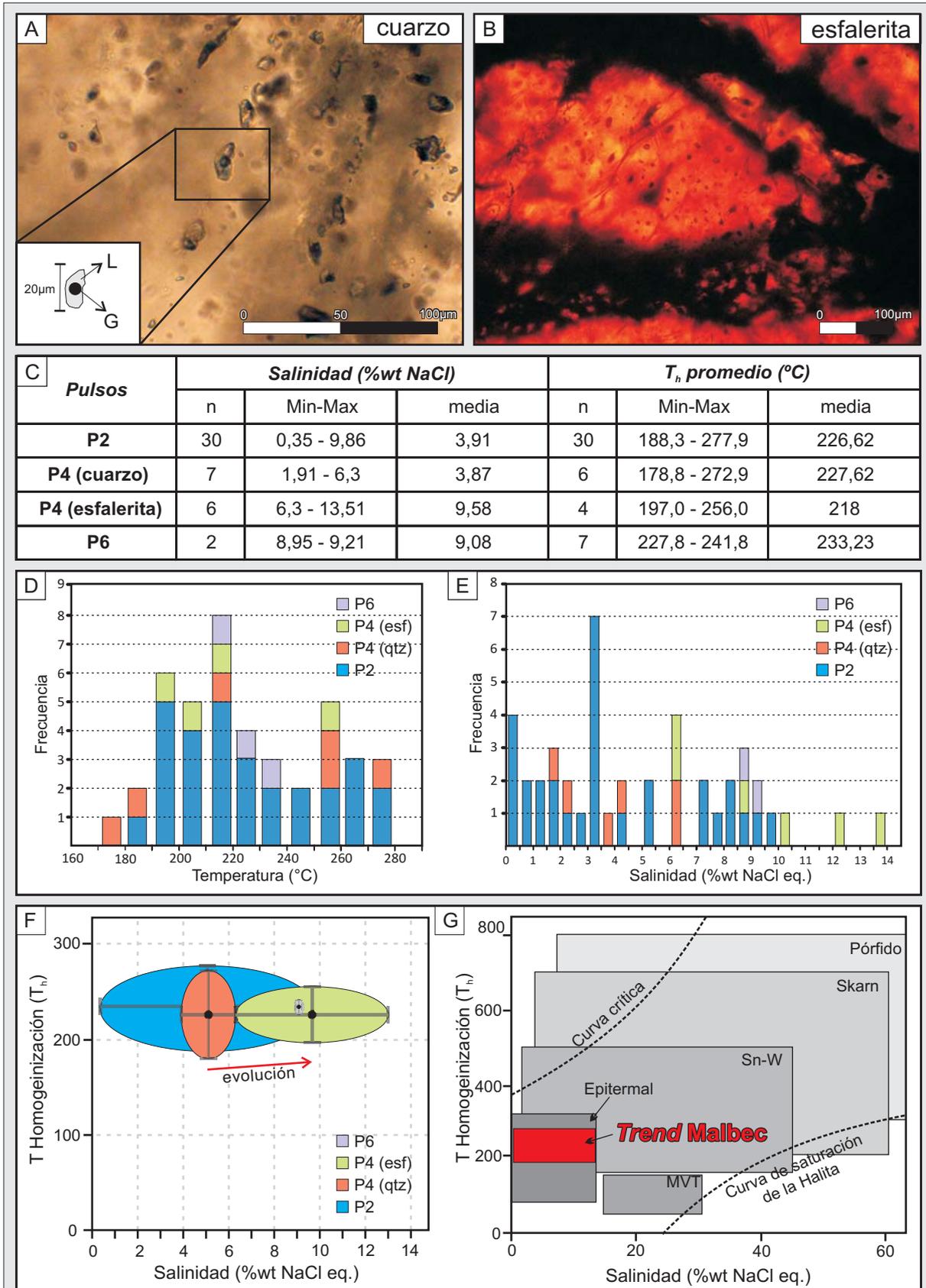


Figura 3.59. Sistema Malbec. A) y B) Fotomicrografías de las inclusiones fluidas presentes en el pulso P4 (en cuarzo y esfalerita respectivamente); C) Gráfico de Frecuencia vs. Temperatura; D) Gráfico de Frecuencia vs. Salinidad; E) Gráfico T_h vs. Salinidad mostrando la evolución desde el P2 al P6 con un leve aumento de la T° y un fuerte aumento en la salinidad del fluido mineralizante; F) Ubicación del Sistema Malbec en el diagrama de Wilkinson (2001) coincidiendo con los rangos de valores propios de los depósitos tipo epitermales.

estructuras en superficie.

Ubicada inmediatamente al norte de estas estructuras se encuentra *Tesoro*, en donde se tomaron 12 muestras de esquirlas, obteniéndose interesantes valores anómalos tanto en metales preciosos como en metales base (Au: 34,2 ppm; Ag: 2688 ppm; Cu: 6,8%; Pb: 15,4%; y Zn: 14,76%).

Para la caracterización del área Sinter se contó con datos de un muestreo de suelo de 257 muestras que no arrojaron anomalías en Au y Ag, y 16 muestras de esquirlas en donde una de ellas dio tenores de 0,25 ppm de Au y 93 ppm de Ag.

Finalmente, en el área Alicia se realizaron múltiples tipos de muestreos que arrojaron buenos valores anómalos, incluyendo 14 muestras de esquirlas con 14,5 ppm de Ag y 0,95% de Cu, 33 muestras de canaletas con un tramo con 1 m con 5,82 ppm de Au y 19 ppm de Ag, y otro tramo con 2,37 m con 1,57 ppm de Au y 17 ppm de Ag. Además, se realizaron 8 trincheras de destape en donde se obtuvieron tramos de 0,3 m con 11,45 ppm de Au y 31 ppm de Ag.

Sobre la base de estos resultados se llevo a cabo un programa de perforación en donde, al igual que en los sistemas Wendy y Argenta, no se realizaron siguiendo una grilla sistemática por estructura y mayormente los pozos fueron de características superficiales (50 a 150 m), lo cual nuevamente no permitió contar con una fuente de información confiable sobre la distribución de los metales y la geometría de las estructuras en profundidad (Figura 3.60 - Tabla V).

En las sucesivas campañas de perforación entre el 2003 al 2008 se realizaron 60 pozos sobre las principales estructuras con un total de 4350 m perforados, obteniéndose en *Teresa*, *Teresa norte*, *Leonor*, *Tesoro*, *Beatriz* y *Alicia* tenores anómalos en Au y Ag con máximos de 6,75 ppm y 1989 ppm respectivamente, mientras que en los metales base se reconocieron anomalías en *Teresa*, *Ángela*, *Leonor* y *Tesoro* con valores máximos de 7,6% en Cu, 47,95% en Zn y 21,04% en Pb (Figuras 3.60 y 3.61 - Tabla V).

Sobre los análisis de las 409 muestras de superficie y las 1225 muestras de testigos corona, y siguiendo con el mismo criterio utilizado en el sistema Argenta, se seleccionaron aquellas que contaban con los datos completos de Au, Ag, Cu, Zn y Pb, siendo finalmente utilizadas 201 muestras para la caracterización del perfil geoquímico del Sistema Malbec.

Se observó que respecto a los valores anómalos de Au y Ag el porcentaje de muestras con valores anómalos está en el rango de 18% a 39% respecto al total de datos considerados, con relaciones Ag/Au que promedian los 376,5:1 con máximos que alcanzan los 8770:1 (Figura 3.62), mientras que el porcentaje de muestras con anomalías en metales base aumenta hasta el 60%, marcando una clara tendencia del dominio de las menas ricas en metales base vs. las ricas en metales nobles.

Finalmente, con los datos de Au-Ag y Cu-Zn-Pb de estas muestras se analizaron las relaciones entre los metales preciosos y los metales base, y se observó una clara tendencia a un mayor contenido de Pb-Zn respecto a Au-Ag, lo cual nos permite clasificar al sistema de vetas del Sistema Malbec como un depósito rico en metales base o Zn-Pb-Ag (Figura 3.62).

Tabla V. Resumen de las estructuras del Sistema *Malbec* perforadas entre el 2002 y 2008.

<i>Estructura</i>	<i>Total de pozos</i>	<i>Profundidad alcanzada</i>	<i>Mejores valores (intersección@Au/Ag en ppm)</i>
<i>Alejandra</i>	2 (2008)	Intermedia (~90 - 150 m)	sin anomalías
<i>Teresa</i>	8 (2003)	Intermedia (~50 - 120 m)	0,5 m @ 3/23
	1 (2008)	Profundo (~200 m)	0,5 m @ 2,4/17
<i>Teresa este</i>	3 (2008)	Intermedia (~50 - 140 m)	sin anomalías
<i>Teresa norte</i>	2 (2003)	Superficial (~60 - 90 m)	sin anomalías
<i>Ángela</i>	2 (2003)	Superficial (~50 m)	sin anomalías
<i>Leonor</i>	8 (2003)	Superficial (~50 m)	2 m @ 1,4/42,5
	1 (2008)	Profundo (~250 m)	0,5 m @ 3,25/107
<i>Tesoro</i>	26 (2003)	Superficial (~50 - 90 m)	23 m @ 1,2/441,8 2,5 m @ 0,3/1487
<i>Beatriz</i>	3 (2003)	Superficial (~30 m)	0,5 m @ 2,9/23
<i>Alicia</i>	4 (2005)	Intermedia (~150 m)	0,3 m @ 0,65/587

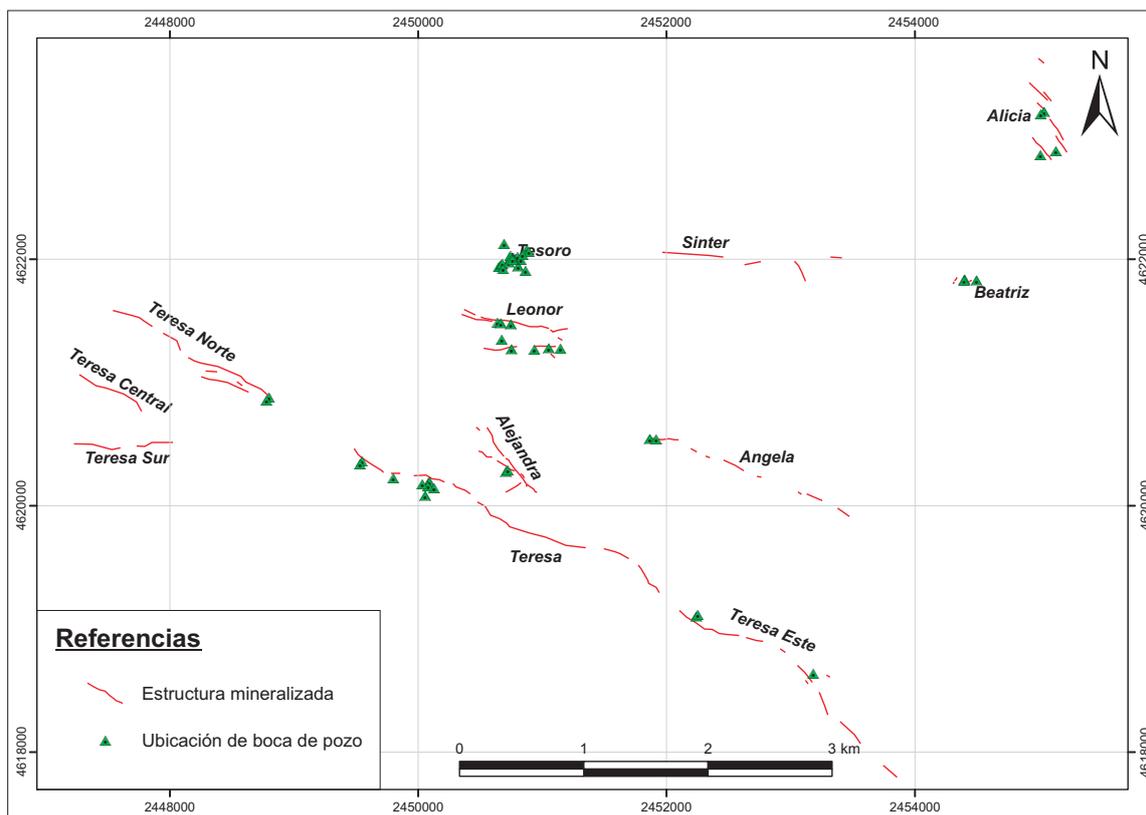


Figura 3.60. Mapa de ubicación de las estructuras mineralizadas del Sistema Malbec con la localización de los pozos perforados en el período 2002-2008. En la tabla V se detallan el total de pozos realizados, su profundidad y los valores anómalos hallados.

d) Marco estructural: indicadores cinemáticos.

Al igual que en los Sistemas Wendy y Argenta, se han encontrado muy pocos indicadores cinemáticos bien preservados en las estructuras del Sistema Malbec.

El Sistema Malbec posee sus estructuras mineralizadas orientadas principalmente en dos

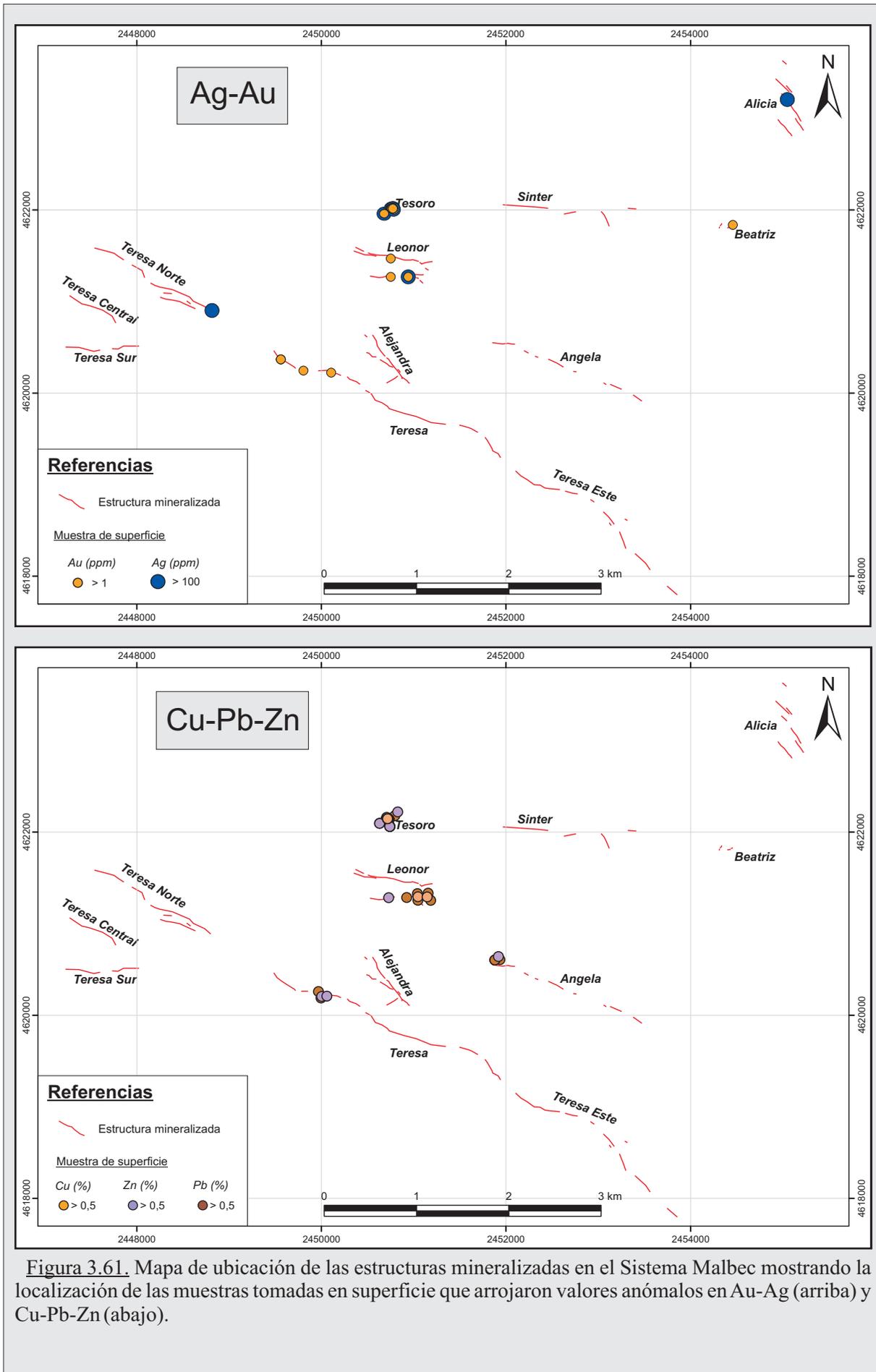
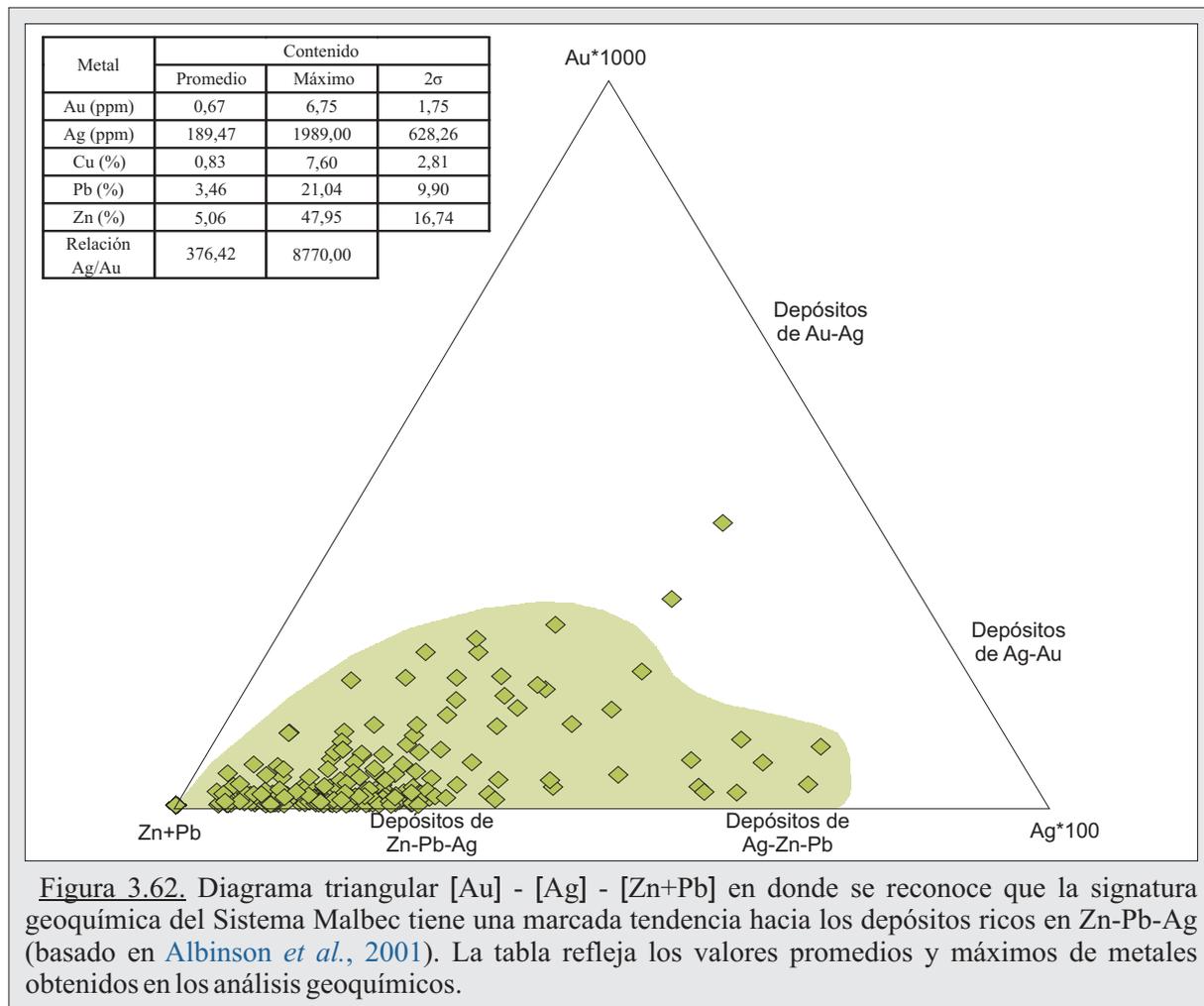


Figura 3.61. Mapa de ubicación de las estructuras mineralizadas en el Sistema Malbec mostrando la localización de las muestras tomadas en superficie que arrojaron valores anómalos en Au-Ag (arriba) y Cu-Pb-Zn (abajo).



direcciones: NO-SE y ONO-ESE a E-O (Figura 3.63-A) desarrollando en ambas direcciones afloramientos discontinuos de geometría lenticulares que son, a escala de afloramientos, el reflejo de estructuras fractales reconocidas a escala regional como importantes rasgos lineales (zonas de fallas, lineamientos, etc.).

Lo que no fue posible realizar en las estructuras de este sistema es una agrupación a partir de las geometrías o los estilos de afloramientos, como patrón para estimar la relación con las direcciones del campo de esfuerzo, ya que en todas ellas se reconocieron lentes sigmoidales tanto a escala de afloramiento como en las vetillas (Figura 3.63-B). Tampoco se pudo considerar a sus texturas primarias como indicadores sobre el grado de apertura, debido a que fueron reconocidas tanto las texturas brechadas como los bandeados indistintamente en todas las estructuras.

No obstante, se observó que las estructuras a escala de afloramiento desarrollan crestos de 2 a 3 m de potencia y de baja altura a sub-aflorantes, con geometrías lenticulares que se corresponden con sigmoides de cinemática dextral.

En líneas generales, se reconoció a las estructuras emplazadas en zonas de fallas normales, con el desarrollo en ambos flancos de potentes zonas de cizallas en donde se identificaron planos de cizallas con estrías sub-horizontales (Figura 3.63-C), mientras que en la caja alta (“*hanging wall*”) concentra un intenso vetilleo de cuarzo (Figura 3.63-D).

Finalmente, se interpretó a las estructuras de transferencias reconocidas desde la escala

distrital hasta la escala de afloramiento, como el reflejo de un régimen estructural de tipo transtensivo en donde el sistema principal NO-SE aloja las direcciones de mayor extensión o apertura, mientras que en la dirección E-O está ubicada la dirección con mayor componente de rumbo, todo esto en el marco de un régimen cinemático normal-dextral (Figura 3.63-A).

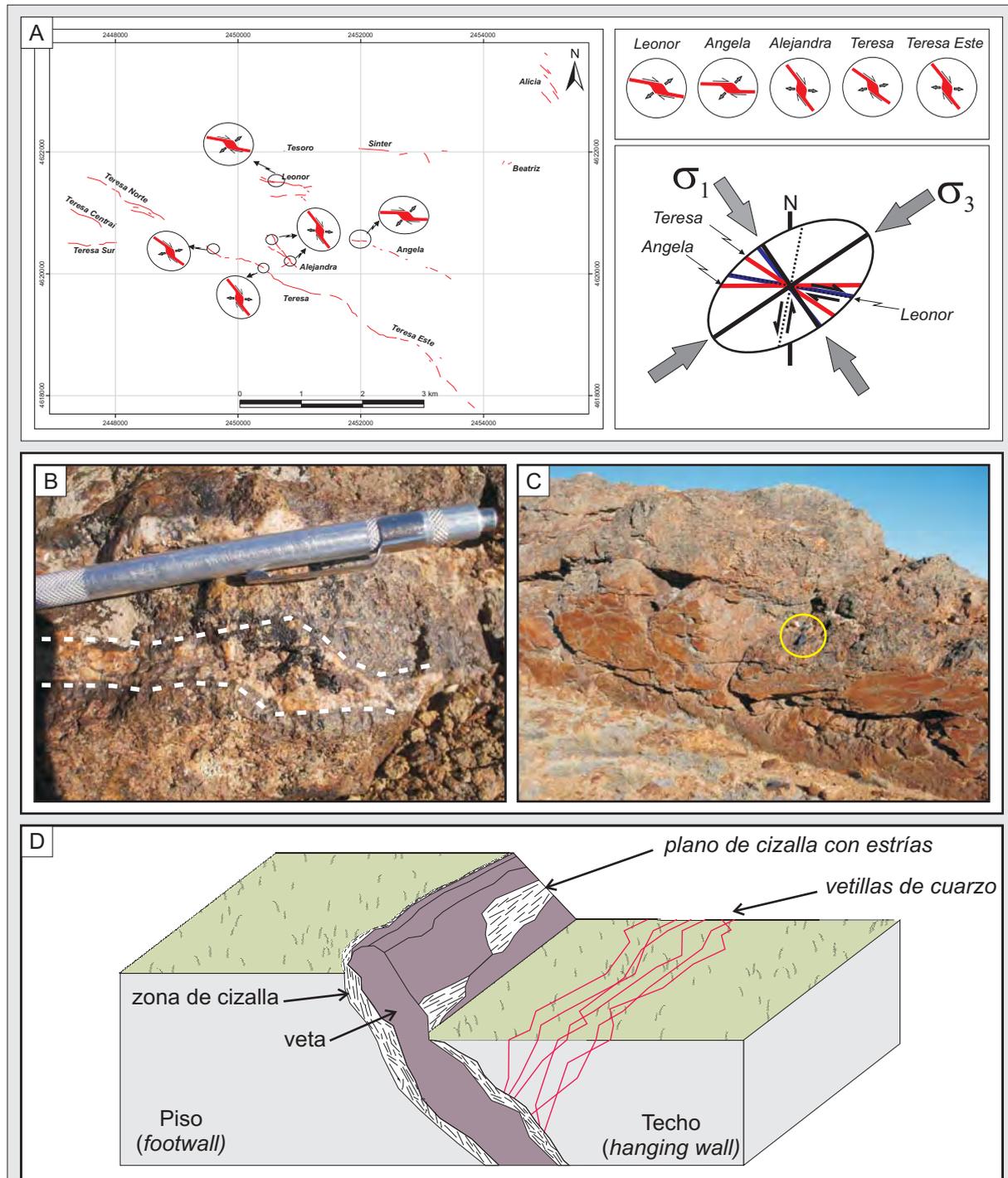


Figura 3.63. Sistema Malbec. **A)** Mapa de las estructuras mineralizadas con la ubicación de los indicadores cinemáticos reconocidos en el campo y el diagrama de esfuerzos correspondiente; **B)** Detalle de una vetilla de cuarzo en Leonor, desarrollando una estructura sigmoideal dextral; **C)** Vista de un crestón lenticular en donde en una de sus paredes se reconoce una zona de fricción o espejo de falla con estrías sub-horizontales; **D)** Figura esquemática mostrando el estilo de emplazamiento de las estructuras en zonas de fallas, con el desarrollo de zonas de cizallas en sus flancos y vetillas de cuarzo sub-paralelas a la estructura principal alojadas en el techo.

3.4. Depósitos de hot spring

3.4.1. Generalidades de los depósitos de hot spring. Antecedentes en el Macizo del Deseado.

Los depósitos geotermales o *hot spring* son ambientes sumamente interesantes por varios motivos, como el de poseer un gran potencial energético cuando están activos, además de ser reflejo en superficie de un sistema epitermal en profundidad y por representar condiciones similares a las que habrían originado la vida en la Tierra (Sillitoe, 1993; Farmer, 2000; Guido y Campbell, 2011). Comprenden un conjunto de rocas de composición silíceas (sinter) o carbonáticas (travertino) que se forman por precipitación química a partir de fluidos hidrotermales que llegan a superficie, y cuyos ejemplos actuales y activos más importantes se encuentran en los campos geotermales de Yellowstone en Estados Unidos y Taupo en Nueva Zelanda (Houghton *et al.*, 1995).

La provincia geológica Macizo del Deseado posee un buen registro de depósitos de ambientes de *hot spring* jurásicos, con un excepcional estado de preservación en alguno de ellos, los cuales se localizan en mayor cantidad en el oeste de la provincia, con pocos depósitos en el sector central y oriental, estando además ubicados sobre lineamientos regionales de rumbos ONO-ESE (~N110°) y NNO-SSE (~N160°) (Guido y Campbell, 2011). Estos depósitos representan hasta el momento los únicos ejemplos fósiles del Mesozoico, completando un hueco en el registro geológico entre depósitos paleozoicos de Escocia y Australia y los numerosos ejemplos del Cenozoico (Guido *et al.*, 2010).

En los últimos años, numerosos investigadores han descripto en el ámbito del Macizo diversas manifestaciones de estos depósitos, tanto carbonáticos como silíceos, los cuales fueron compilados y analizados por Guido y Campbell (2011) definiendo 23 sitios con paleoambientes de *hot spring* con un buen grado de preservación.

3.4.2. Distrito Cerro Primero de Abril. Ubicación y distribución espacial de los depósitos de hot spring y caracterización de las facies presentes.

El Distrito se caracteriza por la presencia de numerosos depósitos de *hot spring*, cubriendo una extensa área de más de 130 km² de superficie (Figura 3.64), muchos de los cuales muestran buen grado de preservación de sus texturas y estructuras primarias de composición carbonática (travertinos), silíceas (sinter), estromatolitos, y también reemplazos silíceos de travertinos (jasperoides).

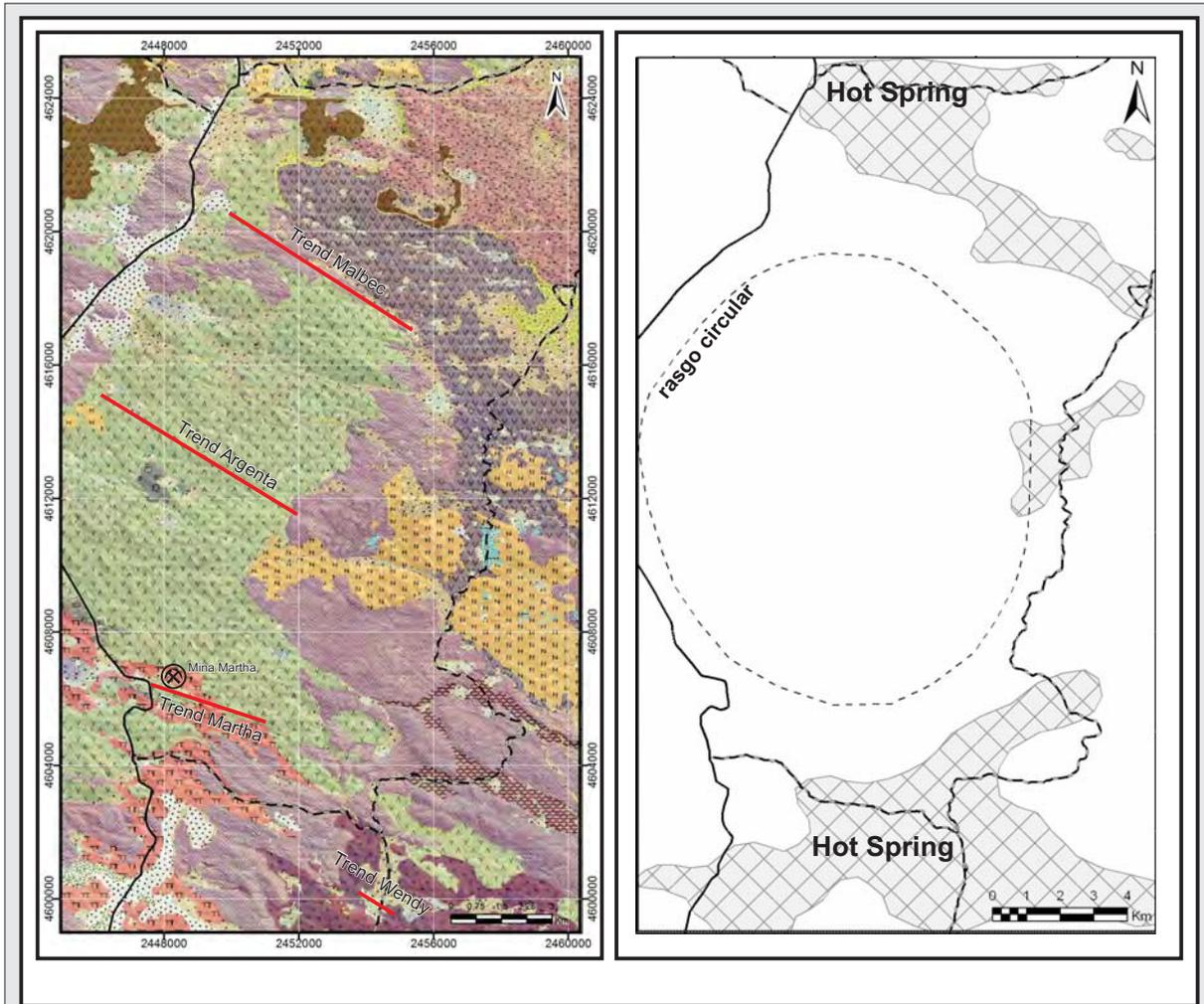
Además, debido a la buena preservación de los afloramientos fue posible realizar una clasificación preliminar en asociaciones de facies controladas por la temperatura, favoreciendo la reconstrucción paleogeográfica del ambiente y de los fluidos hidrotermales intervinientes.

De esta manera, y siguiendo los criterios de Echeveste (2005a y b) y Guido y Campbell (2009 y

2011), se reconocieron cinco facies diferentes (localizadas mayormente en los sectores sur y noreste del Distrito) y generalmente asociadas a los depósitos de tobas y tufitas arenosas de origen fluvio-lacustre portadoras de variados restos fósiles vegetales (Figura 3.64).

Estas cinco facies fueron definidas identificándose las siguientes características:

1) Facies de brechas (FB) y facies de travertinos laminados verticales (FTV): Constituyen afloramientos en general alargados con rumbo NO-SE, aunque también se han podido observar estructuras con aspecto subcircular. Son cuerpos verticales de travertinos finamente laminados (escala milimétrica) y con sectores brechados, o bien cuerpos subverticales de brechas



REFERENCIAS

Planimetría

- Ruta Provincial N° 12
- - - Camino vecinal

Mineralizaciones

- Trends

Litología

- | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Complejo andesítico | Complejo dacítico | Tobas y tufitas | Basaltos Tc |
| Ign. de cristales dacíticas inf. | Ign. de cristales dacíticas sup. | Depósitos de megabrecha | Fm. La Avenida |
| Ign. de cristales riolíticas inf. | Ign. de cristales riolíticas sup. | Fm. Baqueró | Cobertura sedimentaria Qt |
| Ignimbritas líticas | Complejo riolítico | Fm. Monte León | |

Figura 3.64. Mapa de ubicación en donde se puede identificar la relación existente entre los depósitos volcanoclásticos jurásicos, los sistemas mineralizados, los rasgos morfoestructurales y los depósitos de hot spring presentes en el Distrito Cerro Primero de Abril.

carbonáticas parcialmente silicificadas (Figura 3.65-A). Estas facies corresponden a las zonas de conductos o vents, asociaciones de alta temperatura ($>59\text{ }^{\circ}\text{C}$) caracterizadas por estar localizadas en los sectores de salida de los fluidos hidrotermales y poseer baja actividad orgánica asociada (Figura 3.66).

2) Facies de travertinos laminados horizontales (FTH): Estos afloramientos se presentan finamente laminados, con estructuras paralela o en terrazas subhorizontales (Figura 3.65-B). Cuando se presentan asociados espacialmente a las FB/FTV, esta facies genera estructuras de tipo montículo (*mounds*) o cresta (*ridge*) (Figura 3.65-C). Los afloramientos más alejados de las FB/FTV presentan restos fósiles vegetales, troncos y ramas. Estas asociaciones pertenecen a facies de intermedia a baja temperatura (35° a $59\text{ }^{\circ}\text{C}$) caracterizadas por la interacción con el ambiente sedimentario donde se está desarrollando el depósito de *hot spring*. Es común encontrar restos fósiles como troncos o semillas de plantas (Figura 3.66).

3) Facies de estromatolitos carbonáticos (FEC): Se han observados afloramientos de estromatolitos carbonáticos monticulares (*mounds*) con dos morfotipos: Los morfotipos laminares (FEC-L) se encuentran muchas veces asociados espacialmente a las facies de travertinos laminares, poseen tonalidades blanquecinas rosadas con superficies botroidales, observándose en perfil una laminación con capas milimétricas (Figura 3.65-D); por otro lado, los morfotipos columnares (FEC-C) poseen de 3 a 4 cm de diámetro, con un laminación concéntrica fina. De acuerdo a [Guido y Campbell \(2011\)](#) esta facies puede estar localizada tanto en zonas proximales como distales (Figura 3.66).

4) Facies de sinter (FS): depósitos laminados silíceos de colores rojizos, que se presentan en posición subhorizontal. Se identificaron dos fábricas laminares onduladas: **A)** estructuras laminares porosas denominadas “*palisades*” formadas por la actividad de cianobacterias filamentosas localizadas en canales y piletones en zonas distales de baja temperatura ($<35\text{ }^{\circ}\text{C}$); y **B)** estructuras laminares con oquedades ovoidales, reflejando una porosidad primaria creada por la actividad fotosintética microbial, denominada “*almond-shaped vugs*”, las cuales en su mayoría se encuentran rellenas por cuarzo microcristalino de un pulso silíceo posterior, reflejando asociaciones de media temperatura, entre los $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $59\text{ }^{\circ}\text{C}$) ([Guido y Campbell, 2009](#)) (Figuras 3.65-E y 3.66).

5) Facies de jasperioides (FJ): depósitos constituidos por sílice calcedónica de colores blanco, rojo, gris y negro, que ha sido formada por reemplazo de carbonatos). Sus afloramientos conforman estructuras vetiformes y niveles horizontales con texturas masivas, brechadas, laminares y estromatolíticas relícticas (Figuras 3.65-E y 3.66).

Estos depósitos representan evidencias superficiales de ambientes geotermales claramente asociados a las mineralizaciones epitermales, siendo de gran importancia geológica-metalogénica y exploratoria.

Finalmente, cabe resaltar el hecho de que estos depósitos son los más extensos determinados hasta el momento en el Macizo del Deseado, y considerando su tamaño y relación espacio-temporal con el centro volcánico del Distrito Cerro Primero de Abril ([Ruiz et al., 2008b](#)), los

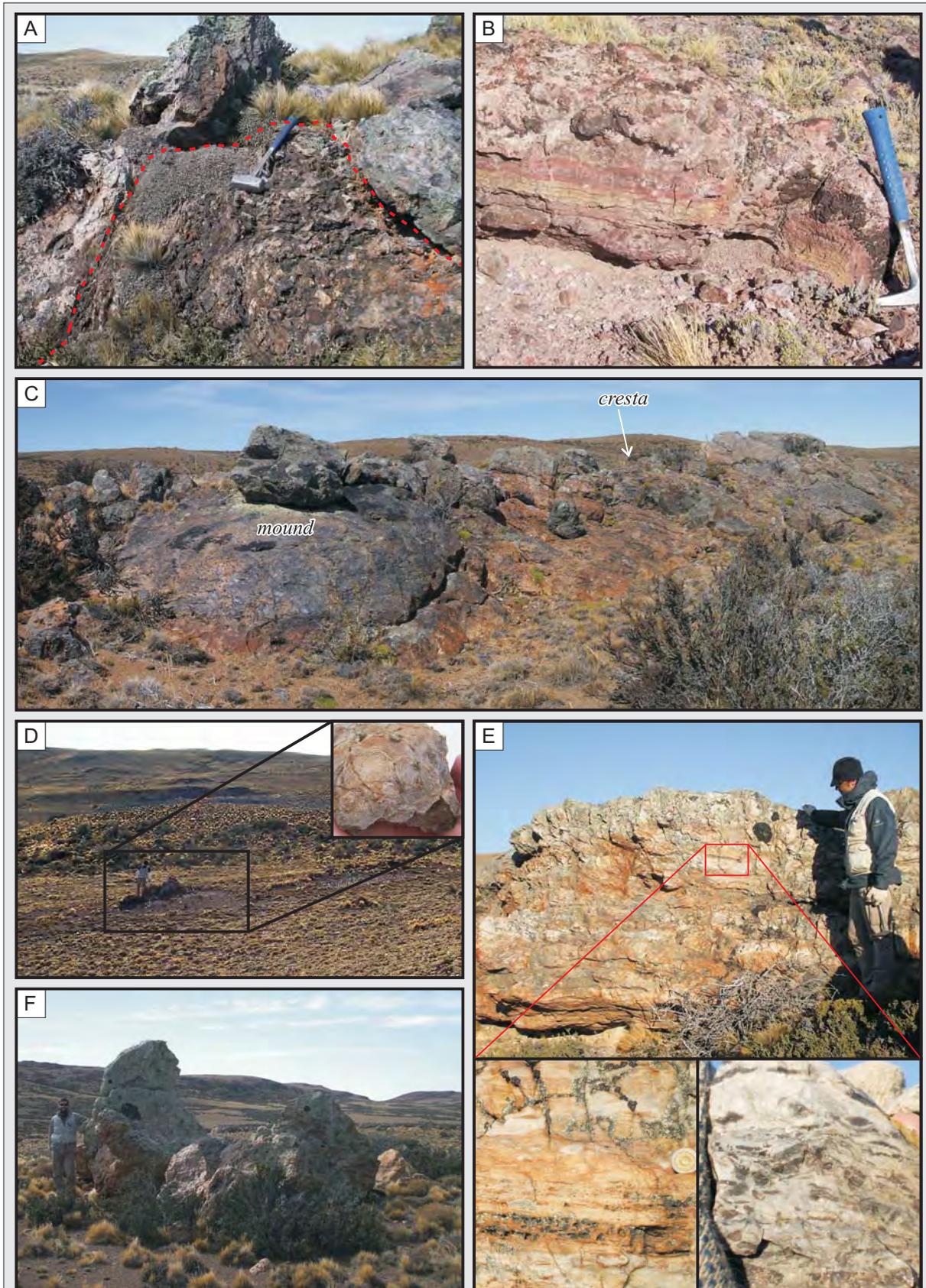


Figura 3.65. Depósitos de *hot spring*. **A)** Afloramiento de la facies de brechas (FB); **B)** Detalle de una facies de travertino laminado (FTH); **C)** Vista regional de un depósito FTH en donde se reconocen las estructuras en montículo y la cresta; **D)** Afloramiento de facies estromatolíticas con una vista en detalle en donde se observa la laminación fina en un morfotipo laminar; **E)** Depósito de *sinter* con vistas en detalle de una estructura laminar de tipo *palisades* con su porosidad característica (izq.) y fabricas laminares de tipo *almond-shaped vugs* (der.); **F)** Afloramiento de un bloque de jasperoide.

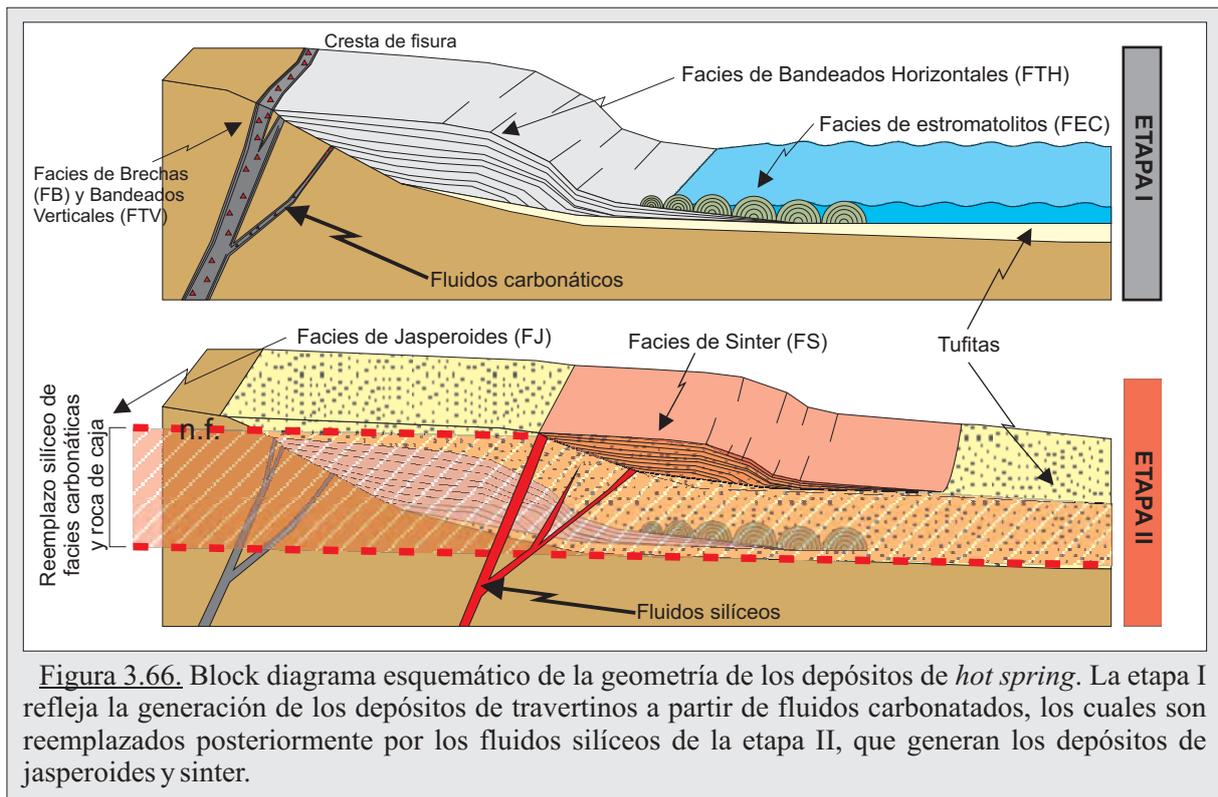


Figura 3.66. Block diagrama esquemático de la geometría de los depósitos de *hot spring*. La etapa I refleja la generación de los depósitos de travertinos a partir de fluidos carbonatados, los cuales son reemplazados posteriormente por los fluidos silíceos de la etapa II, que generan los depósitos de jasperoides y sinter.

convierte en uno de los mejores ejemplos fósiles de campos geotermales jurásicos.

3.5. Caracterización isotópica de los fluidos hidrotermales en el Distrito Cerro Primero de Abril.

Para completar la caracterización de los fluidos hidrotermales que actuaron en el Distrito, y con el objetivo de evaluar sus posibles orígenes, se realizaron análisis sobre los isótopos estables livianos de carbono ($^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$), oxígeno ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) y azufre ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$). Estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad de Salamanca, España.

Estos estudios constituyen una herramienta valiosa, que complementada con los estudios microtermométricos, permite no solo estimar la procedencia de los fluidos hidrotermales y su interacción con fluidos meteóricos, sino también las condiciones físico-químicas al momento de la depositación, llegando en algunas ocasiones a determinar la evolución de los fluidos hidrotermales del depósito.

Se analizó la composición isotópica del carbono en calcitas (4 muestras), de azufre en galena, esfalerita y piritita (4 muestras), y de oxígeno en cuarzo y adularia (22 muestras). La metodología aplicada para la determinación isotópica de las muestras, junto con las tablas con los resultados, se encuentran desarrolladas en su totalidad en el Anexo XX.

Además, se consideraron los datos isotópicos obtenidos por Páez (2011) para las vetas del Sistema Martha sobre los mismos isótopos estables, incluyéndose también en este análisis, la información geocronológica que obtuvo a través de isótopos inestables de $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$, lográndose de esta manera un encuadre temporal al menos de uno de los sistemas mineralizados.

3.5.1. Isótopos estables de Oxígeno, Azufre y Carbono.

Isótopos de carbono

En depósitos hidrotermales, la presencia o ausencia de calcita refleja directamente la concentración de dióxido de carbono acuoso del fluido (en sus diversas formas oxidadas CO_2 , H_2CO_3 , HCO_3^- o CO_2^{-2}), el cual puede derivar ya sea de un magma o de la oxidación de formas reducidas del carbono como por ejemplo de la materia orgánica. Cada una de las posibles fuentes está caracterizada por unos valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ que le son propios y que, además se encuentran afectadas por otros parámetros físico-químicos como los cambios de temperatura, $f\text{O}_2$, presión y pH del fluido que controlan la especie en solución y su estado de oxidación. (Recio y Subias, 2007).

Considerando que el sistema Wendy es el único que posee un pulso hidrotermal generador de potentes estructuras carbonáticas, se procedió a analizar la composición isotópica de cuatro muestras de calcita de la estructura *Josefa norte*, obteniéndose en los valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ una variación entre -3,62 y -8,5‰, mientras que en los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ fue entre 4,6 y 7,9‰ (Figura 3.67-A).

De acuerdo al diagrama $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ vs. $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ (Figura 3.67-B), se observa que estos datos se alinean siguiendo la curva de H_2CO_3 , siendo esta fase la principal especie oxidada de carbono presente en el fluido mineralizador, implicando un pH cercano a 6 o menor (Faure, 1986).

Por otro lado, comparando los valores isotópicos de las muestras de calcita laminar (*bladed-calcite*) presentes en el sistema epidermal de Waihi en Nueva Zelanda (Brathwaite y Faure, 2002) las cuales fueron interpretadas como precipitadas por asimilación de CO_2 de ebullición, con los resultados obtenidos en Wendy, se puede observar no solo una similitud en el rango de valores sino además en la especie oxidada de carbono presente (Figura 3.67-B).

Finalmente, teniendo en cuenta la cercanía de este depósito con el yacimiento Manantial Espejo, se integraron los resultados obtenidos por Echeveste (2005a), observándose que los resultados obtenidos en Wendy se ubican en un rango muy próximo a los determinados por este autor para las vetas de Manantial Espejo (Figura 3.67-B).

Isótopos de azufre

Generalmente, el objetivo al analizar los isótopos de azufre presente en depósitos epitermales es estimar la posible fuente de azufre (magmática, metamórfica, sedimentaria, aguas meteóricas, etc.), y su transporte e interacción con la roca de caja y otros fluidos.

Siguiendo este objetivo, se obtuvieron los valores isotópicos de azufre para el fluido mineralizador ($\delta^{34}\text{S}_{\text{fluido}}$) a partir de tres sulfuros de metales base (pirita, esfalerita y galena) de los Sistemas Argenta y Malbec, considerando los coeficientes de la fórmula de Ohmoto y Rye (1979) y las temperaturas medias obtenidas en los estudios de inclusiones fluidas.

Por otro lado, no se pudieron determinar los valores isotópicos del azufre en las sulfosales de Ag identificadas en el sistema Wendy (pirargirita, miargirita, freieslebenita, Argentotennantita, etc.) ya que no existen determinaciones del coeficiente de fraccionamiento isotópico para esta serie de minerales. Además, se consideraron los datos obtenidos por Páez (2012) para la caracterización del Sistema Martha (Figura 3.68-A).

Respecto a los valores obtenidos de $\delta^{34}\text{S}_{\text{fluido}}$ (‰), estos se encuentran próximos al 0‰, lo que indicaría una fuente de los fluidos generadores de origen magmático (Hoefs, 1987), con escasa participación de actividad supergénica (Figura 3.68-A y 3.68-B). Además, y coincidiendo con lo observado por Páez (2012) para el depósito Martha, el origen de la filiación magmática estaría

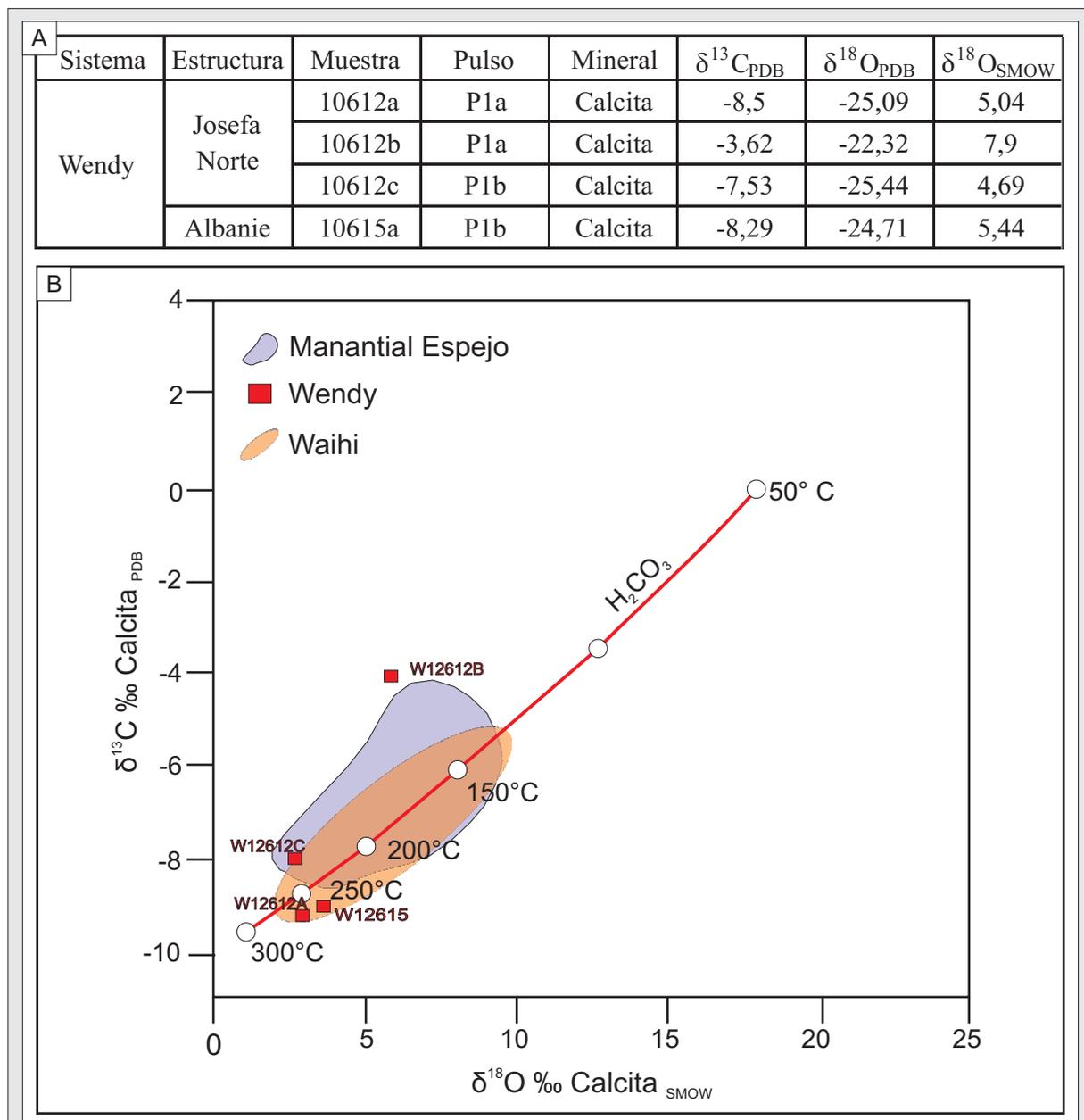


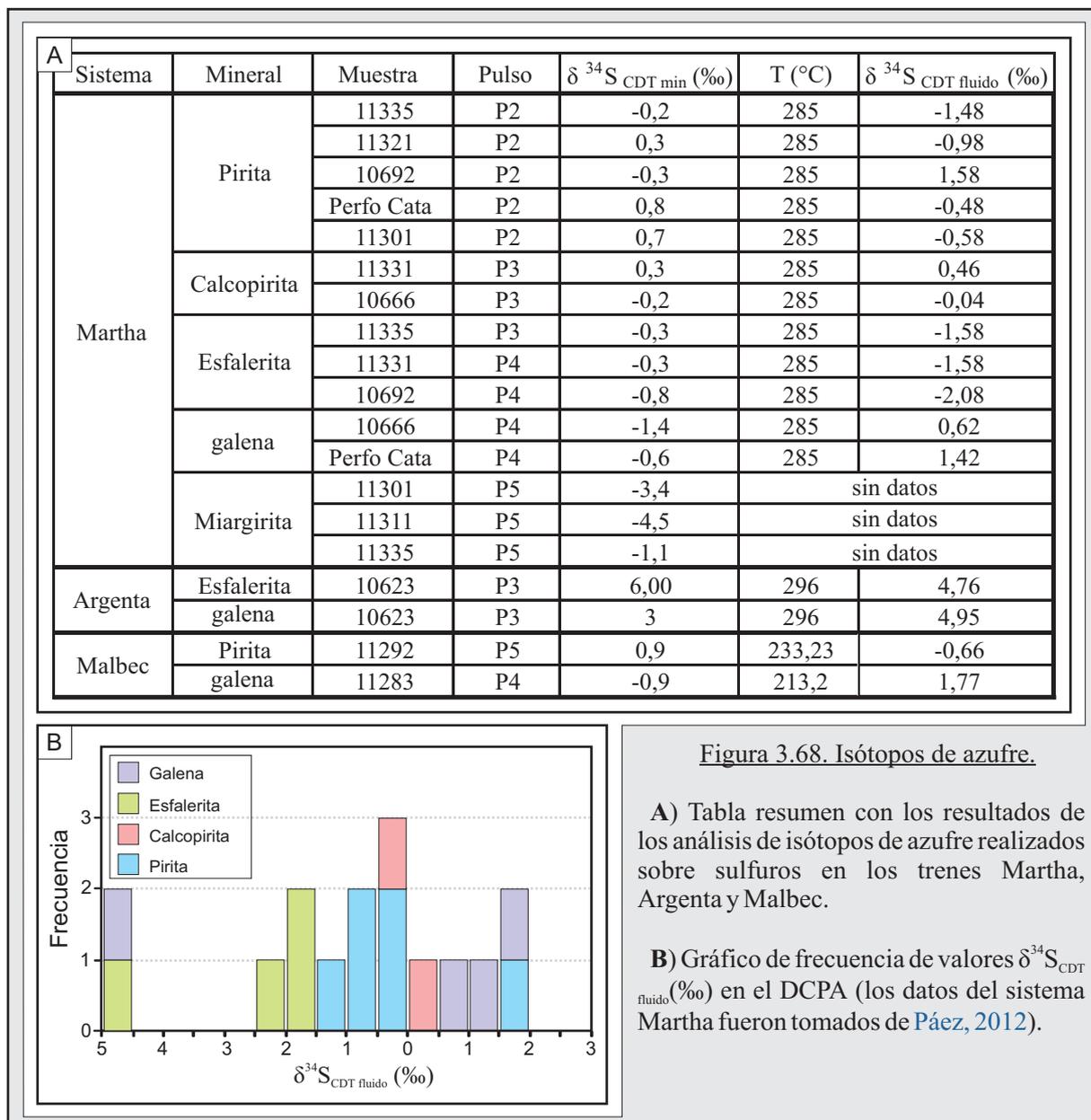
Figura 3.67. Wendy. A) Tabla resumen con los resultados de los ensayos isotópicos realizados sobre calcitas de los pulsos P1a y P1b; B) Diagrama $\delta^{13}\text{C}$ calcita (‰) vs. $\delta^{18}\text{O}$ calcita (‰). La curva representa el tren de equilibrio de fraccionamiento en función de la temperatura para la calcita, asumiendo que H_2CO_3 es la especie dominante de carbono acuoso (modificado de Simmons y Christenson, 1994).

vinculado a dos procesos, siendo el resultado de un aporte directo de fluidos de origen magmático, y un re-equilibramiento de las soluciones hidrotermales al atravesar la potente secuencia volcánica donde se alojan las estructuras (Ohmoto y Goldhaber, 1997).

Estos resultados están acorde con lo expresado en la numerosa bibliografía sobre análisis isotópicos en sulfuros de depósitos vetiformes epitermales en el ámbito del Macizo del Deseado (Echavarría, 1997; Schalamuk *et al.*, 1998; Guido, 2004; Echeveste, 2005a; Moreira, 2006; López, 2006; Mykietiuć, 2006; Jovic, 2009; Páez, 2012), los cuales evidencian que los sulfuros primarios alojados en estos depósitos comúnmente presentan variaciones de $\delta^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ en el rango de $\pm 5\text{‰}$ (Figura 3.69).

Isótopos de oxígeno

Al igual que en los isótopos de azufre, mediante el estudio de las relaciones isotópicas de



oxígeno, y su comparación con diversos tipos de aguas naturales, podemos llegar a estimar la procedencia de los fluidos hidrotermales y su interacción con los fluidos meteóricos.

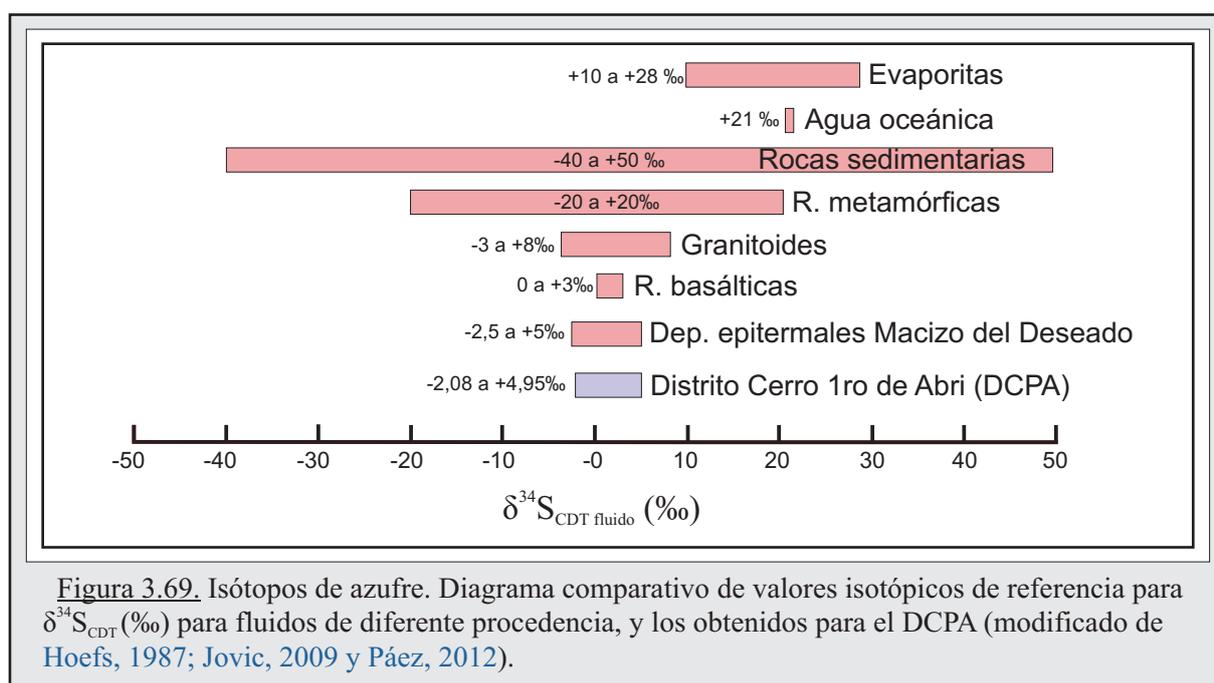
Se analizaron 24 muestras de cuarzo y 2 muestras de adularia de las principales estructuras en los Sistemas Wendy, Argenta y Malbec, obteniéndose los valores isotópicos de estos minerales ($\delta^{18}\text{O}_{\text{mineral}}$), incluyéndose además en este análisis, los datos obtenidos en el área de Mina Martha por Páez (2012), totalizando así 43 caracterizaciones isotópicas de oxígeno para las estructuras del Distrito Cerro Primero de Abril (Figura 3.70-A).

A partir de estos datos, se calcularon los valores isotópicos de los fluidos hidrotermales en equilibrio con las fases minerales analizadas ($\delta^{18}\text{O}_{\text{fluido}}$) considerando las temperaturas promedio obtenidas en los ensayos termométricos para cada pulso mineralizante en cada área, de acuerdo a los parámetros de la fórmula de Zheng (1993).

Los resultados obtenidos se caracterizan por un amplio rango composicional, con valores máximos cercanos a los 3,2‰ y mínimos del orden de los -11,52‰, con una media de -4,90‰ (Figura 3.70-A y 3.70-B).

Con el fin de determinar el posible origen de los fluidos hidrotermales mineralizadores, se compararon los resultados obtenidos con los valores isotópicos correspondientes a aguas magmáticas félsicas (Taylor, 1992), mezcla de aguas cloruradas y calentadas por vapor de Waihi (Brathwaite y Faure, 2002), vapor volcánico relacionado a zonas de subducción (Giggenbach, 1992), aguas calentadas por vapor de Virginia Range (Rye *et al.*, 1992), aguas pluviales modernas de Patagonia (Puerto Madryn y Ushuaia, IAEA/WMO, 2008), una recopilación de valores isotópicos correspondientes a los depósitos epitermales del Macizo del Deseado (Guido, 2004; Echeveste 2005a; Moreira, 2006; López, 2006; Mykietiuik, 2006; Jovic, 2009; Páez, 2012), y los valores isotópicos determinados para las aguas meteóricas jurásicas obtenidas por Cravero *et al.* (1991) sobre caolinitas supergénicas provenientes del Macizo del Deseado (Figura 3.71).

De esta comparativa, se reconoció una distribución de los valores isotópicos muy amplia,



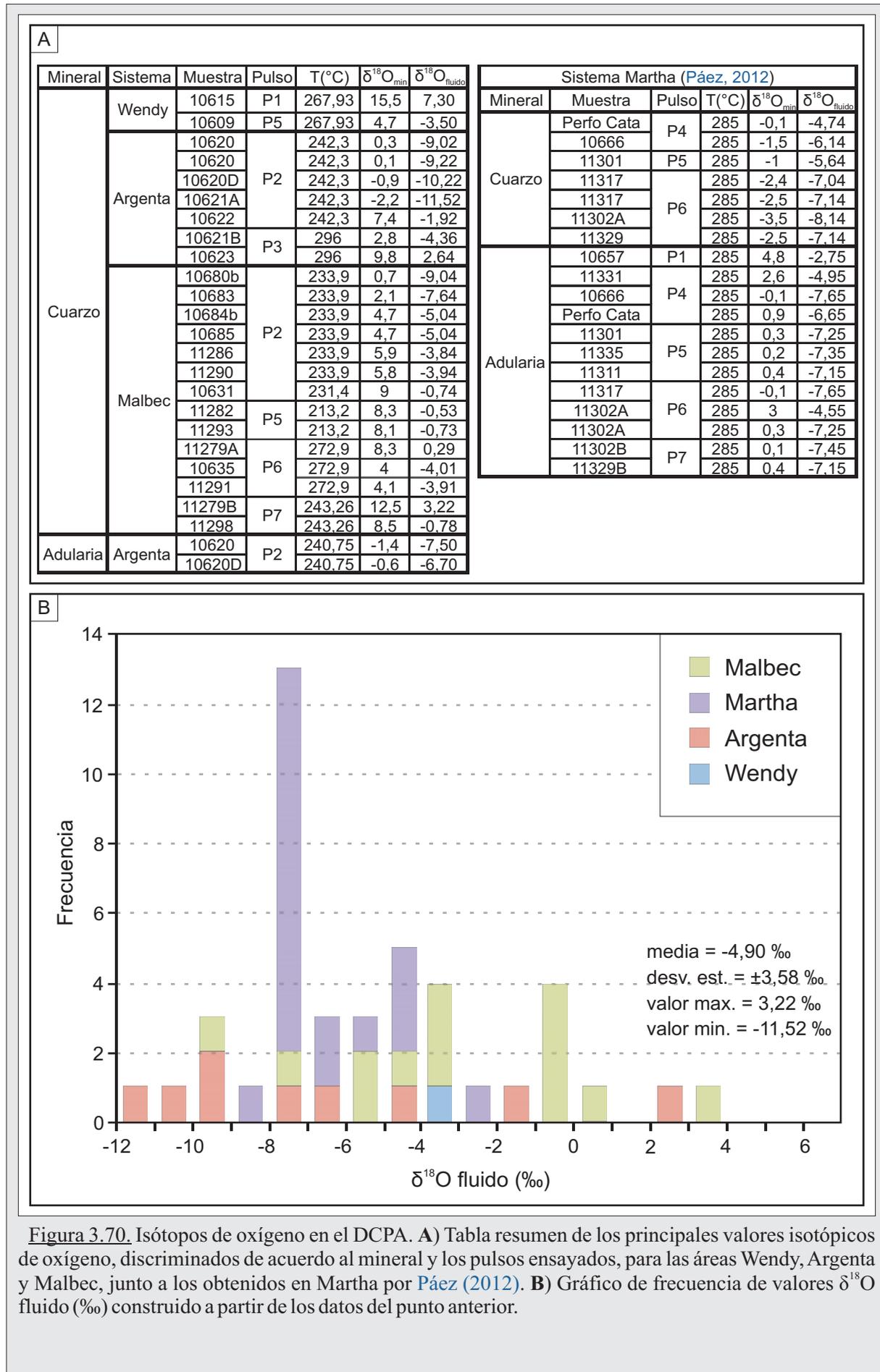
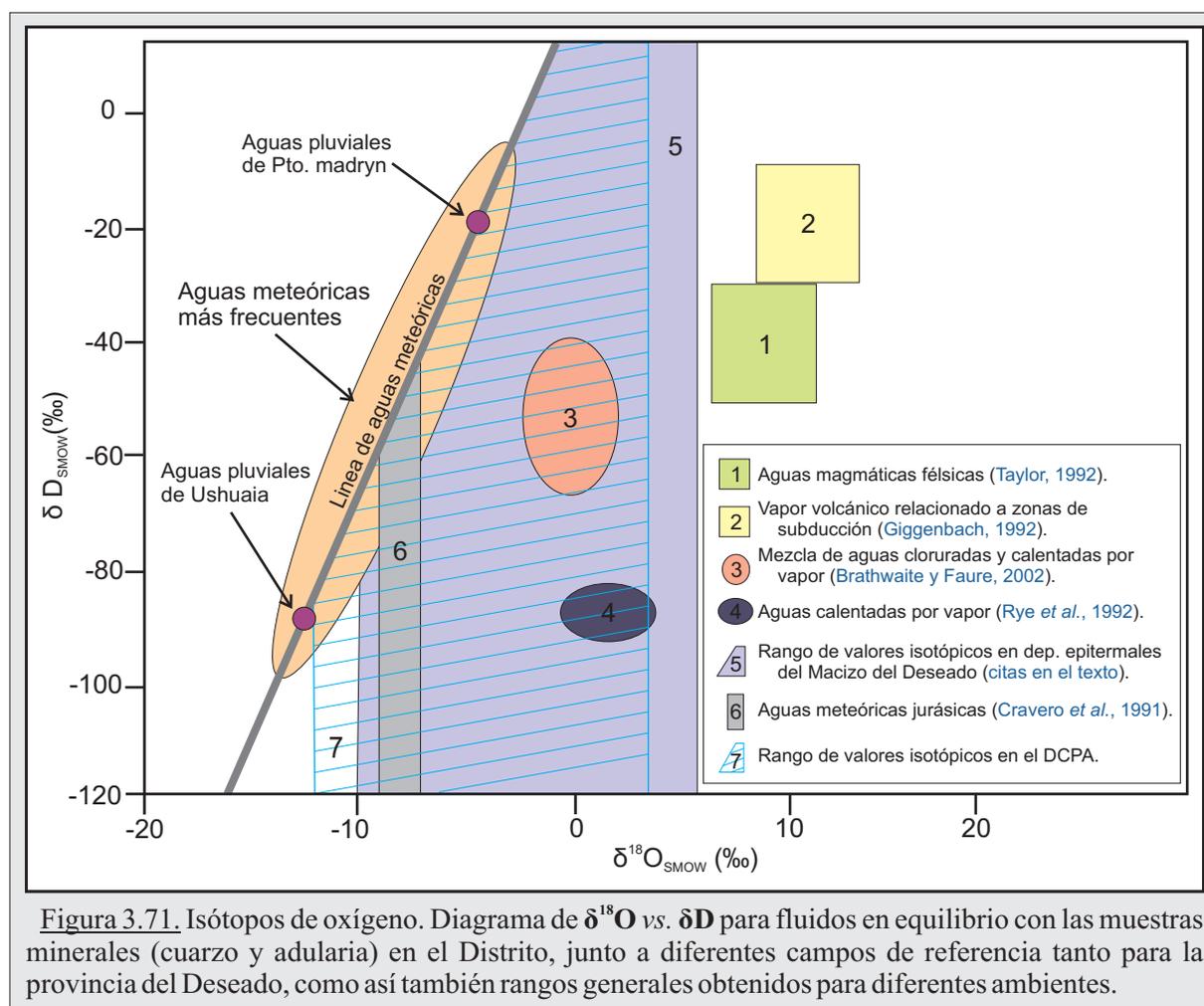


Figura 3.70. Isótopos de oxígeno en el DCPA. **A)** Tabla resumen de los principales valores isotópicos de oxígeno, discriminados de acuerdo al mineral y los pulsos ensayados, para las áreas Wendy, Argenta y Malbec, junto a los obtenidos en Martha por Páez (2012). **B)** Gráfico de frecuencia de valores $\delta^{18}\text{O}$ fluido (‰) construido a partir de los datos del punto anterior.



abarcando desde valores bajos cercanos a las aguas meteóricas tanto actuales como jurásicas, y extremos con valores altos muy próximos a las aguas magmáticas félsicas (Figura 3.71), con lo que se interpreta que esta distribución de valores isotópicos está reflejando que ambos componentes jugaron un rol importante en la conformación de los fluidos hidrotermales que originaron las estructuras mineralizadas del Distrito Cerro Primero de Abril.

3.5.2. Isótopos inestables: geocronología $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$.

Para lograr una completa caracterización isotópica del distrito Cerro Primero de Abril se tomó en consideración la determinación geocronológica realizada por Páez (2012), obtenida a través de la técnica $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ sobre cristales de adularia provenientes de la veta Catalina (sistema Martha).

Los resultados obtenidos arrojaron una edad *plateau* de $156,5 \pm 0,9$ ma y una edad por isócrona de $156,4 \pm 0,8$ ma (Páez, 2012), lo que permitió acotar el evento mineralizante en el Jurásico Superior, más específicamente dentro del piso Oxfordiano.