



Petrografía, geoquímica y relaciones estratigráficas de las unidades paleozoicas y mesozoicas del cerro Las Minas, Distrito Minero Andacollo, Neuquén, Argentina

Juan Ignacio CAPOMASSI¹, María Celeste D'ANNUNZIO^{1,2} y Leonardo STRAZZERE^{1,2}

¹Dpto. de Geología, Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, Argentina.

²Instituto Geológico del Sur (INGEOSUR), Universidad Nacional del Sur (UNS)-CONICET, Bahía Blanca, Argentina.

Email: juanignaciocapomassi@hotmail.com; celeste.dannunzio@uns.edu.ar, lstrazze@uns.edu.ar

Editor: Marta B. Franchini

Recibido: 26 de noviembre de 2021

Aceptado: 18 de julio de 2023

RESUMEN

El Distrito Minero Andacollo ubicado en el flanco occidental de la Cordillera del Viento, provincia de Neuquén, Argentina, adquiere relevancia por su mineralización de Au/Ag alojada en sistemas vetiformes. El presente trabajo brinda el análisis petrográfico y geoquímico de las unidades geológicas que constituyen algunas de las rocas de caja de la mineralización en el sector del cerro Las Minas. Las rocas pre-pérmicas del área corresponden a tobas y tobas lapillíticas de la Formación Arroyo del Torréon de composición riolítica intruidas por un cuerpo subvolcánico de composición dacítica/riodacítica denominado Dacita Sofía y cubiertas por las sedimentitas de la Formación Huaraco. Las rocas pérmicas del distrito se encuentran representadas por granitos y granodioritas tipo I y S del Granito Huingancó del Complejo volcánico-plutónico Huingancó. Las rocas post-pérmicas están representadas por la secuencia ignimbrítica riodacítica y secuencia andesítica de la Formación Cordillera del Viento, pórfido fenodacítico y diques afaníticos.

Las rocas analizadas químicamente presentan valores de SiO₂ entre 61 % y 78 % y se ubican en el campo de los arcos volcánicos emplazados en márgenes continentales activos. Exhiben patrones de enriquecimiento en elementos litófilos de ion grande, y anomalías negativas de Nb, Sr, P y Ti. Muestran enriquecimiento en elementos de las tierras raras respecto a condrito, y elementos de las tierras raras livianas enriquecidas con respecto a las tierras raras pesadas. Los patrones de mayor enriquecimiento corresponden a rocas post-pérmicas, que a diferencia de las rocas pre-pérmicas y pérmicas muestran ausencia en la anomalía negativa de Eu.

Palabras clave: Cordillera del Viento, calco-alcalina, arco.

ABSTRACT

Petrography, geochemistry and stratigraphic relationships of outcropping units in the Cerro Las Minas sector, Andacollo Mining District, Neuquén, Argentina.

The Andacollo Mining district is located on the western flank of Cordillera del Viento, Neuquén province, Argentina, and acquires relevance for its Au/Ag vein deposits. The present work provides the petrographic and geochemical analysis of rocks outcropping in the Las Minas hill that host vein deposits. In the area, the pre-Permian rocks mainly correspond to rhyolitic vitreous to lithic tuffs of the Arroyo del Torréon Formation which are intruded by the Dacita Sofía, a Carboniferous subvolcanic body. They are covered by sedimentary rocks of the Huaraco Formation. The Permian is represented by I and S types granites and granodiorites of the Huingancó Granite within the Huingancó volcanic-plutonic Complex. The post-Permian rocks are silicic rhyodacitic ignimbrites and andesites of the Cordillera del Viento Formation. All analyzed rocks have SiO₂ values between 61 and 78 %, and show arc-like signatures in active continental margins. The rocks present a general enrichment in LILE (large-ion lithophile elements), Nb, Sr, P and Ti anomalies, enrichment in REE relative to chondrite and enrichment in LREE (light-rare earth element) with respect to HREE (high-rare earth elements). The

highest enrichment patterns are presented by post-Permian rocks. Unlike the pre-Permian and Permian rocks, post-Permian rocks show an absence of negative Eu anomaly..

Keywords: Cordillera del Viento, calc-alkaline, continental arc.

INTRODUCCIÓN

El Distrito Minero Andacollo se ubica en el noroeste de la provincia de Neuquén, sobre el flanco occidental de la Cordillera del Viento (Figs. 1a y b), en la provincia geológica de la Precordillera Neuquina Norte (Llambías et al. 2007, Ramos et al. 2011, Giacosa et al. 2014).

Las rocas más antiguas aflorantes en el Distrito Minero Andacollo corresponden a rocas piroclásticas de la Formación Arroyo del Torreón (Méndez et al. 1995) comprendidas entre el Devónico y el Carbonífero temprano (Rovere et al. 2004), intruidas por cuerpos subvolcánicos riolíticos a dacíticos de la Dacita Sofía del Carbonífero medio (327.9 ± 2.0 Ma U-Pb edad en circones; Suárez et al. 2008). Estas rocas están cubiertas en discordancia por sedimentitas de la Formación Huaraco (Zöllner y Amos 1955) depositadas entre el Carbonífero tardío y el Pérmico temprano (Zöllner y Amos 1955, 1973).

El basamento pre-pérmico está intruido por granitoides y cubierto en discordancia por rocas volcánicas silíceas del Complejo volcánico-plutónico Huingancó. Las facies intrusivas del complejo presentan edades que varían entre 259 ± 9 y 289 ± 1 Ma. (facies monzogranito: 259 ± 9 Ma, U-Pb SHRIMP en circones; Sato et al. 2008; facies granodiorita: 289 ± 1 Ma, U-Pb SHRIMP en circones; Sato et al. 2008 y 282.5 ± 2.0 Ma; U-Pb SHRIMP en circones; Hervé et al. 2013). Las facies extrusivas del complejo corresponden a la Formación La Premia (Méndez et al. 1995) y tienen una edad de 281.8 ± 2.1 Ma. (K/Ar en biotita magmática; Suárez et al. 2008). Lavas andesíticas de la Formación Cordillera del Viento (Leanza et al. 2005; 196.69 ± 1.15 y 191.36 ± 0.85 Ma. U-Pb en circones, Pons et al. 2022) y lavas basálticas y andesíticas de la Formación Milla Michicó (Llambías et al. 2007) del Triásico Inferior-Jurásico cubren las rocas previamente mencionadas. A partir del Jurásico Inferior se produce la depositación de rocas volcánicas y sedimentarias de la Formación La Primavera, (183 ± 1.3 Ma, U-Pb SHRIMP; Suárez et al. 2008) seguida de un largo período de subsidencia con la sedimentación marina del Grupo Cuyo (Groeber 1946, Arregui et al. 2011).

En el área afloran rocas ígneas del Cretácico Superior-Paleógeno (Zamora Valcarce et al. 2006, Giacosa et al. 2014) representadas por rocas intrusivas dioríticas y tonalíticas de la Granodiorita Cerro Colo (67 ± 3 Ma, K-Ar en roca total, Do-

mínguez et al. 1984), diques dacíticos con orientación NE-SO (71 ± 1 Ma; edad U-Pb en circón; Pons et al. 2023) y un importante volumen de lavas andesíticas de la Formación Cayanta (Rapela y Llambías 1985).

El Distrito Minero Andacollo incluye los sistemas de vetas epitermales Andacollo (Stoll 1957, Figs. 2a y b) y La Primavera y la zona de alteración tipo pórfido Los Maitenes-El Salvaje (Fig. 1b). Las vetas y los depósitos de placer asociados se han explotado de forma discontinua en este distrito desde 1900. Según Rovere et al. (2004), el distrito tiene reservas

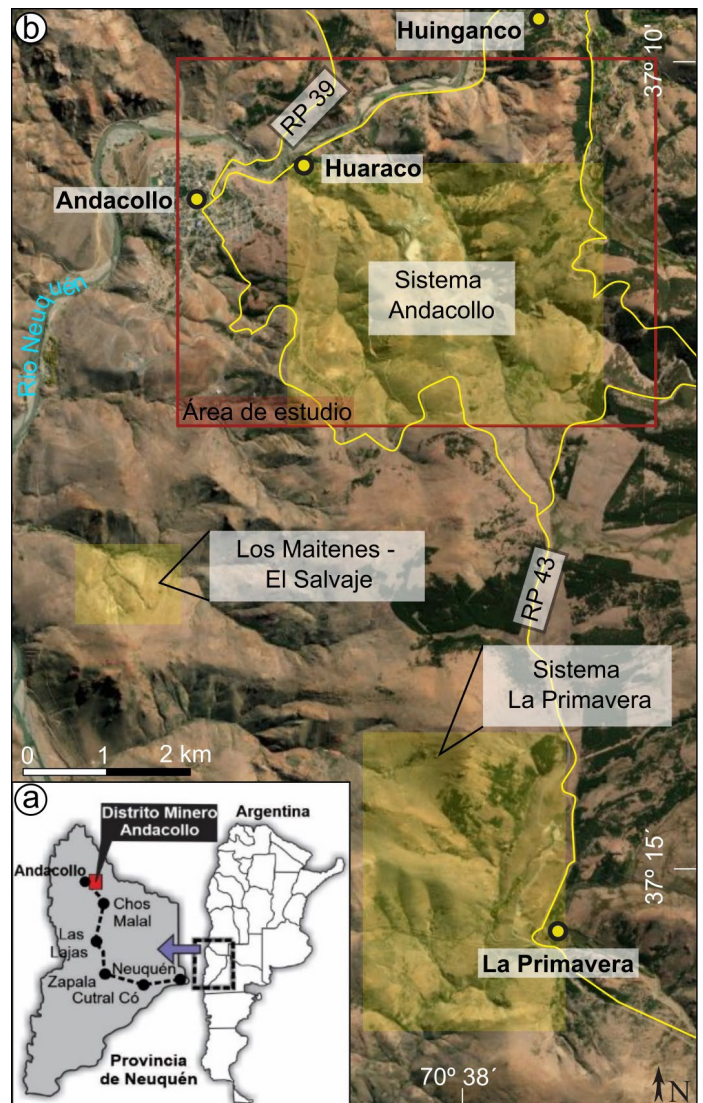


Figura 1. a) Mapa de ubicación del Distrito Minero Andacollo en la provincia de Neuquén; b) Imagen satelital de un sector del Distrito Minero Andacollo con la ubicación de la zona de estudio.

inferidas de 560.460 t con una ley media de 11.17 g/t Au.

El objetivo de este trabajo es dar a conocer las características petrográficas y geoquímicas de las unidades litológicas aflorantes en el sector cerro Las Minas del Distrito Minero Andacollo (Fig. 1b). Para su mejor tratamiento y comparación, las rocas fueron reunidas en tres grupos de edades separadas por grandes discordancias: pre-pérmicas, pérmicas y post-pérmicas.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL Y GEOTECTÓNICO

El área de estudio se encuentra ubicada en el flanco occidental del anticlinal Cordillera del Viento (Zollner y Amos 1973), un alto estructural ubicado en la Precordillera Neuquina Norte formado durante la orogenia andina. En su núcleo se exponen rocas ígneas y sedimentarias de ciclos orogénicos previos.

Llambías y Sato (2011) describen dos períodos de actividad magmática en la Cordillera del Viento: uno desarrollado en el Carbonífero en un ambiente de retroarco (Ramos et al. 2011) de carácter principalmente piroclástico y otro en el Permo-Triásico, separados entre sí por la fase orogénica San Rafael en un régimen tectónico compresional (Azcuy y Caminos 1987). Subsiguientemente, el colapso de la orogenia gondwánica estuvo vinculado a un período de relajación de esfuerzos hasta el Triásico Temprano (Giacosa et al. 2014), generando un magmatismo extrusivo dominante asociado al Grupo Choyoi (Rolleri y Criado Roque 1970). El evento diastrófico conocido como fase Huárpica (Azcuy y Caminos 1987) representa la finalización del colapso orogénico en el límite entre el Triásico Temprano y Medio, con un ascenso cortical responsable de la exhumación de cúpulas de plutones (Llambías et al. 2007).

Durante el Triásico Medio a Tardío, una etapa de rifting denominada Ciclo Precuyano (Gulisano et al. 1984) dio inicio al desmembramiento de Gondwana, con importantes flujos volcánicos mesosilícicos que rellenaron hemigrábenes de distintos depocentros de la cuenca Neuquina (Leanza et al. 2005).

METODOLOGÍA

El relevamiento geológico constó de una campaña durante la cual se realizaron cuatro transectas en lugares estratégicos para determinar el tipo de litología, presencia de fósiles, relaciones estratigráficas, yacencia, alteración y estructuración de las unidades aflorantes. Los puntos georeferenciados

se tomaron con GPS *Garmin e-Trex Vista* (error máximo 3 metros) en coordenadas Gauss-Krüger con datum de referencia WGS84.

Se realizaron veintidós cortes petrográficos y se utilizaron microscopios ópticos de transmisión y reflexión Zeiss modelo Axiolab Pol con cámara AxioCam ICC3 y Motic-2010 para su estudio en los laboratorios del Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur.

Las rocas piroclásticas se clasificaron en base al tamaño de sus componentes acorde a Fisher (1966) y en base al tipo de componentes considerando a Pettijohn (1975).

Siete muestras de roca fueron enviadas a los laboratorios de la empresa ALS Global, analizadas bajo la rutina CCP-PKG01 que comprende elementos mayoritarios, minoritarios, traza y elementos del grupo de las tierras raras. Esta rutina combina el análisis de Fluorescencia de Rayos X ME-XRF26/OA-GRA05 para elementos mayoritarios y minoritarios, con el análisis ME-MS81 para elementos traza y del grupo de las tierras raras, mientras que los valores de LOI (Loss On Ignition) fueron calculados por medio del análisis Termogravimétrico (TGA).

En general, las rocas del Distrito Minero Andacollo presentan distintos grados de alteración hidrotermal por lo que pueden haber sufrido pérdidas de algunos elementos químicos (ver Kay et al. 2006, Rollinson 1993). Por esta razón, se utilizaron diagramas clasificatorios de elementos considerados inmóviles y en el procesamiento de los análisis químicos, los porcentajes de óxidos mayoritarios fueron recalculados a 100% en base anhidra. Además, se calculó la norma CIPW en base a Hutchison (1974). La anomalía de Eu se calculó mediante la fórmula $Eu/Eu^* = Eu_N / \sqrt{(Sm_N * Gd_N)}$ y la comparación entre los elementos de tierras raras livianas y elementos de tierras raras pesadas fue realizada mediante la relación $(La/Yb)_N$. Se utilizó el software GCDkit 4.1 con la extensión R i386 3.2.1 para la construcción de diagramas bivariantes, trivariantes y spider.

RESULTADOS

Geología Local

Rocas pre-pérmicas

Formación Arroyo del Torreón: Las rocas piroclásticas de esta unidad constituyen fajas elongadas en sentido NE-SO que se extienden desde el arroyo Chenque Malal hasta la zona de Andacollo, con significativas exposiciones en el norte y oeste del área de estudio (Fig. 3a) donde constituyen bloques macizos pardo-rojizos de rocas resistentes a la meteorización, generalmente silicificadas. Por encima de esta unidad

se encuentra la Formación Huaraco (Figs. 3b y c), aunque el contacto entre ambas unidades se encuentra cubierto en la mayoría de los casos lo que sugiere la predominancia de los contactos tectónicos. Sin embargo, ocasionalmente presentan contactos tectónicos, discordantes (Zöllner y Amos 1973, Fig. 4a) o paraconcordantes (Dicaro et al. 2022).

En el margen suroccidental del arroyo Huaraco los afloramientos de la Formación Arroyo del Torreón presentan tonalidades rojizas y moradas y son atravesados por vetas ricas en cuarzo de los sistemas Buena Vista (Pons et al. 2019) y Don Fernando (Fig. 2a), mientras que la ladera nororiental del valle contiene vetas del Sistema San Pedro y San Pedro Norte (Fig. 2b).

Los afloramientos de la unidad en el cerro San Pedro (Fig. 3a) se componen de tobas lapillíticas y en menor medida de tobas con una importante predominancia de tobas vítreas y tobas líticas por sobre tobas cristalinas. Las secciones de tobas lapillíticas frescas presentan tonalidades grisáceas claras a prácticamente negras. Las tobas presentan coloraciones grises claras a azuladas, con texturas masivas a finamente laminadas. En el faldeo noroccidental del cerro Las Minas (Fig. 3a), se hallan lavas con bandeados de flujo.

Los litoclastos de las tobas lapillíticas y las tobas reconocidas en sección delgada muestran morfologías irregula-

res y aristas angulosas a subredondeadas de hasta 10 mm y pertenecen generalmente a otras tobas y tobas lapillíticas silicificadas y sericitizadas, aunque suelen incorporar clastos de rocas volcánicas de textura porfírica y areniscas (Fig. 4c). Los componentes vítreos de las tobas lapillíticas están representados por trizas vítreas con morfologías cuspidales, planares y tabiques dispersos en la matriz de la roca (Fig. 4d). Los componentes cristalinos están conformados por cuarzo, feldespato potásico y muscovita con plagioclasa subordinada (Fig. 4d). El cuarzo microcristalino a criptocristalino se encuentra en la matriz de las tobas producto de la desvitrificación de los componentes vítreos, aunque en algunas muestras se observa que además reemplaza a los fragmentos líticos y cristaloclastos.

La intensidad de la alteración de la unidad es muy variable dependiendo la zona. Generalmente los sectores cercanos a los cuerpos vetiformes presentan alteración hidrotermal de cuarzo-sericita (hasta 90%) diseminada en toda la muestra y en algunos casos rellenan microfracturas.

Dacita Sofía: En las quebradas del arroyo Huaraco y del Torreón (Fig. 3a) afloran cuerpos subvolcánicos (Fig. 3a) que intruyen a la Formación Arroyo del Torreón. Los afloramientos de esta unidad son pequeños, carentes de estratificación y fuertemente diaclasados, con coloración parda a

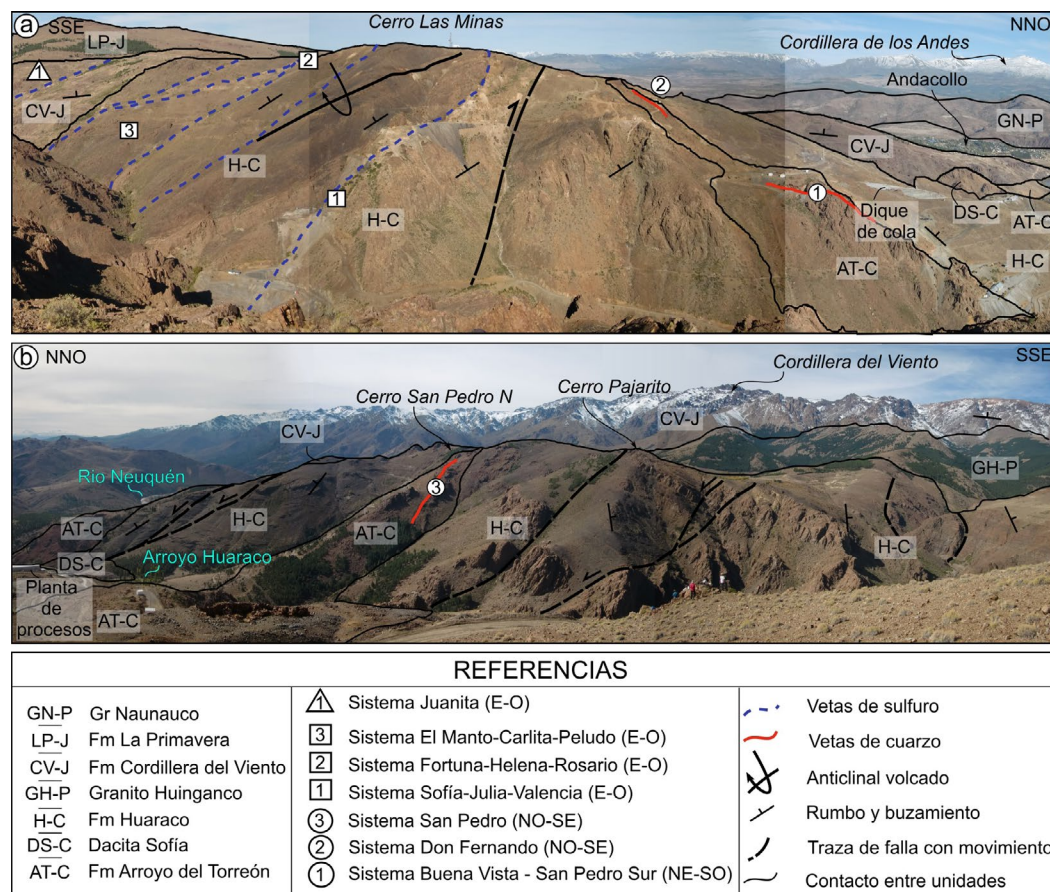


Figura 2. Vista general de las principales unidades estratigráficas de la zona, sobre el valle del arroyo Huaraco: a) Vista del margen suroccidental; b) Vista del margen nororiental.

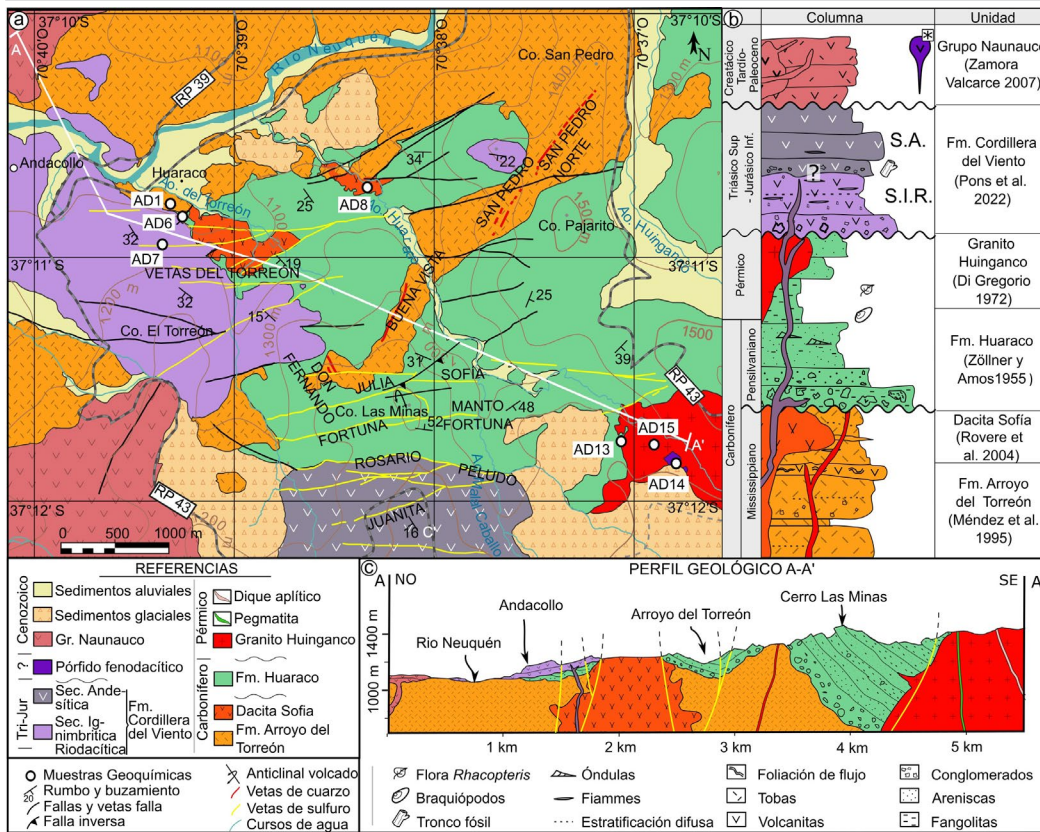


Figura 3. a) Mapa geológico modificado de Rovere et al. (2004), Liambias et al. (2007) y Giacosa (2011), propuesto para el Distrito Minero Andacollo en base a las observaciones de campo descritas en el presente trabajo; b) Columna estratigráfica propuesta para el Distrito Minero Andacollo. Con * se indica el pórfido fenodacítico descrito en el presente trabajo. Los espesores son ilustrativos, no se presentan en escala real; c) Corte transversal esquemático correspondiente al perfil A-A' indicado sobre la figura 3b.

parda rojiza y sectores de tonalidades blancas. La intrusión de la Dacita Sofía en la Formación Arroyo del Torreón genera en el contacto una zona de intensa alteración, principalmente piritización y silicificación que desaparece progresivamente a medida que nos alejamos del mismo (Fig. 4b).

Los cortes frescos de la dacita exhiben coloraciones verde oliva, con textura porfírica y pasta afanítica. En sección delgada se observan fenocristales de cuarzo, plagioclasa (andesina An₃₄₋₄₀, determinada ópticamente), feldespato potásico y biotita en una pasta desvitrificada. Los cristales euhedrales se encuentran unidos y formando cúmulos (Fig. 4e). El vidrio se encuentra desvitrificado a polimorfos de la sílice y feldespatos de hábito fibroso dispuestos de manera radial denominados esferulitas usualmente con núcleos de feldespatos. Con analizador se pueden distinguir fracturas radiales del vidrio o texturas pseudo-perlíticas (Fig. 4f). Escasas láminas de biotita de hasta 2 mm, están asociadas a muscovita y minerales opacos.

La alteración de la Dacita Sofía afecta el 60% de la misma con dos asociaciones predominantes: cuarzo + sericita y clorita + calcita + siderita. La sericita se encuentra dispersa de manera no selectiva en la roca, aunque se observa con mayor intensidad como reemplazo de feldespatos alcalinos y plagioclasa. La clorita reemplaza por sectores a la pasta y a la biotita. Escasos carbonatos como calcita y siderita rellenan microfracturas.

Formación Huaraco: Es la unidad de mayor extensión areal en la zona de estudio, y representa la expresión más austral de una faja discontinua que se extiende en dirección N-S desde la altura del arroyo Mamenque hasta el cerro Las Minas. Sus afloramientos cubren de manera discordante a las tobos de la Formación Arroyo del Torreón y a la Dacita Sofía (Figs. 1b, 2a y b; 3a y b).

La unidad presenta deformación, con capas levemente basculadas a pliegues apretados y volcados como el identificado en el cerro Las Minas (Fig. 2a). En el sector de la quebrada del arroyo del Torreón (Fig. 3a), se hallan pliegues volcados, erosionados en su techo y cubiertos por la Formación Cordillera del Viento (Fig. 5a).

En general la base de la unidad se compone de conglomerados polymicticos con clastos subredondeados a subangulosos de hasta 2 m de diámetro conformados por rocas piroclásticas (tobas), rocas volcánicas con texturas porfíricas, rocas metamórficas (filitas y esquistos) y cuarzo de textura masiva (Fig. 5b). La secuencia continúa con una intercalación rítmica de areniscas de grano fino a medio y fangolitas bituminosas con estratificación cruzada, óndulas simétricas (Fig. 5c) y asimétricas, laminación paralela (Fig. 5d), *hummocky* (Fig. 5e), heterolitas lenticulares, *flaser* y ondulosas (Fig. 5f). El contenido fosilífero se remite a valvas de braquiópodos tanto articulados como desarticulados de una misma especie e improntas de restos vegetales en planos de laminación.

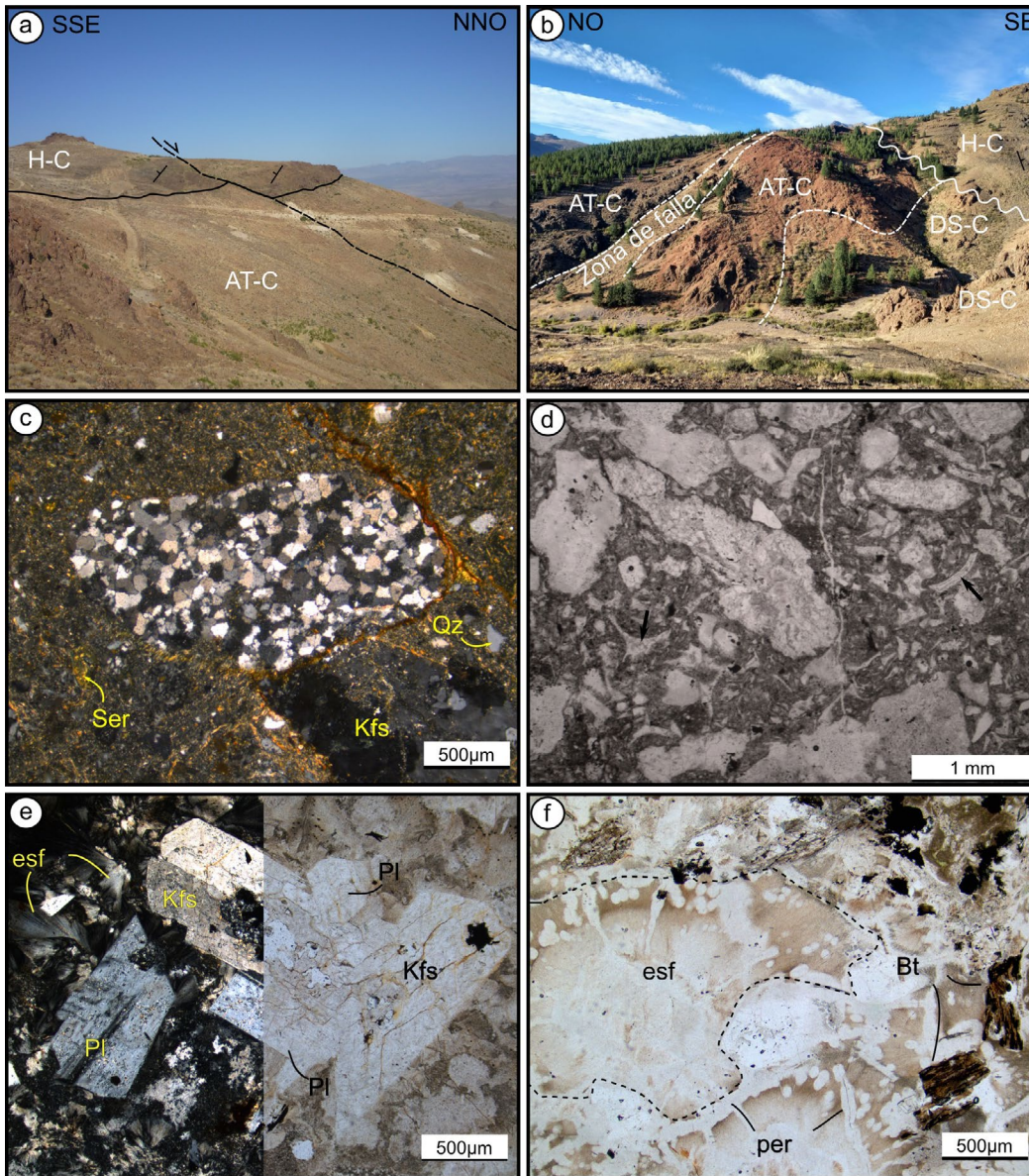


Figura 4. Fotografías de las unidades pre-pérmicas: a) Contacto discordante entre la Formación Arroyo del Torreón y la Formación Huaraco al sur del cerro Las Minas. Toba lapillítica compuesta por fragmentos líticos subredondeados de otras rocas piroclásticas; b) Contacto por intrusión de la Dacita Sofía en la Formación Arroyo del Torreón. Las coloraciones rojizas son producto de la oxidación de la pirita generada por la intrusión de la Dacita Sofía. Hacia el sudeste se encuentra el contacto discordante con los conglomerados basales de la Formación Huaraco. AT-C: Formación Arroyo del Torreón; DS-C: Dacita Sofía; H-C: Formación Huaraco; c) Microfotografía con polarizador de una toba lapillítica donde se observa un litoclasto subredondeado de arenisca y cristalo-clastos de feldespato potásico (Kfs) y cuarzo (Qz). Asimismo, se puede observar sericita (Ser) concentrada en los bordes de los componentes y dispersa en la matriz; d) Microfotografía con analizador de una toba lapillítica donde se indican con flechas negras las trizas o shards de vidrio; e) Microfotografía de la Dacita Sofía con polarizador (izq) y analizador (der) de un cúmulo de feldespato potásico (Kfs) y plagioclasa (Pl) rodeado de esferulitas (esf); f) Microfotografía con analizador de láminas de biotita (Bt) en una matriz vítrea con textura esferulítica (esf) y fracturas pseudo-perlíticas (per).

La unidad está atravesada por fallas de orientación general E-O y ENE-OSO subverticales con componente normal y de rumbo, que dislocan grandes bloques (Giacosa 2011, Figs. 2a y b, 3a y c). El sistema de fallas de orientación E-O contiene al sistema de vetas ricas en sulfuros, caracterizadas en superficie por presencia de sombreros de hierro, texturas tipo *boxworks*, limonitas y arcillas (D'Annunzio et al. 2016, 2017).

Rocas pérmicas

Granito Huingancó: En el sector este de la zona de estudio (Fig. 3a) afloran las expresiones occidentales de un plutón granítico/granodiorítico presente en el núcleo de la Cordillera del Viento que se extiende hacia el norte (hasta el arroyo El Manzano) y hacia el este donde es cubierto en discordancia por la Formación Cordillera del Viento. En la zona de estudio, el plutón intruye a la Formación Huaraco generando un

roof-pondant y *hornfels* por encima (Fig. 6a).

Los afloramientos son masivos, con diaclasas muy espaciadas, meteorización de tipo catafilar y están atravesados por diques pegmatíticos. Composicionalmente el plutón presenta facies graníticas y facies granodioríticas. Pernich (2021) describe facies monzograníticas que afloran al norte de la zona de estudio, que se emplazan posteriormente al cuerpo granodiorítico.

La facies granítica tiene tonalidad blanquecina a rosada, con texturas equigranular y minerales con tamaños que varían entre 1 y 8 mm. Al microscopio presenta texturas xenomórfica a hipidiomórfica y está compuesta por feldespato potásico, cuarzo, plagioclasa (oligoclasa), muscovita, biotita y minerales opacos (Fig. 6b). La plagioclasa presenta exsoluciones de cuarzo con textura mirmequítica.

La facies granodiorítica presenta colores grises oscuros

y textura equigranular. Microscópicamente se observa una textura equigranular hipidiomórfica, formada por plagioclasa (labradorita) cuarzo, biotita, hornblenda, feldespato potásico y muscovita (Fig. 6c). Como minerales accesorios se reconocen circón y apatito asociados espacialmente a biotita.

La alteración hidrotermal de ambas facies no supera el 10% de la roca y está representada por la asociación sericita + clorita + muscovita + opacos. La sericita reemplaza de manera selectiva el feldespato alcalino y la plagioclasa, mientras que clorita, muscovita y minerales opacos reemplazan a la biotita.

Los afloramientos de granito y las sedimentitas carboníferas se encuentran atravesados por diques aplíticos, modalmente clasificados como granitos ricos en cuarzo. Poseen textura equigranular panidiomórfica, con tamaño de grano de entre 0.5 y 1 mm, compuestos por cuarzo, feldespato potási-

co, muscovita y plagioclasa (Fig. 6d). La alteración de los diques aplíticos no supera el 10 % del volumen total de la roca, con sericita que reemplaza a los feldespatos.

Diques de pegmatita de composición granítica cortan de manera subvertical a los afloramientos de granito. Están formados por feldespato potásico y cuarzo con turmalina y minerales opacos.

Rocas post-pérmicas

Formación Cordillera del Viento: Al igual que la Formación Huaraco, esta unidad se encuentra atravesada por un sistema E-O de vetas ricas en sulfuros con mineralización de Au (D'Annunzio et al. 2016, Strazzere et al. 2017), alojadas en fallas subverticales con componentes de desplazamiento principalmente de rumbo (siniestral). Las estructuras más significativas que conforman estos sistemas son Rosario-Pelu-

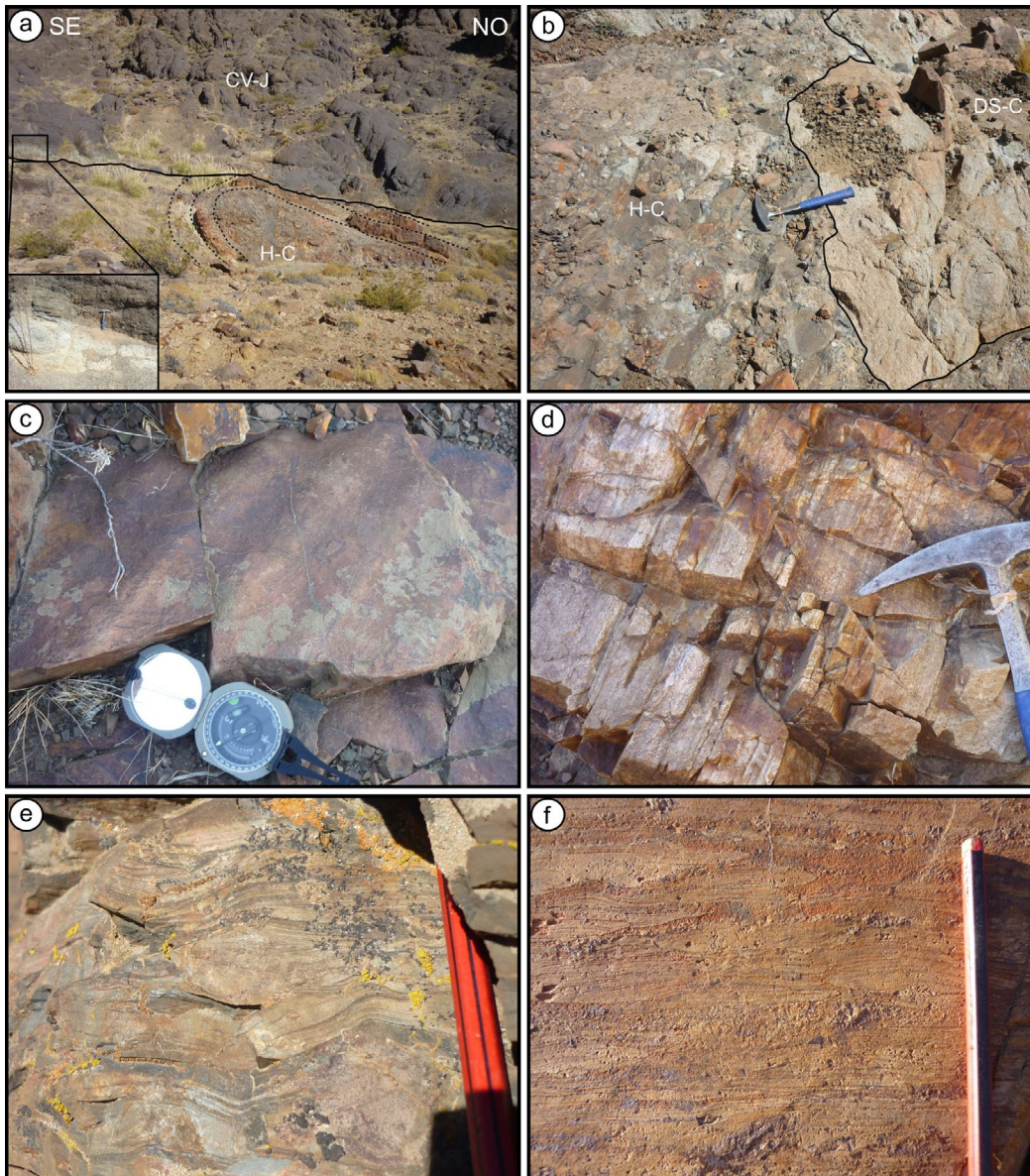


Figura 5. Fotografías de la Formación Huaraco: a) Discordancia angular entre la Formación Huaraco y la Formación Cordillera del Viento en el sector del arroyo del Torreón. Se puede visualizar un pliegue volcado en las capas de arenisca de la Formación Huaraco. El detalle de la foto muestra la alteración de la base de la Formación Cordillera del Viento; b) Contacto erosivo entre la Dacita Sofía y la Formación Huaraco en la Quebrada del arroyo del Torreón. DS-C: Dacita Sofía; H-C: Formación Huaraco; CV-J: Formación Cordillera del Viento; c) Óndulas 3D simétricas desarrolladas en areniscas de grano medio; d) Laminación paralela en areniscas de grano medio a fino; e) Estratificación cruzada de tipo *hummocky* en areniscas finas y fangolitas; f) Laminación heterolítica de tipo ondulítica desarrollada en niveles basales de la unidad.

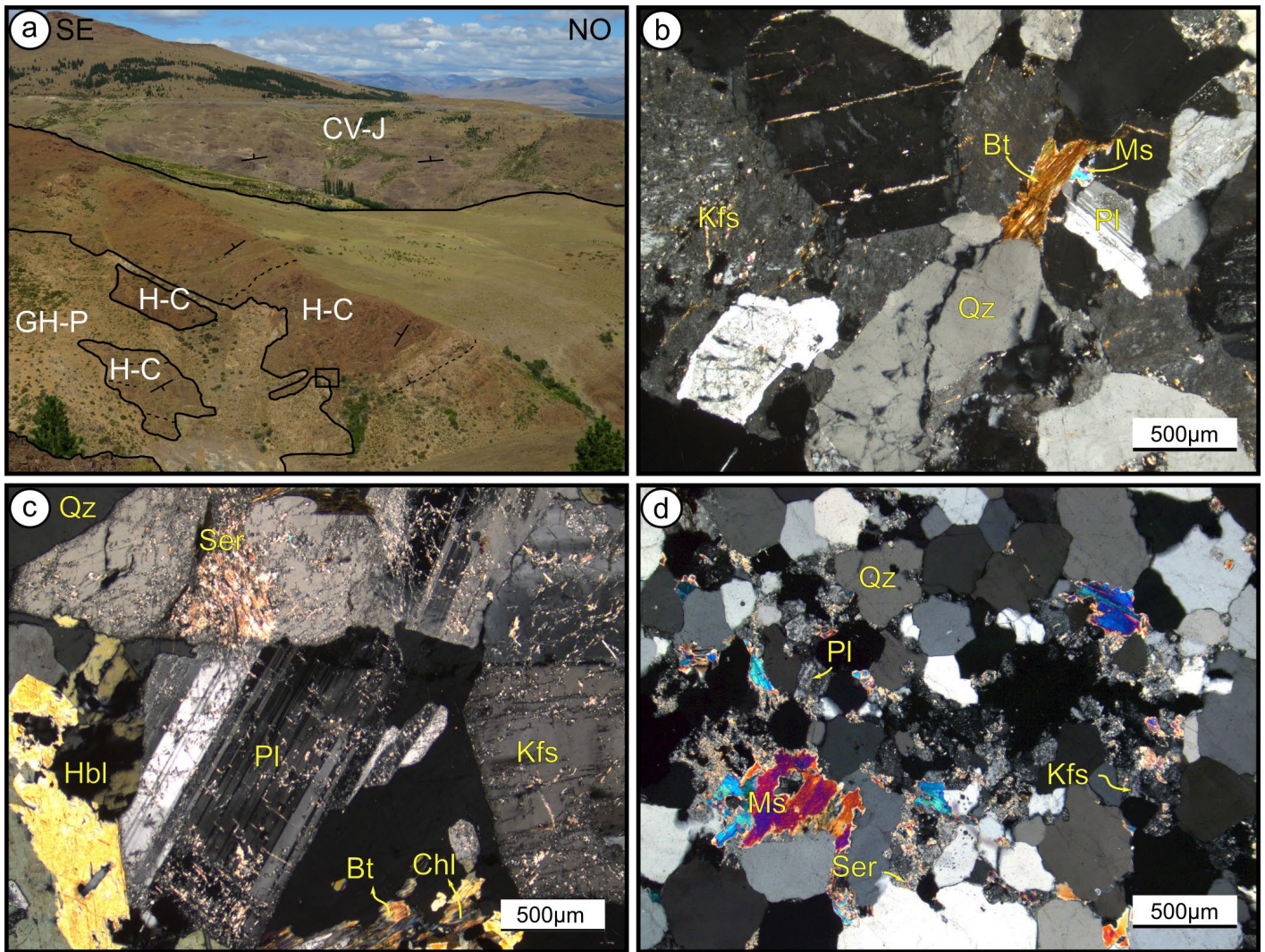


Figura 6. Fotografías correspondientes al Granito Huingancó: a) Contacto intrusivo del Granito Huingancó en la Formación Huaraco donde se pueden visualizar grandes bloques de la unidad sedimentaria incorporados dentro del granito en el sector del arroyo Huaraco. Detalle del contacto. También se observa la discordancia angular entre la Formación Huaraco y la Formación Cordillera del Viento. H-C: Formación Huaraco; GH-P: Granito Huingancó; CV-J: Formación Cordillera del Viento; b) Microfotografía con polarizador de la facies granítica con textura equigranular xenomórfica a hipidiomórfica con cuarzo (Qz), feldespato potásico (Kfs) dominantes sobre plagioclasa (Pl), biotita (Bt) y muscovita (Ms); c) Microfotografía con polarizador de la facies granodiorítica con textura granular hipidiomórfica con plagioclasa (Pl) y feldespato potásico reemplazados por sericita (Ser), hornblenda (Hbl), cuarzo (Qz) y biotita (Bt) reemplazada por clorita (Chl); d) Fotomicrografía con polarizador del dique aplítico equigranular de grano fino de cuarzo (Qz) dominante, muscovita (Ms) y feldespatos reemplazados por sericita (Ser).

do, Manto-Carlita y Juanita (Figs. 2a y 3a). Acompañando a este sistema se observan fallas con orientación ENE-OSO buzantes hacia el NO, de características normales de componente oblicua.

En base a características texturales y mineralógicas se diferenciaron en esta unidad dos secuencias: la secuencia ignimbrítica riodacítica formada por ignimbritas silíceas y la secuencia andesítica representada por mantos volcánicos y escasas ignimbritas.

La secuencia ignimbrítica riodacítica aflora en el sector oeste del área de estudio. Se extiende en una faja de afloramientos discontinuos, a ambos lados del río Neuquén sobre la ciudad de Andacollo y un afloramiento cercano a la localidad de Huingancó (Fig. 3a). Estratigráficamente se la considera la

base de la unidad ya que se apoya en discordancia angular y erosiva sobre la Formación Huaraco (Figs. 3a, 5a y 6a).

En el campo, las rocas asignadas a la secuencia ignimbrítica riodacítica se presentan como mantos estratificados de gran potencia de tonalidades violáceas cubriendo en discordancia angular unidades carboníferas. Las capas tienen espesores de 5 a 10 m y se encuentran basculadas y buzantes entre 20° y 30° hacia el SO. Se reconocieron troncos fosilizados hacia la base de la unidad, presentes en afloramientos al norte de la zona de estudio.

En su base las rocas contienen gran cantidad de fragmentos líticos de tobas, areniscas, lutitas y volcanitas. A medida que se asciende en la columna, es frecuente la presencia de *fiammes* de buen desarrollo y forma de huso con tonalidades

más oscuras, acompañadas de fenocristales de plagioclasa levemente orientados.

Al microscopio se observan cristales de plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico, muscovita y minerales opacos. La matriz es vítrea, compuesta por fragmentos de pómez y trizas vítreas (Figs. 7a y b). La alteración afecta a un 9 % de la roca y está representada por la asociación sericita + epidoto + cuarzo + calcita. La sericita se presenta diseminada y la calcita forma venillas micrométricas que atraviesan la roca. El epidoto forma parches que se distribuyen irregularmente en la pasta. El cuarzo microcristalino reemplaza los fragmentos vítreos.

La secuencia andesítica aflora en el sector sur del área re-

levada y exhibe coloraciones oscuras y violáceas en bancos de gran espesor y basculados hacia el SO (Fig. 6a). Presenta alteración propilítica muy intensa, donde las texturas originales se encuentran obliteradas.

Si bien el contacto de estas rocas con la Formación Huairaco está dado por una falla-veta que buza 52° al SE denominada Rosario-Peludo (Fig. 2a), es posible reconocer un importante cambio en el ángulo de buzamiento entre ambas unidades (Fig. 5a). La misma relación se observa sobre el Granito Huingancó donde se reconocieron superficies erosivas irregulares.

La base de la secuencia andesítica en el cerro Las Minas (Fig. 3a) presenta un fino nivel de conglomerados seguido por

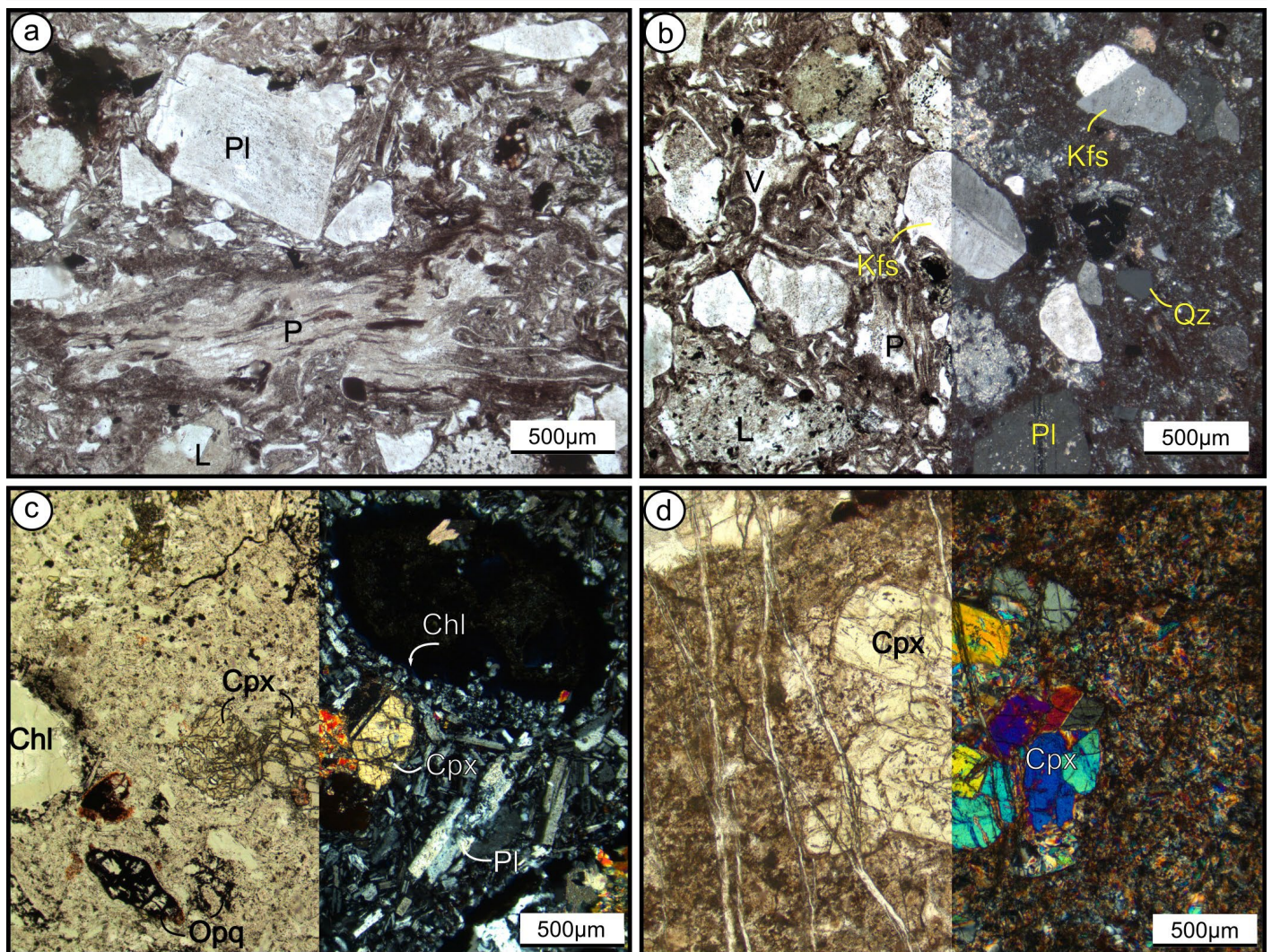


Figura 7. Microfotografías de la Formación Cordillera del Viento; a-b) Secuencia ignimbrítica riodacítica: a) Microfotografía con analizador de un fragmento de pómez (P), un fenocristal de plagioclasa (Pl) y un fragmento lítico (L); b) Microfotografía con analizador (izquierda) y con polarizador (derecha), con cristaloclastos de feldespato potásico (Kfs), plagioclasa (Pl) y cuarzo (Qz), vitroclastos (V) y pómez (P), y litoclastos (L) de rocas volcánicas y piroclásticas. c-d) Secuencia andesítica; c) Microfotografía con analizador (izquierda) y polarizador (derecha) de textura porfírica donde se muestra un cúmulo central de fenocristales de clinopiroxeno (Cpx) y textura intergranular de la pasta con un enrejado de plagioclasa (Pl), minerales máficos y minerales opacos (Opq). Se muestran vesículas rellenas con clorita (Chl); d) Microfotografía con analizador (izquierda) y polarizador (derecha) de la Formación Cordillera del Viento, donde se observa un cúmulo de clinopiroxenos (Cpx) relictos y la pasta alterada, epidoto y sílice, con venillas de calcita.

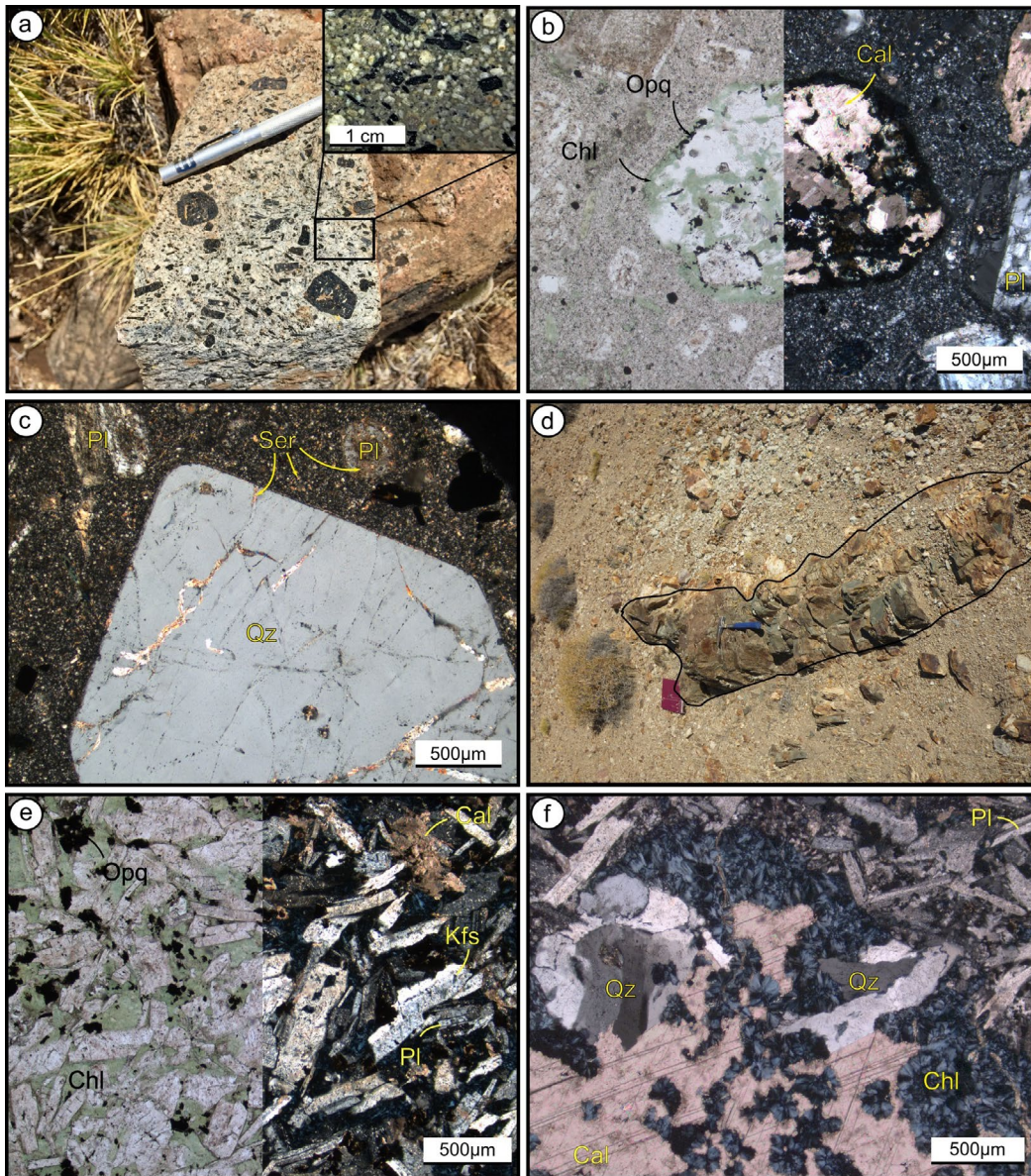


Figura 8. Fotografías correspondientes al pórfido fenodacítico y diques afaníticos: a) Afloramiento del pórfido fenodacítico con anfíboles de hasta 4 cm; b) Microfotografía del pórfido fenodacítico con analizador (izq) y polarizador (der), de un anfíbol alterado a clorita (Chl), calcita (Cal) y minerales opacos (Opq), Fenocristales de plagioclasa (Pl) inmersos en una pasta felsítica; c) Sección longitudinal de cuarzo (Qz) con microfracturas rellenas por sericita (Ser) del pórfido fenodacítico. Sericita reemplaza la pasta y los bordes de la plagioclasa (Pl); d) Diques afaníticos intruyen a la Formación Arroyo del Torreón; e) Microfotografía con analizador (izquierda) y polarizador (derecha) de la textura intersertal de los diques afaníticos formada por cristales de feldespato potásico (Kfs), plagioclasa (Pl) y minerales opacos (Opq) interdigitados rodeados por calcita (Cal) y clorita (Chl); f) Microfotografía con polarizador de los diques afaníticos donde se visualiza una vesícula rellena con calcita (Cal), clorita (Chl) y cuarzo (Qz).

una sucesión volcánica. El conglomerado es de tipo polimíctico clasto-sostén con matriz completamente alterada a arcillas de colores claros.

Macrosópicamente las rocas de la secuencia andesítica presentan textura porfírica compuesta por fenocristales de plagioclasa, minerales máficos y opacos inmersos en una pasta afanítica de tonalidades oscuras. Un rasgo típico de estas rocas volcánicas es la presencia de vesículas esféricas. Sobre las rocas volcánicas afloran tobas con textura eutaxítica.

Al microscopio las andesitas exhiben textura porfírica con pasta intergranular, formada por fenocristales subhedrales a euhedrales de piroxeno (augita) generalmente presentes en cúmulos, plagioclasa y minerales opacos (Fig. 7c). La pasta está compuesta por plagioclasa de composición andesina, minerales opacos y clinopiroxeno subordinado.

Se reconoce en estas rocas alteración propilítica caracterizada por la asociación clorita + calcita + epidoto + cuarzo ± zeolitas que se presenta como relleno de vesículas. Además, venillas de calcita atraviesan la roca y cristales de epidoto rellenan diaclasas. En cercanías de las fallas y estructuras mineralizadas, la calcita, el epidoto y el cuarzo forman un agregado microcristalino que reemplaza la pasta y en esos sectores los minerales secundarios pueden representar hasta un 80 % de la roca (Fig. 7d).

Pórfido fenodacítico: La unidad presenta afloramientos dispersos y discontinuos entre 15 y 20 m de diámetro próximos al Granito Huingancó, en el sector sureste del mapa (Fig. 3a). Los contactos con el mismo se encuentran cubiertos por fragmentos de roca meteorizada, sin embargo, Pernich (2021) describe “dacitas anfibólicas” con contactos intrusivos con el Granito Huingancó.

Cuadro 1: Análisis químicos de rocas ígneas aflorantes en el Distrito Minero Andacollo.

Muestra	AD1	AD08	AD15	AD13	AD7	AD14	A6
Unidad	Formación Arroyo del Torreón	Dacita Sofia	Granito Huigancó	Dique aplítico (Granito Huigancó)	Formación Cordillera del Viento	Pórfido fenodacítico	Diques afaníticos
Ubicación	S 37°10'47.6" O 70°39'16.4"	S 37°10'42.1" O 70°38'19.1"	S 37°11'52.5" O 70°36'48.8"	S 37°11'48.8" O 70°37'03.2"	S 37°10'51.9" O 70°39'18.3"	S 37°11'50.1" O 70°36'51.9"	S 37°10'51.3" O 70°39'16.1"
SiO ₂	68.51	72.58	60.51	77.15	74.57	62.92	72.11
TiO ₂	0.24	0.15	0.78	0.09	0.35	0.45	0.2
Al ₂ O ₃	17.3	13.71	15.36	12.28	13.42	17.37	13.52
Fe ₂ O ₃	2.4	1.81	6.78	0.74	2.82	4.28	2.36
MnO	0.05	0.02	0.13	0.01	0.04	0.12	0.03
MgO	0.26	0.23	3.78	0.2	0.31	1.93	0.28
CaO	0.69	0.57	5.02	0.1	0.97	4.58	1.5
Na ₂ O	7.35	4.21	2.5	2.4	4.81	3.9	4.07
K ₂ O	1.61	4.36	2.82	5.58	1.53	1.67	3.61
P ₂ O ₅	0.07	0.04	0.16	0.03	0.02	0.15	0.05
LOI	1.44	0.9	2.23	0.92	1.77	2.3	1.88
Total	99.92	98.58	100.07	99.5	100.61	99.67	99.61
Rb	101.5	162.5	126	210	74.2	61.5	126.5
Ba	2800	728	660	586	198.5	738	781
Sr	273	153.5	251	50	84.7	528	119.5
V	21	23	172	14	26	86	31
Cr	240	350	260	220	330	210	260
Zr	242	113	235	83	208	79	151
Nb	13.5	8	10.3	4.4	8.5	6.2	6.9
La	42.7	32.2	24.1	18.1	23.4	16.3	23.6
Ce	268	62.3	55.9	42.2	53.7	33.5	43.1
Nd	37.2	19.8	27.3	16.9	25.2	15.7	13.7
Sm	7.25	3.41	5.99	3.57	5.2	2.67	2.06
Eu	1.03	0.49	0.95	0.31	1.26	0.89	0.6
Gd	7.28	2.71	5.3	2.77	4.93	2.85	2.18
Dy	7.05	2.98	5.13	2.03	4.7	2.3	2.36
Er	4.2	1.82	2.96	1.2	2.79	1.59	1.65
Yb	4.2	1.82	2.96	1.2	2.79	1.59	1.65
Y	40.5	19.1	30.6	12.1	27.1	15.9	16.9
Ga	15.9	13.3	18.1	11.8	10.8	17.1	11.1
Sn	5	4	4	3	2	1	2
Cs	8.83	3.19	5.64	7.42	12.8	10.7	5.8
Pr	9.3	5.88	6.55	4.53	6.08	3.82	4.09
Tb	1.05	0.41	0.76	0.35	0.72	0.4	0.35
Ho	1.54	0.7	1.07	0.46	0.99	0.52	0.51
Tm	0.66	0.34	0.45	0.21	0.44	0.23	0.28
Lu	0.69	0.4	0.47	0.22	0.53	0.29	0.34
Hf	7.5	4	7.1	3.7	5.5	2.4	4.8
Ta	1.4	0.7	0.7	0.2	0.3	0.3	0.5
W	4	2	2	2	2	1	2
Th	18.1	21.8	18.35	36.1	6.56	5.32	17.5
U	4.44	4.87	3.46	3.72	1.7	1.4	3.43
Eu/Eu*	0.43	0.49	0.99	0.52	0.76	0.3	0.87
La _N /Yb _N	6.85	11.93	6.91	5.49	5.56	10.17	9.64

Macroscópicamente, se trata de una roca de color gris, de textura porfírica y pasta afanítica (Fig. 8a). Al microscopio, se observan fenocristales de plagioclasa, cuarzo y anfíbol inmersos en una pasta felsítica microcristalina alterada (Fig. 8b y c). Los fenocristales de plagioclasa son subhedrales y se encuentran zonados y los fenocristales de cuarzo presentan un desarrollo cristalino euhedral (Fig. 8c). Los fenocristales de anfíbol se encuentran completamente reemplazados por minerales secundarios (Fig. 8b). La moda mineralógica indica una roca de composición fenodacítica.

La alteración hidrotermal afecta entre el 20 y 25% del volumen de la roca donde se reconoce sericita + cuarzo + calcita + clorita + minerales opacos. La sericita reemplaza a los fenocristales de plagioclasa y se encuentra diseminada en la pasta. El cuarzo reemplaza la pasta y calcita + clorita + minerales opacos al anfíbol.

Diques afaníticos: Sobre la margen sur del arroyo del Torreón en cercanías de la localidad de Huaraco, afloran diques afaníticos de color verde oscuro y de 1 m de espesor (Fig. 8d). Intruyen a las formaciones Arroyo del Torreón, Huaraco y Cordillera del Viento con contactos irregulares y discontinuos.

Macroscópicamente, presentan coloración gris oscura, textura porfírica en el centro y afanítica en los bordes. Al microscopio se observa una textura intersertal formada cristales de feldespato potásico, plagioclasa y minerales opacos interdigitados inmersos en una pasta completamente reemplazada por minerales hidrotermales (Fig. 8e) con minerales opacos diseminados y vesículas (Fig. 8f). En base a la moda mineralógica la roca fue clasificada como fenoandesita.

La alteración representa un 50% del total de la roca con la asociación clorita + sericita + carbonato + cuarzo. La clorita,

de hábito radial y color de interferencia azul, y el carbonato rellenan las vesículas y reemplazan a la pasta. La sericita reemplaza parcialmente a la plagioclasa y rellena venillas irregulares que cortan la muestra. El cuarzo se concentra en los bordes de las vesículas formando cristales con extinción ondulosa.

Geoquímica

Los resultados de los análisis geoquímicos sobre roca total en 7 muestras de las unidades aflorantes en el sector cerro Las Minas del Distrito Minero Andacollo se presentan en el Cuadro 1.

Las muestras que pertenecen a las unidades pre-pérmicas corresponden a la Formación Arroyo del Torreón (AD1) y la Dacita Sofía (AD8); las pérmicas al Complejo plutónico-volcánico Huigancó, facies granodiorítica (AD15) y dique aplítico (AD13) y las post-pérmicas corresponden a la secuencia ignimbrítica riodacítica de la Formación Cordillera del Viento (AD7), pórfido fenodacítico (AD14) y diques afaníticos (AD6).

Rocas pre-pérmicas

Las muestras analizadas de la Formación Arroyo del Torreón y Dacita Sofía corresponden a rocas con un alto porcentaje de SiO₂, con valores de 69 % y 74 % respectivamente. Los óxidos de elementos minoritarios como MnO, P₂O₅ y TiO₂ no superan el 1 % en peso (Cuadro 1). En el diagrama AFM de Irvine y Baragar (1971) ambas rocas pertenecen a las series calco-alcálicas situadas en el extremo de los álcalis (Fig. 9a).

Debido a la pérdida de elementos alcalinos producto de la alteración hidrotermal que las afecta, se utilizó el diagrama

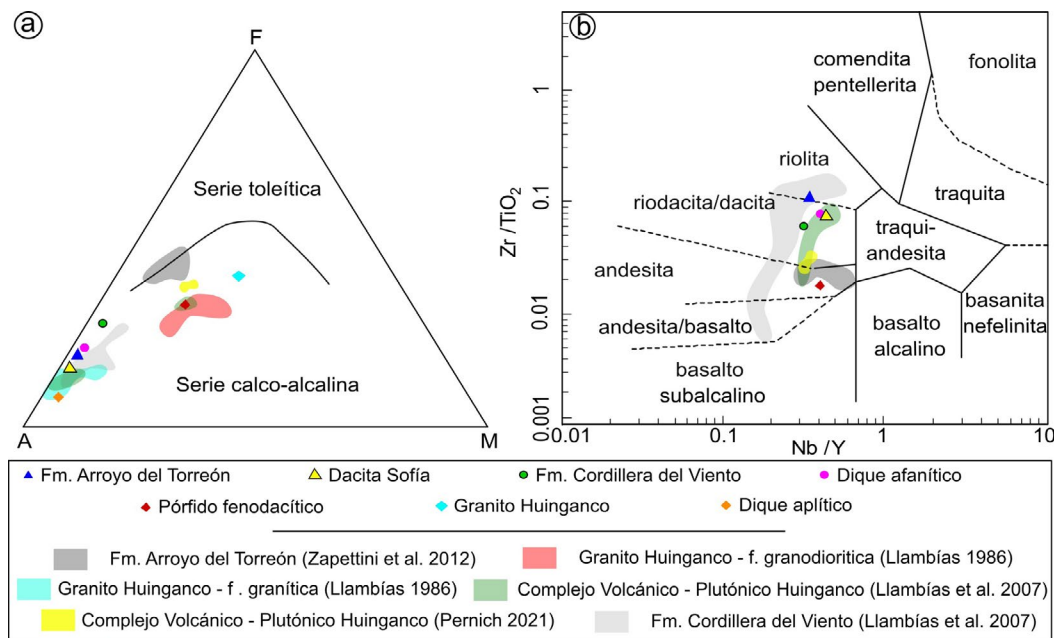


Figura 9. a) Diagrama AFM de Irvine y Baragar (1971), donde A=álcalis, F=FeO+Fe₂O₃ y M=MgO; b) Diagrama clasificatorio de Nb/Yb vs Zr/TiO₂ de Winchester y Floyd (1977).

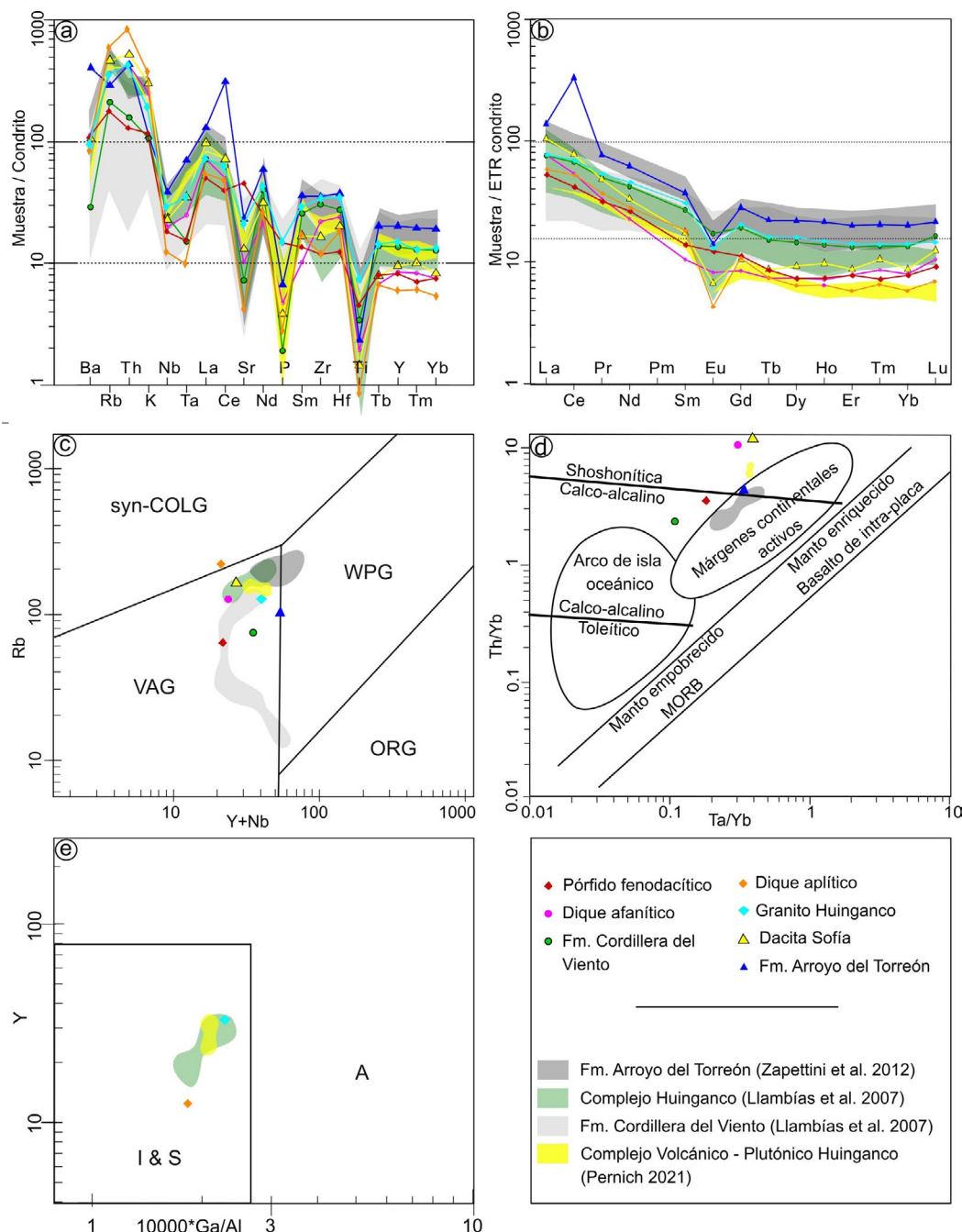


Figura 10. a) Diagrama spider de elementos traza normalizados a Condrito de Thompson (1982); b) Diagrama spider de Boynton (1984) de ETR normalizado a Condrito; c) Diagrama de discriminación tectónica de Pearce et al. (1984), donde VAG=granitos de arco volcánico, syn-Colg=granitos de colisión, WPG=granitos de intra arco y ORG=granitos de dorsal oceánica; d) Diagrama de Th/Yb-Ta/Yb (Pearce 1983); e) Diagrama de discriminación tectónica para granitos de Whalen et al. (1987).

clasificadorio de Nb/Yb versus Zr/TiO₂ de Winchester y Floyd (1977) donde la Formación Arroyo del Torreón se ubica en el campo de las riolitas y la Dacita Sofía en el de las riolodacitas/dacitas (Fig. 9b).

El diagrama *spider* expandido de Thompson (1982) normalizado a Condrito de la figura 10a muestra un importante enriquecimiento en elementos litófilos de alto radio iónico (LILE: *large-ion lithophile elements*) como Ba, Rb, Th, K, La y Ce, y con anomalías negativas en los elementos Nb, Sr, P y en especial Ti para ambas unidades. Asimismo, los ETR se encuentran enriquecidos entre 7 y 300 veces con respecto al Condrito, con patrones de enriquecimiento de ETRL (ele-

mentos de tierras raras livianas) sobre ETRP (elementos de tierras raras pesadas) evidenciados por relaciones de (La/Yb)_N de 6.85 y 11.93, respectivamente. Ambas unidades, presentan anomalías negativas de Eu* (Fig. 10b; Cuadro 1). Los patrones en diagramas multielementos de ambas unidades presentan similitudes, sin embargo, la Formación Arroyo del Torreón se encuentra más enriquecida en elementos traza y tierras raras que la Dacita Sofía.

En el diagrama de discriminación tectónica para granitos de Pearce et al. (1984) los valores de Ta+Yb ubican la Dacita Sofía dentro del campo de granitos de arco volcánico (VAG) y a la Formación Arroyo del Torreón en el límite de este con

granitos de intra-arco (WPG), coincidente con la geoquímica realizada por Zappettini et al. (2012) para la misma unidad en la zona de Varvarco (Fig. 10c). Asimismo, ambas muestras se ubican en el campo shoshonítico dentro y próxima al campo de márgenes continentales activos (Pearce 1983, Fig. 10d).

Rocas pérmicas

El Complejo plutónico-volcánico Huigancó presenta valores de SiO_2 que oscilan entre 61 % y 78 %, siendo la facies granodiorítica la más básica y el dique aplítico la más ácida (Cuadro 1). Asimismo, todas las muestras corresponden a la serie calco-alcalina (Fig. 9a).

En el diagrama spider expandido normalizado a Condrito (Thompson 1982) de la figura 10a se observa que las dos rocas analizadas presentan patrones similares. En general exhiben un enriquecimiento en LILE, con anomalías negativas de Ba, Nb, Ta, Sr, P y Ti. Los elementos de tierras raras presentan un enriquecimiento entre 4 y 78 veces con respecto al Condrito (Boynnton 1984). El patrón del diagrama spider muestra un enriquecimiento en ETRL con respecto a ETRP, con relaciones $(\text{La}/\text{Yb})_N$ entre 5.49 y 10.17. Las rocas del complejo presentan anomalía negativa de Eu^* (Cuadro 1, Fig. 10b).

En base a los diagramas de discriminación de Pearce et al. (1984), las rocas del complejo se sitúan dentro del campo de granitos de arco volcánico, excepto el dique aplítico que se encuentra en el límite con granitos colisionales (Fig. 10c). Asimismo, las facies plutónicas clasifican como granitos tipo I y S (Whalen et al. 1987, Fig. 10e).

Rocas post-pérmicas

Las unidades post-pérmicas corresponden a rocas de composición intermedia a ácida en base al porcentaje de SiO_2 , donde la muestra de la secuencia ignimbrítica riodacítica de la Formación Cordillera del Viento presenta un valor de 75 %, el pórfido fenodacítico 64 % y los diques afaníticos 73 %. En base al diagrama AFM (Fig. 9a) las tres muestras se encuentran en el campo de las series calco-alcalinas. En el diagrama de Winchester y Floyd (1977) la muestra del pórfido fenodacítico se ubica en el campo de las andesitas, los diques afaníticos y la secuencia ignimbrítica riodacítica de la Formación Cordillera del Viento en el de riodacita/dacita (Fig. 9b).

En el diagrama spider expandido normalizado a Condrito (Thompson 1982; Fig. 10a) se observa que las muestras analizadas presentan patrones similares exhibiendo un enriquecimiento en LILE y anomalías negativas de Ba, Nb, Ta, Sr, P y Ti.

En el diagrama multielemento de Boynnton (1984), se ob-

servan patrones de enriquecimiento en ETRL sobre ETRP, con valores de $(\text{La}/\text{Yb})_N$ por encima de 10 y ausencia de anomalía negativa de Eu^* (Fig. 10b; Cuadro 1).

En base a los diagramas de discriminantes tectónicos de las figuras 10c y 10d, las tres muestras se ubican en el campo de los arcos volcánicos emplazados en márgenes continentales activos, perteneciendo la secuencia ignimbrítica riodacítica de la Formación Cordillera del Viento y el pórfido fenodacítico a las series calcoalcalinas y los diques afaníticos al campo shoshonítico.

DISCUSIÓN

Petrografía y génesis

Las texturas de las tobas finas sin evidencias de fluidalidad, fragmentos orientados o presencia de *fiames* de la Formación Arroyo del Torreón permiten inferir que se trata de depósitos de caída (Gill 2010). Sin embargo, las tobas lapilíticas que presentan clastos de rocas volcánicas de textura porfírica y areniscas (Fig. 4c) se habrían formado a partir de flujos piroclásticos que incorporan fragmentos del sustrato durante su movimiento sobre el terreno. Las texturas mencionadas en esta unidad indican que la misma se conforma tanto por depósitos de caída como por depósitos de flujo con bajo grado de soldamiento. La naturaleza piroclástica de estos depósitos indica un origen volcánico producto del ascenso de un magma viscoso de alto contenido de sílice y volátiles. Esto queda en evidencia por la presencia de tabiques y septos vítreos (Fig. 5d) que constituyen las paredes de burbujas de gas generadas por la vesiculación del magma en el ascenso por pérdida de presión en la cámara. La textura de flujo de las rocas de la Formación Arroyo del Torreón hallada en el faldeo noroccidental del cerro Las Minas (Fig. 3a) es atribuido a un evento lávico aislado o bien a la posible presencia de domos con fluidalidad relacionados al volcanismo Carbonífero. En base a las características explicadas previamente, podría tratarse de depósitos generados por erupciones subplinianas (Gill 2010), aunque para definirlo con certeza se deberían hacer estudios más detallados y demostrar el tipo de fuentes de extrusión, la extensión de los depósitos y las facies laterales.

Litológicamente, la Formación Huaraco se compone de conglomerados, areniscas y fangolitas. Los conglomerados fueron atribuidos a estratos basales de una cuenca marina, con clastos metamórficos del basamento (Ectinitas Guaraco Norte, Rovere et al. 2004, Dicaro et al. 2022), tobas y vetas de cuarzo (Formación Arroyo del Torreón) y volcanitas porfíricas (Dacita Sofía). Conglomerados presentes en distintos sectores de la columna, indicarían facies fluviales de alta energía

provenientes del continente, especialmente hacia el tope de la columna (Rovere et al. 2004, Zappettini et al. 2012). La secuencia presenta una clara predominancia de fangolitas por sobre las otras litologías, lo que indica un fondo marino de baja energía de plataforma interna (Rovere et al. 2004) donde predominó la decantación.

Llambías (1986) describe dos grandes cuerpos del Granito Huingancó, un stock granodiorítico hacia el sudeste, coincidente con la zona de estudio, y un stock granítico en los afloramientos presentes al norte de la zona de estudio, entre los arroyos Manzano y Rahue-Có. En el área de trabajo, el intrusivo está conformado por dos facies: granítica en los bordes y granodiorítica en el centro, coincidente con la zonalidad inversa descripta por Pernich (2021).

La denominada secuencia ignimbrítica riodacítica de composición fenodacítica del cerro El Torreón asignada a la Formación Cordillera del Viento presenta un intenso grado de soldamiento, con *fiammes* de gran desarrollo, lo que indica la presencia de ignimbritas coincidente con lo descripto por Llambías et al. (2007). Los depósitos ignimbríticos se asocian a magmas más bien félsicos vinculados a erupciones de tipo plinianas (Gill 2010). Generalmente se atribuyen al colapso de columnas eruptivas verticales, colapso de erupciones explosivas simples o series explosivas en breves períodos de tiempo (McPhie et al. 1993). Los troncos fósiles hallados en los afloramientos al norte de la zona de estudio en la base de la unidad, indicarían que las corrientes piroclásticas densas avanzaron por superficies vegetadas de tipo leñosa. La secuencia andesítica de la Formación Cordillera del Viento aflorante al sur de la zona de estudio, consiste en rocas de composición fenoandesítica con una alteración propilítica muy intensa, caracterizada por la asociación epidoto + clorita + calcita + cuarzo (Fig. 7c y d) coincidente con lo descripto por Llambías et al. (2007) en el extremo sur de la Cordillera del Viento.

El evento volcánico que dio origen a las rocas de la Formación Cordillera del Viento y a las unidades volcánicas posteriores (Formación Milla Michicó y Formación La Primavera), extruyó un importante volumen de material mesosilíceo bimodal, el cual cubre la mayor parte de la cordillera homónima, y que Llambías et al. (2007) interpretan como flujos de bloques y cenizas, probablemente producidos por colapso de domos. La abundancia de vesículas indicaría un magma con alto contenido en volátiles (principalmente vapor de agua) con un ascenso rápido, lo cual podría haber generado una vesiculación post erupción (Gill 2010).

Geoquímica

Rovere et al. (2004) y Zappettini et al. (2012) definen

composiciones dacíticas con fases riodacíticas y andesíticas para las rocas de la Formación Arroyo del Torreón. En el diagrama presentado, las rocas de la Formación Arroyo del Torreón se ubican en el límite entre los campos de las riolitas y las riodacitas/dacitas y la muestra de la Dacita Sofía plotea como riodacita/dacita (Fig. 9b).

La secuencia ignimbrítica riodacítica de la Formación Cordillera del Viento muestra una discrepancia entre la clasificación modal y la geoquímica. Según la clasificación modal las rocas corresponden a fenoandesitas (Streckeisen 1978) mientras que en el diagrama de Winchester y Floyd (1977) estas rocas se ubican en el campo riodacita/dacita (Fig. 9b). Dado que la plagioclasa representa un 70 % de los fenocristales, se interpreta que el vidrio volcánico de la pasta es altamente silíceo y alcalino.

Los diques afaníticos fueron descriptos al microscopio como fenolitas dada la ausencia de cuarzo, sin embargo, en el diagrama de la figura 9b clasifican dentro del campo riodacita-dacita. Esto puede deberse a que la alteración del mismo es intensa, con un gran porcentaje de vesículas rellenas con clorita, carbonatos y cuarzo, modificando la química de los mismos. Por su parte, el pórfido fenodacítico también presenta discrepancias, dado que la clasificación modal al microscopio arroja una composición fenodacítica y en el diagrama clasificatorio de Winchester y Floyd (1977) clasifica como andesita. Por lo tanto, las diferencias entre la clasificación modal y la obtenida a partir de datos geoquímicos, se adjudican a la alteración hidrotermal presente en las rocas de la zona de estudio.

Las características químicas de las rocas ígneas estudiadas indican una tendencia calco-alcalina (Fig. 9a), con contenidos de SiO₂ entre 60 % y 77 %, indicando la presencia de series magmáticas silíceas. Si bien la signatura geoquímica de todas ellas presenta importantes similitudes perceptibles en los gráficos geotectónicos y diagramas spider, se observan diferencias entre rocas pre-pérmicas, pérmicas y post-pérmicas.

Las rocas analizadas dentro del Distrito Minero Andacollo presentan anomalías negativas de Nb y Ta (Fig. 10a), clara evidencia de arco volcánico. No obstante, la subducción en el margen continental gondwánico se desarrolló de manera continua desde el Devónico Tardío hasta el Pérmico según lo descripto por Llambías et al. (2007). Un mecanismo de metasomatismo del manto durante la subducción (Zappettini et al. 2018) explicaría la signatura geoquímica de arco continental presente en las rocas post-pérmicas. Estas rocas de arco, plotean próximas al campo de zonas de márgenes continentales activos en base a los diagramas geotectónicos de elementos traza (Fig. 10c y d). Las muestras de la Formación

Arroyo del Torreón, la Dacita Sofía y los diques afaníticos, se ubican dentro del campo shoshonítico (Fig. 10d), lo cual es atribuible a subducción (Morrison 1980) o a regímenes extensionales postorogénicos más evolucionados (Pe-Piper et al. 2009).

El Granito Huingancó se ubica en el campo de las rocas graníticas de tipo I y S (Fig. 10e). En base a la comparación de los análisis químicos presentados por Llambías (1986) y Pernich (2021) con los del presente trabajo, se obtuvo una tendencia evolutiva muy clara de la serie calco-alcalina. Las muestras estudiadas se encuentran en los extremos de dicha serie, con la muestra granodiorítica hacia el extremo más primitivo de la evolución y el dique aplítico en los estadios finales (Fig. 9a). A su vez, comparando el sector en el que aflora cada facies del cuerpo, se puede afirmar que los estadios más evolucionados se hallan hacia el norte de la localidad de Huingancó (Fig. 3a), con facies de composición monzogranítica (Pernich 2021).

La geoquímica de los diques afaníticos y del pórfido fenodacítico difiere de las rocas pérmicas y pre-pérmicas analizadas. En el diagrama multielemento de Boynton (1984), muestran patrones de mayor enriquecimiento en ETRL sobre ETRP, con valores de $(La/Yb)_N$ por encima de 10 y ausencia de anomalía negativa de Eu^* (Fig. 10b). La sutil pendiente en ETRL y horizontalidad en ETRP es una particularidad frecuente en rocas calco-alcalinas de Los Andes, caracterizadas además por la ausencia de anomalías negativas de Eu^* que podrían reflejar una pobre diferenciación magmática en la corteza o bien una cristalización en un medio oxidante (Llambías et al. 2007). Al no corresponderse geoquímicamente con las unidades analizadas, estas rocas corresponderían a eventos magmáticos más modernos, así como lo muestran las relaciones estratigráficas observadas específicamente con los diques afaníticos, que cortan todas las unidades carboníferas y triásicas reconocidas en el área. Dentro del Complejo volcánico-plutónico Huingancó (intruyendo la facies monzogranítica y granodiorítica) en el arroyo El Manzano y Huingancó fueron descriptos diques de composición andesítica (Pernich 2021) que, si bien comparten características petrográficas con las de los diques afaníticos (Figs. 8e y f), la composición química es diferente. Diques porfíricos dacíticos aflorantes en el Distrito Minero Andacollo (71 ± 1 Ma; Pons et al. 2023) podrían ser correlacionables con los diques afaníticos por presentar relaciones de campo similares. Para el pórfido fenodacítico no fueron encontradas en las zonas mapeadas relaciones estratigráficas claras, ni similitudes geoquímicas que lo vinculen a algún evento magmático representado por las rocas analizadas en el presente trabajo. Cuerpos similares fueron descriptos cortando al Gra-

nito Huingancó y asignados al grupo Naunauco (Pons et al. 2022, Pernich 2021, Fig. 3b).

CONCLUSIONES

Los afloramientos de la Formación Arroyo del Torreón en la zona de estudio están compuestos por tobas y tobas lapilíticas con predominancia de componentes líticos y vítreos que se encuentran silicificadas y sericitizadas. Representan depósitos de caída y de flujo piroclástico correspondientes a eventos explosivos altamente silíceos con eventos efusivos aislados. La Dacita Sofía está constituida por pequeños cuerpos subvolcánicos de composición dacítica/riodacítica shoshoníticos de naturaleza intrusiva. Las rocas pérmicas están representadas por El Complejo volcánico-plutónico Huingancó, formado por cuatro facies asociadas a un mismo evento magmático: facies granodiorítica, facies granítica, facies pegmatítica y facies aplítica.

Las rocas post-pérmicas en la zona de estudio están constituidas por la Formación Cordillera del Viento, el pórfido fenodacítico y los diques afaníticos. El volcanismo de la Formación Cordillera del Viento presenta una composición bimodal. La secuencia ignimbrítica riodacítica está formada principalmente por ignimbritas de composición riolítica, resultado de la extrusión de magmas ácidos en forma de corrientes piroclásticas densas, y la facies andesítica que se conforma principalmente por fenoandesitas vesiculadas y se asocia a erupciones mesosilíceas con alto contenido de volátiles. El pórfido fenodacítico intruye al Complejo volcánico-plutónico Huingancó y los diques afaníticos a las formaciones Arroyo del Torreón, Huaraco y Cordillera del Viento con contactos irregulares.

Químicamente las rocas analizadas presentan valores de SiO_2 que oscilan entre 61 y 78 %, ubicándose en el campo de los arcos volcánicos emplazados en márgenes continentales activos. En general, exhiben patrones de enriquecimiento en LILE, y anomalías negativas de Nb, Sr, P y Ti. Muestran enriquecimiento en ETR respecto al Condrito, y ETRL enriquecidas con respecto a ETRP. Los patrones de mayor enriquecimiento los presentan las rocas post-pérmicas, que a diferencia de las rocas pre-pérmicas y pérmicas muestran ausencia en la anomalía negativa de Eu^* .

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del Trabajo Final de Licenciatura de Juan Ignacio Capomassi que se financió con fondos del

Departamento de Geología de la UNS, con el proyecto PGI 24/ZH24 “Las vetas epitermales y mineralización diseminada del Distrito Minero Andacollo, provincia del Neuquén, República Argentina” y con el proyecto CONICET PUE0047CO. A las instituciones nombradas expresamos nuestro sincero agradecimiento. Agradecemos también, a la Dra. María Agustina Cocola por la ayuda brindada en las tareas de campo e interpretación de los datos obtenidos. Y agradecemos, muy especialmente a la revisora del trabajo, Dra. Josefina Pons y a los editores Dr. Diego Kietzmann y Dra. Marta Franchini, por sus valiosos aportes a este manuscrito, ya que permitieron mejorar sustancialmente la calidad del mismo.

REFERENCIAS

- Arregui, C., Carbone, O. y Leanza, H.A. 2011. Contexto tectosedimentario. En: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés J.M. (eds), Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén. 29-36, Neuquén.
- Azcuy, C.L. y Caminos, R. 1987. Diastrofismo. En: Archangelsky, S. (ed.), El Sistema Carbonífero en la República Argentina, Academia Nacional de Ciencias: 239-251, Córdoba.
- Boynnton, W.V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. En: Henderson, P. (ed.), Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier: 63-114, Amsterdam.
- D'Annunzio, M.C., Strazzere, L. y Tamborindeguy, M. 2016. Caracterización geológica y mineralógica del sistema de vetas epitermales este-oeste del Distrito Minero Andacollo, Provincia de Neuquén. Acta Geológica Lilloana 28(1): 112-116.
- D'Annunzio, M.C., Strazzere, L. y Pavón Pivetta, C. 2017. Características Geológicas y Mineralógicas del sistema de vetas E-O del Distrito Minero Andacollo. 20° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 28-30, Tucumán.
- Dicaro, S., Pons, M.J., González, S.N., y Greco, G.A. 2022. Estratigrafía de los cerros San Pedro y Los Pajaritos, Distrito Minero Andacollo, Neuquén. 21° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 39-40, Puerto Madryn.
- Domínguez, E., Alliota, G., Garrido, M., Danieli, J., Ronconi, N., Casé, A. y Palacios, M. 1984. Los Maitenes-El Salvaje. Un sistema hidrotermal de tipo porfirico. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 7: 443-458, San Carlos de Bariloche.
- Fisher, R.V. 1966. Mechanism of deposition from pyroclastic flows. American Journal of Science 264: 350-363.
- Giacosa, R. 2011. Geología Estructural de los depósitos vetiformes del cerro Las Minas, Distrito Minero Andacollo, Cordillera del Viento, provincia del Neuquén, SEGEMAR, Serie Contribuciones Técnicas, Recursos Minerales 33: 23. Buenos Aires.
- Giacosa, R.E., Allard, J., Foix, N. y Heredia, N. 2014. Stratigraphy, structure and geodynamic evolution of the Paleozoic rocks in the Cordillera del Viento (37° S latitude, Andes of Neuquén, Argentina). Journal of Iberian Geology 40(2): 331-348.
- Gill, R. 2010. Igneous Rocks and Processes: A Practical Guide. Geological Magazine 147(6): 990-991.
- Groeber, P. 1946. Observaciones geológicas a lo largo del Meridiano 70. Hoja Chos Malal. Revista de la Asociación Geológica Argentina 1 (3): 177-208.
- Gulisano, C.A., Gutiérrez Pleimling, A. y Digregorio, R.E. 1984. Esquema estratigráfico de la secuencia jurásica del oeste de la provincia del Neuquén. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 236-259, Buenos Aires.
- Hervé, F., Calderón, M., Fanning, C.M., Pankhurst, R.J. y Godoy, E., 2013. Provenance variations in the Late Paleozoic accretionary complex of central Chile as indicated by detrital zircons. Gondwana Research 23(3): 1122-1135.
- Hutchison, C.S. 1974. Laboratory Handbook of Petrographic Techniques, John Wiley and Sons, Inc.: 234-240, New York.
- Irvine, T.N. y Baragar W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common rocks. Canadian Journal of Earth Sciences 8: 523-548.
- Kay, S., Burns, M., Copeland, P. y Mancilla, O. 2006. Upper Cretaceous to Holocene magmatism and evidence for transient Miocene shallowing of the Andean subduction zone under the northern Neuquén Basin. En: Kay, S. y Ramos, V. (eds.), Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39°S lat). Geological Society of America Special Paper 407: 19-60, Boulder.
- Leanza, H.A., Llambías, E.J. y Carbone, O. 2005. Unidades estratigráficas limitadas por discordancia en los depocentros de la Cordillera del Viento y la sierra de Chacaico durante los inicios de la cuenca Neuquina. 6° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos. Edición en CD: 1-13, Mar del Plata.
- Llambías, E.J. 1986. Intrusivos pérmicos del sur de la Cordillera del Viento, provincia del Neuquén. Revista de la Asociación Geológica Argentina 41(1-2): 22-32.
- Llambías, E.J., Leanza, H.A. y Carbone, O. 2007. Evolución tectono-magmática durante el Pérmico al Jurásico Temprano en la Cordillera del Viento (37°05'S-37°15'S): Nuevas evidencias geológicas y geoquímicas del inicio de la Cuenca Neuquina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 62(2): 217-235.
- Llambías, E.J. y Sato, A.M. 2011. Ciclo Gondwánico: La Provincia Magmática Choiyoi en Neuquén. 18° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 53- 62, Neuquén.
- McPhie, J., Doyle, M., y Allen, R. 1993. Volcanic Textures: A Guide to the Interpretation of Textures in Volcanic Rocks. Centre for Ore Deposit and Exploration Studies, Tasmania University Press, 196 p., Tasmania.
- Méndez, V., Zanettini J.C.M. y Zappettini, E.O. 1995. Geología y metalogénesis del Orógeno Andino Central, República Argentina, Dirección Nacional de Servicio Geológico. Anales 23: 1-190., Buenos Aires.

- Morrison, G.W. 1980. Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association. *Lithos* 13(1): 97-108.
- Pe-Piper, G., Piper, D.J.W., Koukouvelas, I., Dolansky, L.M. y Kokkalas, S. 2009. Postorogenic shoshonitic rocks and their origin by melting underplated basalts: The Miocene of Limnos, Greece. *Geological Society of America Bulletin* 121(1-2): 39-54.
- Pearce, J.A. 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. En: Hawkesworth, C.J. y Norry, M. J. (eds.) *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*: 230-249, Nantwich.
- Pearce, J.A., Harris, N.W. y Tindle, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25: 956-983.
- Pernich, S. 2021. Fábrica magnética y petrología del Complejo volcánico-plutónico Huingancó, pérmico de la Cordillera del Viento, Andes Neuquinos. Trabajo final de la Licenciatura en Geología, Universidad Nacional de Río Negro (inédita), 63 p., Roca.
- Pettijohn, F.J. 1975. *Sedimentary Rocks*. Harper and Row, 628 p., New York.
- Pons, A., D'Annunzio, M.C., Strazzere L. y Cocola M. A. 2019. Características metalogenéticas de la veta Buena Vista, Distrito Minero Andacollo, Neuquén, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 76(3): 254-262.
- Pons, M.J., Giacosa, R.E., Greco, G.A., González, S.N., Dicaro, S., Conedera, M., Nimis, P. y Bordonese, S. 2022. Silver, gold, and base metals vein systems at southern part of Cordillera del Viento, Neuquén, Argentina. 21° Congreso Geológico Argentino, Actas 16: 1599-1600, Puerto Madryn.
- Pons, M.J., Mandiberri, J., Arce, M., Greco, G.A., Musso, T.B., Fernández, M.L., Hauser, N. y González, P.A. 2023. Geología, alteración hidrotermal y mineralogía del sistema de vetas Sofía-Julia-Valencia, distrito minero Andacollo, Neuquén, Argentina. *Andean Geology* 50(1): 93-126.
- Ramos, V.A., Folguera, A. y García Morabito, E. 2011. Las provincias geológicas del Neuquén, En: Leanza, H., et al., (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Provincia del Neuquén*. 17° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 317-326, Neuquén.
- Rapela, C.W. y Llambías, E.J. 1985. La secuencia andesítica terciaria de Andacollo, Neuquén, Argentina. 4° Congreso Geológico Chileno, Actas 4: 458-488. Antofagasta.
- Rolleri, E.O. y Criado Roque, P. 1970. Geología de la provincia de Mendoza. 4° Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 2: 1-60, Mendoza.
- Rollinson, H. 1993. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman Scientific and Technical, 352 p., Essex.
- Rovere, E.I., Caselli, A., Tourn, S., Leanza, H.A., Hugo, C.A., Folguera, A., Escosteguy, L. y Geuna, S. 2004. Hoja Geológica 3772-IV, Andacollo, provincia del Neuquén. *Boletín* 298: 1-104, Buenos Aires.
- Sato, A.M., Llambías, E.J., Basei, M.A.S. y Leanza, H.A. 2008. The Permian Choiyoi Cycle in Cordillera del Viento (Principal Cordillera, Argentina): Over 25 Ma of Magmatic Activity. 5° South American Symposium on Isotope Geology, Actas: 3-6, Punta del Este.
- Strazzere, L., D'Annunzio, M.C. y Gregori D.A. 2017. Eventos de mineralización epitermal del Distrito Minero Andacollo, Neuquén, Argentina. 20° Congreso Geológico Argentino, Actas: 144-148, San Miguel de Tucumán.
- Streckeisen, A.L. 1978. IUGS Sub-commission on the Systematics of Igneous Rocks. Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites and Melilitite Rocks. Recommendations and Suggestions. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen* 141: 1-14.
- Stoll, W.C. 1957. Geología y depósitos minerales de Andacollo, provincia de Neuquén. Ministerio de Comercio e Industria de la Nación. Dirección Nacional de Minería, Anales 11: 1- 36, Buenos Aires.
- Suárez, M., de la Cruz, R., Fanning, M. y Etchart, H. 2008. Carboniferous, Permian and Toarcian magmatism in Cordillera del Viento, Neuquén, Argentina: first U-Pb shrimp dates and tectonic implications. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas: 906-907, San Salvador de Jujuy.
- Thompson, R.N. 1982. British Tertiary volcanic province. *Scottish Journal of Geology* 18: 49-107.
- Whalen J.B., Currie K.L. y Chappell B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 95: 407-419.
- Winchester, J.A. y Floyd, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 20: 325-343.
- Zamora Valcarce, G., Zapata, T., del Pino, D. y Ansa, A. 2006. Structural evolution and magmatic characteristics of the Agrio fold-and-thrust belt. *Geological Society of America Special Papers* 407: 125-145.
- Zappettini E.O., Chernicoff, C.J., Santos Dalpone, M., Belousova, E. y McNaughton, N. 2012. Retrowedge-related Carboniferous units and coeval magmatism in the northwestern Neuquén province, Argentina. *International Journal of Earth Sciences* 101: 2083-2104.
- Zappettini, E.O., Lagorio, S.L., Dalponte, M., Orestes, J. y Belousova, E. 2018. Evidencias de magmatismo precuyano (Pliensbachiano - Toarciano) en el norte de la Cordillera del Viento, provincia del Neuquén: caracterización geoquímica, isotópica e implicancias tectónicas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 75(4): 533-558.
- Zöllner, W. y Amos, A.J. 1955. Acerca del Paleozoico superior y Triásico del cerro La Premia, Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 10(2): 127-135.
- Zöllner, W. y Amos, A.J. 1973. Descripción geológica de la Hoja 32b, Chos Malal, provincia del Neuquén. Servicio Geológico Minero Argentino, *Boletín* 143: 91 p., Buenos Aires.