

EL MAGMATISMO NEOPALEOZOICO EN LA SIERRA DE LA HUERTA, SIERRAS PAMPEANAS OCCIDENTALES, PROVINCIA DE SAN JUAN: LOS PÓRFIDOS MARAYES VIEJO Y EL ARRIERO

B. CASTRO de MACHUCA^{1,2,3}, A. CONTE-GRAND^{2,3}, E. MEISSEL^{2,3}, S. PONTORIERO², C. SUMAY^{2,3} y D. MORATA⁴

¹ CONICET. E-mail: bcastro@unsj-cuim.edu.ar

² Instituto de Geología (INGEO), Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan, Argentina.

³ Departamentos de Geología y Geofísica, FCFN, UNSJ.

⁴ Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Plaza Ercilla 803, Santiago, Chile.

RESUMEN

Dos cuerpos porfíricos subvolcánicos asignados al ciclo magmático gondwánico intruyen al basamento cristalino de la sierra de La Huerta, Sierras Pampeanas Occidentales, en el área de la quebrada El Arriero (Dacita El Arriero) y en el sector de Marayes Viejo (Andesita Marayes Viejo). Se trata de rocas andesíticas a dacíticas de medio a alto K y con afinidad calcoalcalina. Para la Dacita El Arriero se determinó una edad Ar/Ar sobre biotita de $299,9 \pm 3,6$ Ma y para la Andesita Marayes Viejo una edad K/Ar sobre roca total de 259 ± 13 Ma. La edad obtenida en la Dacita El Arriero constituye la manifestación más temprana del magmatismo neopaleozoico en este sector de las Sierras Pampeanas, y pone en evidencia una actividad volcánica continua a partir del Carbonífero Superior hasta la base del Triásico Inferior. Los estudios efectuados indican que la Andesita Marayes Viejo y la Dacita El Arriero son rocas consanguíneas y tienen firmas geoquímicas y patrones de tierras raras típicos de arco volcánico consistentes con una zona de subducción activa durante el Neopaleozoico. Sobre la base de la petrología, geoquímica y edades radiométricas, estas litologías pueden ser correlacionadas con volcanitas andesíticas de la Formación Punta del Agua, en la Precordillera de La Rioja.

Palabras clave: *Ciclo gondwánico, margen activo, andesitas, petrología, geocronología.*

ABSTRACT: *Neopaleozoic magmatism in the Sierra de La Huerta, Western Sierras Pampeanas, province of San Juan: the Marayes Viejo and El Arriero porphyries.* Two subvolcanic porphyritic bodies assigned to the gondwanic magmatic cycle intrude the crystalline basement at El Arriero creek (El Arriero Dacite) and Marayes Viejo area (Marayes Viejo Andesite) in the Sierra de La Huerta, Western Sierras Pampeanas. They are medium to high-K calc-alkaline andesites to dacites. A 299.9 ± 3.6 Ma biotite Ar/Ar age was determined in the El Arriero Dacite meanwhile a 259 ± 13 Ma whole-rock K/Ar age was obtained for the Marayes Viejo Andesite. The age from the El Arriero Dacite represents the earliest manifestation of Neopaleozoic magmatism in the Western Sierras Pampeanas, San Juan province, and demonstrates that volcanic activity in the study area was continuous during the Upper Carboniferous to Late Triassic. The evidences presented here indicate that the Marayes Viejo Andesite and the El Arriero Dacite constitute co-sanguineous rocks, having typical volcanic-arc geochemical signatures and rare earth elements patterns consistent with a subduction-related zone active during the Neopaleozoic. According to the petrology, age dating and whole-rock chemistry, these rocks can be correlated with similar outcrops from Punta del Agua Formation described in the Precordillera of La Rioja.

Keywords: *Gondwanic cycle, active margin, andesites, petrology, geochronology*

INTRODUCCIÓN

El magmatismo neopaleozoico-mesozoico inferior está ampliamente difundido en varias provincias geológicas del centro-oeste de Argentina. En el ambiente de las Sierras Pampeanas aún tiene escasa representatividad debido principalmente a la falta de dataciones radiométricas que permitan definir las edades del magmatismo.

Rocas volcánicas comprendidas entre el Carbonífero Superior hasta la base del Triásico Medio han sido reconocidas intruyendo al

basamento cristalino de la sierra de La Huerta. Dichas rocas presentan un rango composicional amplio, desde basaltos a andesitas-dacitas y riolitas, y sus afloramientos se distribuyen erráticamente en una franja de dirección aproximada NNE que corta oblicuamente a la sierra (Fig. 1).

Los cuerpos ígneos más importantes se encuentran en las quebradas Rosarito (Riolita El Temblor), Blanca (Complejo riolítico del Cerro Blanco), Santo Domingo (Dacita El Arriero) y en el sector de Marayes Viejo (Basalto Marayes Viejo y Andesita Marayes

Viejo), generalmente asociados con manifestaciones minerales y yacimientos de interés económico (plomo-cinc-plata y oro) otrora centro de una actividad extractiva importante.

Aunque algunas de estas litologías han sido descritas de manera aislada y muy sucinta en trabajos previos, no existen estudios petrológicos de detalle sobre las mismas. Stoll (1958) en su informe sobre las minas y la minería en la sierra de La Huerta, fue el primero en referirse a los intrusivos riolíticos, tobas y brechas de la quebrada Blanca, ma-

nifestaciones que fueron vinculadas al magmatismo mioceno por Malvicini y Llambías (1982). Castro de Machuca y Bastías (1983) describieron la petrografía de estas rocas pero pusieron en duda la edad terciaria de las mismas. Las primeras dataciones radiométricas en riolitas de las quebradas Blanca y Rosarito (Formación Riolita El Temblor), fueron efectuadas por Ramos *et al.* (1988) por el método K/Ar sobre roca total y arrojaron edades de 246 ± 8 Ma y 256 ± 8 Ma respectivamente. Castro de Machuca *et al.* (1998) identificaron y dataron un cuerpo andesítico no mencionado en la bibliografía al que denominaron Pórfido Marayes Viejo, cuya edad absoluta de 259 ± 13 Ma (método K/Ar sobre roca total) también confirma la actividad del magmatismo gondwánico en el área. Llambías (1999) incluyó a los afloramientos riolíticos como manifestaciones menores y aisladas de la provincia magmática Choiyoi (Pérmico-Triásico Inferior) en el antepaís de las Sierras Pampeanas. Este autor destaca las escasas evidencias de las fases orogénicas gondwánicas en el área que, durante ese período, desarrolló una tectónica de bloques de variable intensidad con suficientes planos de debilidad que facilitaron el ascenso del magma. Castro de Machuca *et al.* (1999, 2000a y b, 2001, 2005a y b), Bruno y Castro de Machuca (2000) y Castro de Machuca y Meissl (2004), describieron aspectos parciales de la geología de los afloramientos ígneos y aportaron datos sobre su mineralización y geocronología.

En este trabajo se dan a conocer los resultados integrados del estudio geológico, petrográfico, químico y geocronológico de dos afloramientos de rocas andesíticas, los pórfidos Marayes Viejo y El Arriero, y su relación con otras manifestaciones ígneas presentes en zonas aledañas en el contexto de evolución geotectónica de las Sierras Pampeanas Occidentales.

MARCO GEOLÓGICO Y UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La sierra de La Huerta es parte de las Sierras Pampeanas Occidentales de edad precámbrica-paleozoica inferior (Caminos 1979). Está compuesta por un basamento ígneo-metamórfico (Complejo Valle Fértil, Cuerda *et al.* 1984) de grado medio a alto de

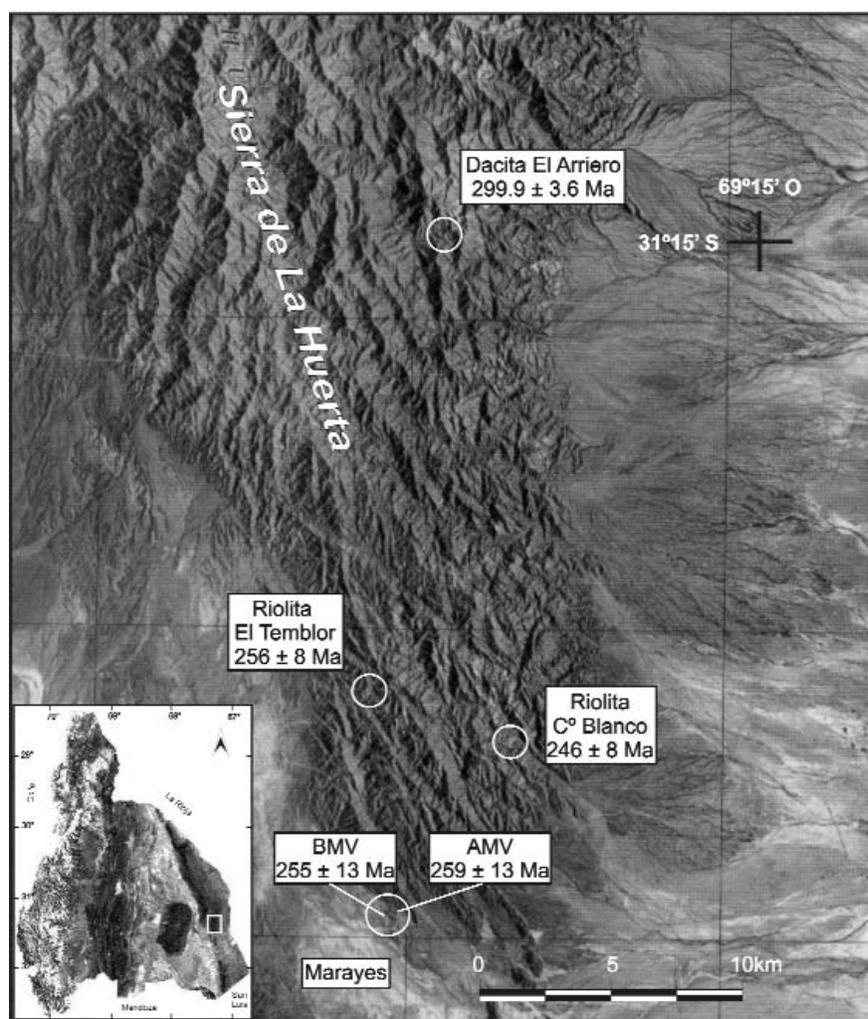


Figura 1: Imagen satelital de la sierra de La Huerta, Sierras Pampeanas Occidentales, con localización de los afloramientos estudiados y de otros cuerpos ígneos con sus respectivas edades radiométricas (datos de Ramos *et al.* 1988 y Castro de Machuca *et al.* 1998, 2001, 2005a). BMV: Basalto Marayes Viejo, AMV: Andesita Marayes Viejo.

metamorfismo (facies de anfibolita alta a facies de granulitas) conformado por gneises biotítico-granatífero±sillimaníticos, anfibolitas, mármoles y rocas calcosilicáticas, e intruido por metatonalitas, metadioritas y metagabros pertenecientes al orógeno farnatiniano de edad ordovícica (Pankhurst *et al.* 1998). La foliación dominante tiene dirección NNO y buzamiento variable al ENE (Castro de Machuca *et al.* 1996, Vujovich *et al.* 1998).

A lo largo del flanco occidental de la sierra, en discordancia angular sobre el basamento cristalino se dispone el Grupo Marayes, secuencia continental interestratificada de sedimentitas clásticas y rocas volcanoclásticas, cuya edad abarca entre el Triásico Medio al

Superior acorde con datos palinológicos y paleontológicos (Bossi 1976, Bossi *et al.* 1976). La cuenca de Marayes-El Carrizal es una típica cuenca de *rifl*, generada por procesos distensivos en el bloque superior de la zona de sutura de un terreno acrecionado durante el Paleozoico (Ramos 1993). En el área específica de Marayes Viejo aflora la Formación Esquina Colorada, de edad triásica media, que constituye la base del Grupo Marayes (Fig. 2a).

Depósitos recientes incluidos globalmente en el Cuaternario y representados por sedimentos aluviales gruesos, arenas y gravas generalmente inconsolidados, cuyos principales componentes son rodados del basamento, se adosan al pie de la sierra en el fal-

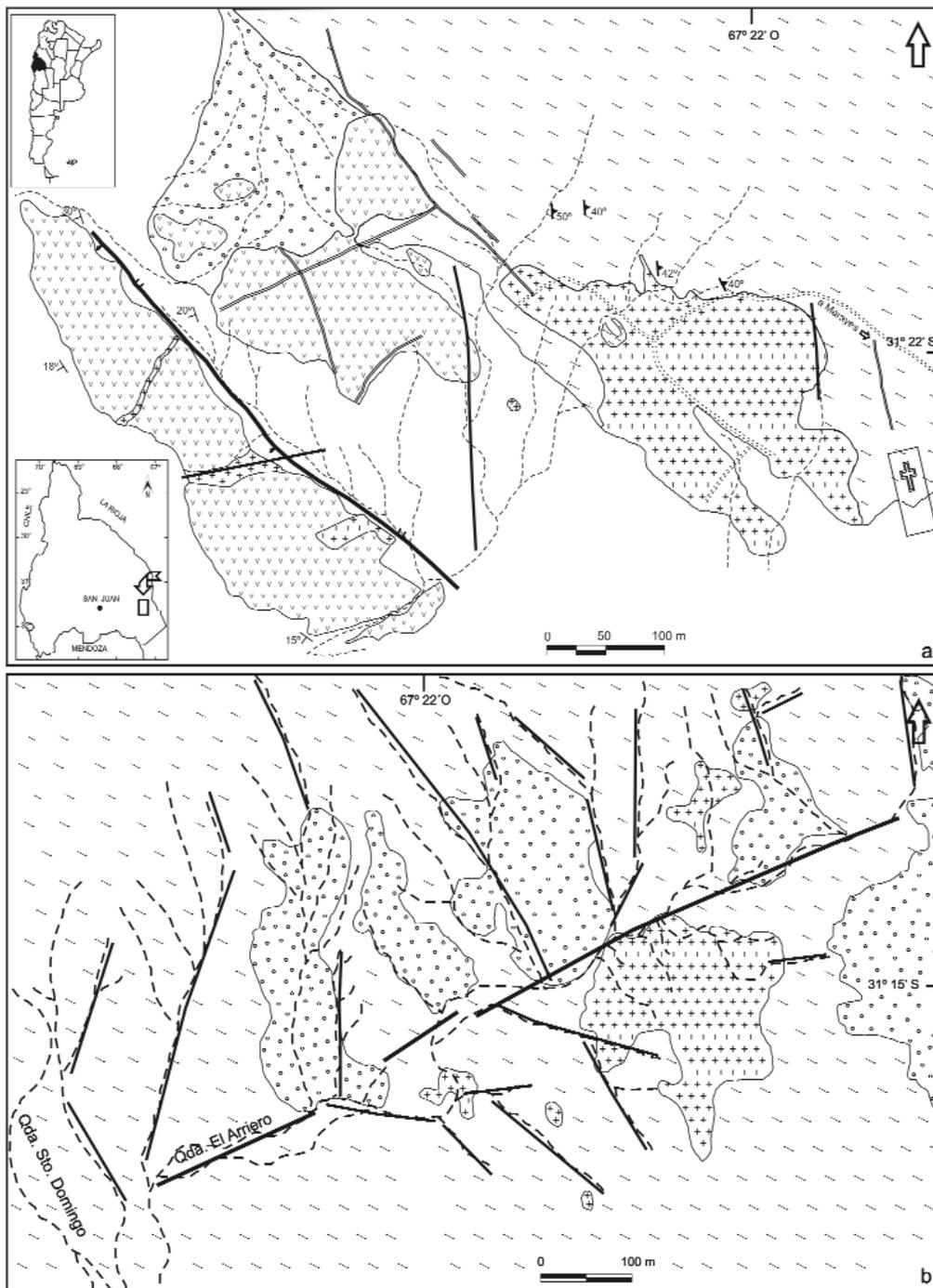


Figura 2: Ubicación geográfica general y mapas geológicos de las áreas de estudio. (a) Mapa geológico de la Andesita Marayes Viejo, extremo sudoccidental de la sierra de La Huerta. (b) Mapa geológico de la Dacita El Arriero, flanco oriental de la sierra de La Huerta.

REFERENCIAS

<ul style="list-style-type: none"> Basamento Cristalino Andesita Marayes Viejo-Dacita El Arriero Basalto Marayes Viejo Sedimentitas Fm. Esquina Colorada Cubierta de detritos 	<ul style="list-style-type: none"> Proterozoico-Paleozoico inferior Carbonífero superior-Pérmico Pérmico Triásico medio Cuaternario 	<ul style="list-style-type: none"> a: diques; b: lineamientos Falla con indicación de labio bajo Rb y Bz: a: foliación; b: estratificación Red de drenaje a: Huella; b: Cementerio
---	--	--

deo oriental. La sierra de La Huerta ha evolucionado como parte del margen activo del supercontinente de Gondwana. A partir del Paleozoico Superior el basamento cristalino actúa

como un elemento rígido propenso a la cizalla, cuya evolución tectónica culmina a fines del Terciario con la fragmentación en bloques que son ascendidos diferencialmente. El modelo estructural se caracteriza

por bloques limitados por fracturas escalonadas que tienen como frente estructural la megafractura de Valle Fértil dispuesta a lo largo del flanco occidental serrano y responsable del ascenso de la sierra (Baldis *et*

al. 1990). La estructuración de la cuenca de Marayes-El Carrizal se inicia en el Neopaleozoico con la reactivación de esa gran zona de fractura y, a partir del Triásico, la depresión es colmatada por las sedimentitas del Grupo Marayes.

La Andesita Marayes Viejo, denominada originalmente como Pórfido Marayes Viejo por Castro de Machuca *et al.* (1998), está ubicada en el extremo sudoccidental de la sierra de la Huerta a los 31°22'42"S - 67°22'09"O. Dista unos 140 km al este de la ciudad de San Juan y unos 4 km al NO de Marayes, siguiendo la huella que une esta localidad con el cementerio de la zona (Figs. 1 y 2a). La Dacita El Arriero o Pórfido El Arriero se encuentra a los 31°15'00"S - 67°22'10"O, en el tramo medio-superior de la quebrada accesoria El Arriero, 12 km aguas arriba de la desembocadura de la quebrada Santo Domingo en el flanco oriental de la sierra, a unos 40 km al norte de Marayes (Figs. 1 y 2b). El acceso a esta última zona sólo es posible a pie o en cabalgaduras.

CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA Y PETROGRÁFICA DE LOS CUERPOS PORFÍRICOS

Andesita Marayes Viejo (nov. nom):

El pórfido andesítico Marayes Viejo se emplaza en la zona de contacto entre el basamento cristalino al que intruye, por el este, y el borde oriental de la cuenca de Marayes-El Carrizal, por el oeste (Fig. 2a). La intrusión estuvo probablemente controlada por la megafactura de Valle Fértil. Los afloramientos son exiguos y conforman un relieve deprimido, suavemente ondulado, que contrasta con el relieve abrupto de la sierra. La morfología y la tonalidad pardo-anaranjada debida a pátinas limoníticas lo diferencian claramente de los encajonantes metamórficos (Fig. 3a). Se trata de un cuerpo hipabisal cuyo afloramiento es de forma irregular y dimensiones reducidas (aproximadamente 200 x 350 m), del que se desprenden apófisis de escaso recorrido y potencia que, por lo general, se disponen aprovechando la foliación de las metamorfitas. Hacia el S y SE del área de estudio la Andesita Marayes Viejo es cubierta en relación de no-concor-

dancia por las sedimentitas de la Formación Esquina Colorada, integrada por areniscas micáceas y conglomerados finos con rodados de rocas del basamento, con algunos niveles de diamictitas y escasas tobas. En el conglomerado basal de esta formación se encuentran en muy escasa proporción clas-

tos alterados de la Andesita Marayes Viejo y del Basalto Marayes Viejo. Aunque la Andesita Marayes Viejo tiene escasa manifestación superficial, los levantamientos de perfiles magnéticos y sísmicos efectuados en la zona (Alvarado *et al.* 1999, Blanco *et al.* 2001), permiten inferir que sus dimensio-

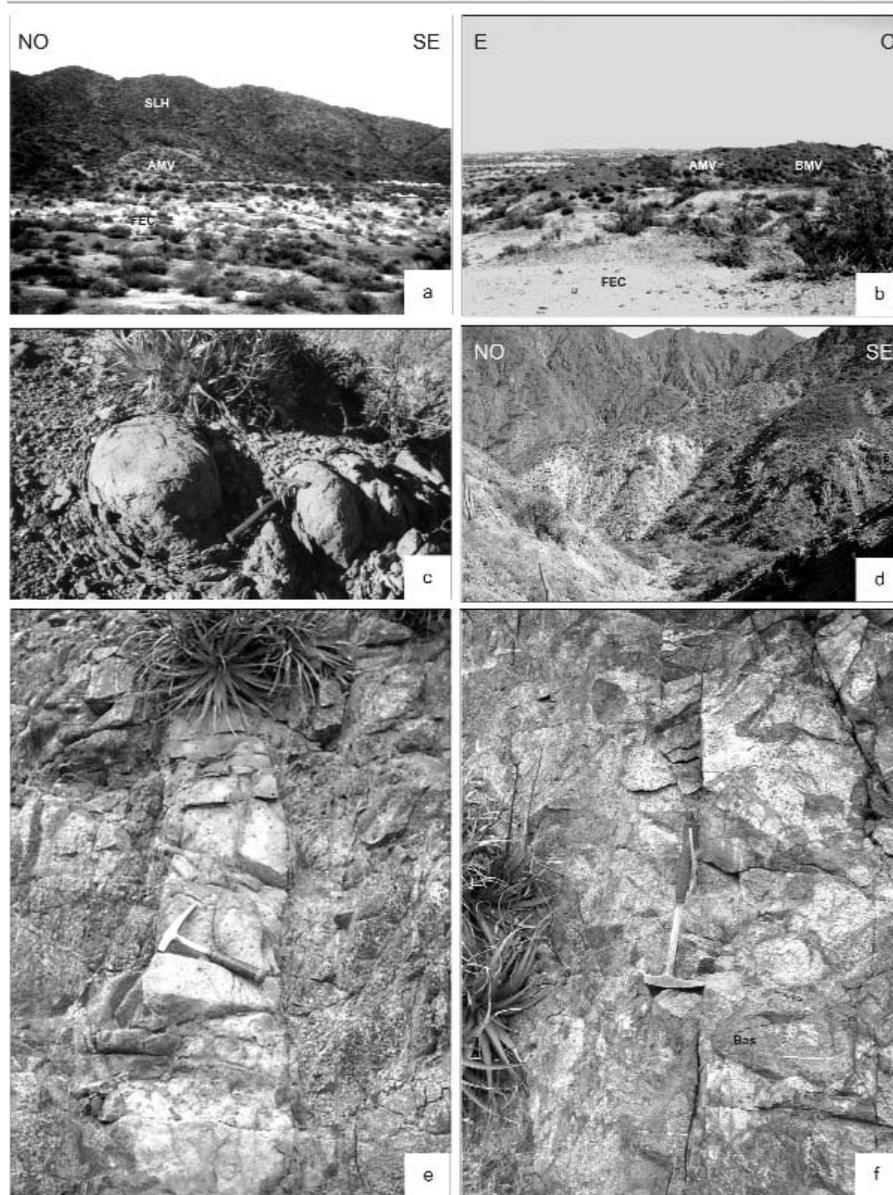


Figura 3: (a) Vista hacia el noreste de la Andesita Marayes Viejo (AMV). Al fondo se observa la sierra de La Huerta (SLH) y en primer plano las sedimentitas de la Formación Esquina Colorada (FEC) que configuran un relieve profundamente erosionado por la red de drenaje temporaria. (b) Vista al sudoeste del Basalto Marayes Viejo (BMV) con las apófisis de la Andesita Marayes Viejo (AMV) que lo cortan. En primer plano las sedimentitas de la Formación Esquina Colorada. (c) Detalle de la Andesita Marayes Viejo con desarrollo de disyunción cataclífar. (d) Vista hacia el NE de la Dacita El Arriero. El afloramiento contrasta con las rocas del basamento cristalino por su tonalidad más clara y relieve deprimido. (e) Dique de andesita intruido con contactos netos en metadiorita cuarzosa. (f) Brecha de tipo intrusiva con clastos angulosos de rocas del basamento (Bas) irregularmente distribuidos y cementados por la andesita con importante silicificación.

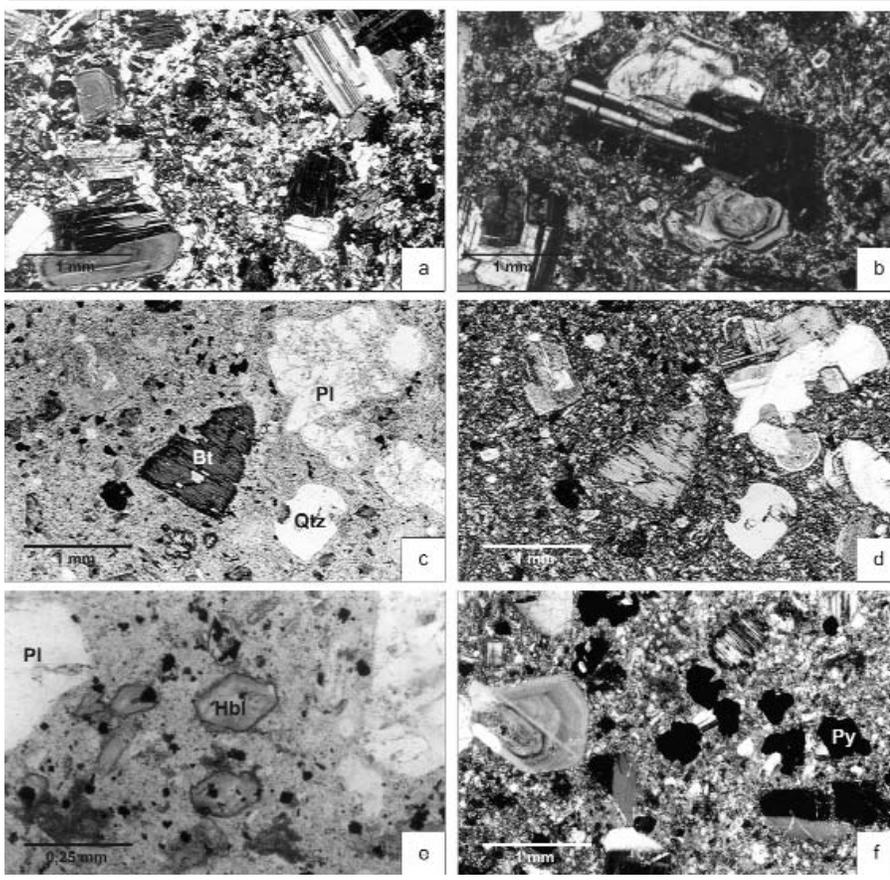


Figura 4: (a) y (b) Fotomicrografías de muestras representativas de la Andesita Marayes Viejo. Fenocristales y microfenocristales euhedrales de plagioclasa con maclas polisintéticas y estructura zonal -algunos en agregados glomeroporfíricos-, y escasos de minerales máficos en pasta microgranular de composición plagioclásica dominante (polarizadores cruzados). (c) y (d) Fotomicrografías de muestras representativas de la Dacita El Arriero. Fenocristales y microfenocristales de plagioclasa ligeramente sericitizada, biotita con segregación de opacos en los bordes y cuarzo con bordes engolfados, en pasta microgranular plagioclásica con diseminación fina de opacos (polarizadores paralelos y cruzados respectivamente). (e) Secciones basales de hornblenda reemplazada en forma total y pseudomorfa por biotita secundaria a su vez cloritizada. Diseminación fina de opacos en la pasta alterada (polarizadores paralelos). (f) Microfenocristales de plagioclasa zonal y biotita en pasta microgranular con alteración filica y abundante piritita diseminada (polarizadores cruzados). Referencias generales: Pl: plagioclasa, Bt: biotita, Qtz: cuarzo, Hbl: hornblenda, Py: piritita (abreviaturas según Kretz 1983).

nes, desde el punto de vista geofísico son mayores que las que revela su exposición en superficie, y que se prolonga hacia el NO y SE por debajo de la cubierta mesozoica. La Andesita Marayes Viejo intruye con contactos netos a las metatonalitas, metadioritas y gneises migmatíticos que constituyen localmente el basamento cristalino, sin evidencias de fenómenos térmicos en las cajas. Diques felsíticos similares a los presentes en el interior de la sierra asociados con la Formación Riolita El Temblor (Pérmico Superior más alto a base del Triásico), cortan a la Andesita Marayes Viejo. A su vez, apófisis del pórfido cortan al Basalto Marayes Viejo -ubicado unos 200 m al ESE- en va-

rios tramos de su recorrido (Figs. 2a y 3b). La Andesita Marayes Viejo tiene color gris mediano en superficie fresca casi siempre enmascarado por pátinas limoníticas y/u obliterado por la alteración. A menudo desarrolla disyunción de tipo catafilar (Fig. 3c). Posee textura porfírica con abundantes fenocristales de plagioclasa y subordinados de minerales máficos que totalizan entre el 20 y 40% de la roca. En las zonas de borde el porcentaje de fenocristales y el tamaño del grano disminuyen, la mesostasis evidencia fluidalidad incipiente y la roca adquiere color gris oscuro y fisilidad. Se observan escasos y pequeños enclaves microgranulares máficos constituidos por cristales aciculares

de hornblenda, y más raramente xenolitos de metamorfitas, fundamentalmente cerca de los contactos.

Los fenocristales de plagioclasa (oligoandesina) son subhedrales a euhedrales, tienen zonación normal y maclado polisintético y a veces se agrupan con textura glomeroporfírica (Figs. 4a y b). Por lo general la plagioclasa está sericitizada, principalmente en los núcleos, y en ocasiones evidencia neoformación de feldespato alcalino. En muy pocas muestras aparecen microfenocristales de cuarzo con bordes engolfados. Entre los minerales máficos domina la hornblenda verde a pardo verdosa, en individuos prismáticos de hasta 4 mm de largo que suelen estar alterados a clorita \pm calcita \pm epidoto con segregación de óxidos de hierro y esfena en los bordes y planos de clivaje. Raras veces se observa reemplazo por clinocianfibro fibroso. La biotita parda, pleocroica al pardo amarillento, suele estar cloritizada con abundante rutilo, esfena y óxidos de hierro como subproductos. A menudo las folias están flexuradas. Algunos minerales máficos no identificables están reemplazados completamente por un material criptocristalino de color pardo, casi isotrópico, al que se asocian pigmentos limoníticos. La pasta es microgranular (0,1 mm tamaño de grano promedio) y está compuesta por tablillas de plagioclasa con escaso cuarzo intersticial. El feldespato potásico primario es muy raro y también tiene carácter intersticial. Los minerales máficos de la pasta son los mismos que los fenocristales y están acompañados por escasas folias de clorita y minerales opacos pulverulentos. Como accesorios hay apatito, circón incluido en la biotita y magnetita.

La alteración propilítica, con la paragénesis clorita-epidoto-cuarzo-calcita-sericita, caracteriza a la parte más externa de la Andesita Marayes Viejo y se extiende por las rocas de caja. En la parte central domina la alteración filica con sericitización de la plagioclasa y silicificación en venillas y/o mosaquillos de cuarzo secundario. Excepcionalmente se observa feldespato potásico secundario en la pasta.

La intensidad de la alteración hidrotermal es muy variable aunque puede generalizarse como moderada a intensa. La distribución zonal de la misma ha sido confirmada por

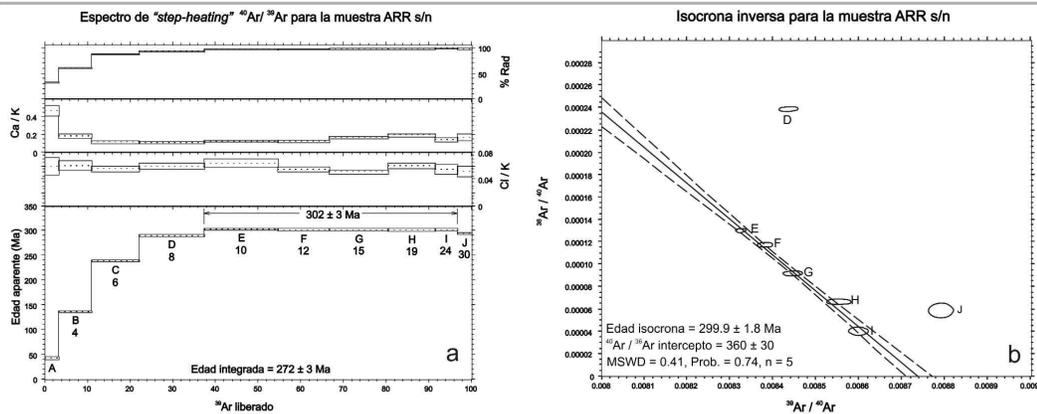


Figura 5: (a) Espectro de edades aparentes $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ obtenidas en la muestra ARR s/n de la Dacita El Arriero, sierra de la Huerta. La edad *plateau* (59,3% de ^{39}Ar liberado) fue calculada con los pasos E, F, G, H, I. (b) Diagrama de isócrona inversa.

los estudios geofísicos (Blanco *et al.* 2001). En la Andesita Marayes Viejo hay diseminación de minerales metálicos en una proporción aproximada de 5%. La mineralización consiste en pirita y subordinadas calcopirita, pirrotina, bornita y oro nativo, y como minerales secundarios digenita-covelina, hematita y limonita. Venillas de cuarzo \pm sulfuros con orientaciones preferenciales N15° y N333° cortan a la Andesita Marayes Viejo y al basamento cristalino.

Dacita El Arriero

Los afloramientos del pórfido El Arriero se distribuyen en una superficie de unos 500 m de largo por 250 m de ancho promedio orientada en dirección NE, mayormente sobre el faldeo SE de la quebrada homónima (Fig. 2b). En coincidencia con el área de afloramientos ígneos, el relieve se presenta deprimido y con una notoria anomalía de color que contrasta con el basamento cristalino (Fig. 3d). Se trata de cuerpos filonianos inconexos de dimensiones reducidas: apófisis, diques y filones capa, que se desprenden de un cuerpo mayor sólo parcialmente expuesto y que intruyen con contactos netos a las metatonalitas y metadioritas famatinianas (Fig. 3e).

En el contacto SO del área de estudio entre la roca de caja y la Dacita El Arriero y con pasaje gradual hacia esta última, se dispone una brecha de espesor reducido (≤ 6 m) y yacencia discontinua, que también se encuentra como "colgajos" en otros sectores del cuerpo. Está compuesta por clastos angulosos a subangulosos de las rocas de caja y en menor proporción del pórfido, con tamaños entre 12 a 50 cm, dispuestos en forma caótica y cementados por la pro-

piya dacita con aporte de cuarzo hidrotermal y mineralización metálica diseminada (Fig. 3f). No hay evidencias mecánicas de deformación en las rocas de caja como consecuencia de la intrusión, por lo que el *stoping* magmático parece haber sido el principal mecanismo operativo para el emplazamiento de la Dacita El Arriero y la generación de esta brecha intrusiva, cuya presencia indica que el techo de la cámara magmática no se encontraba muy por encima del nivel de erosión actual.

Varios sistemas de fracturación afectan a la Dacita El Arriero y al basamento, siendo la dirección dominante NE y subordinadas N y NNO. La mayor parte de las fracturas son aprovechadas por venas y venillas de cuarzo \pm calcita \pm pirita. La quebrada El Arriero está labrada siguiendo el rumbo preferencial NE y la distribución de los afloramientos ígneos muestra un límite relativamente abrupto coincidente con el curso de la quebrada, lo que evidencia un control tectónico del intrusivo en ese sector. Lineamientos subcirculares periféricos reflejan la presencia del cuerpo ígneo en profundidad.

La Dacita El Arriero es una roca maciza, de color gris pardo mediano enmascarado por pátinas limoníticas ocre-anaranjadas. Contiene pequeños enclaves microgranulares cognatos compuestos por anfíbol-plagioclasa-opacos y muy raros xenolitos de metamorfitas de dimensiones reducidas, sin evidencias de asimilación. En este trabajo se mantiene el nombre de Dacita El Arriero con el que se la ha divulgado en la bibliografía, a pesar de que sus características composicionales y químicas varían entre dacita y andesita. La textura es porfírica seriada con pasta afanítica. Está compuesta por $\approx 20\%$ de fenocristales y microfeno-

crisales a subhedrales de plagioclasa (oligoandesina) con estructura zonal, maclas polisintéticas y frecuente textura cribosa de los núcleos. Los individuos mayores alcanzan 4 mm de largo. Los fenocristales de cuarzo con formas redondeadas y bordes engolfados son escasos ($\leq 3\%$), los de hornblenda pardo verdosa fuertemente pleocroica constituyen entre el 8-10% mientras que los de biotita pardo anaranjada se encuentran en una proporción $\approx 7\%$ (Figs. 4c y d). La pasta tiene textura microgranular y composición similar a la de los fenocristales, excepcionalmente aparece feldespato potásico primario. Los minerales accesorios incluyen apatito, esfena, circón y opacos. En las zonas de borde y en los cuerpos filonianos menores la granulometría es más fina, disminuyen los fenocristales y el anfíbol predomina sobre la biotita. En una sola muestra de grano fino, clasificada como andesita basáltica y compuesta por tablillas de plagioclasa con incipiente orientación, se reconoció abundante clinopiroxeno y subordinado ortopiroxeno asociados con opacos gruesos. En esta muestra no aparece biotita primaria y la hornblenda sustituye al clinopiroxeno.

Todos los afloramientos de la Dacita El Arriero están alterados hidrotermalmente y mineralizados, si bien la intensidad y naturaleza de la alteración son muy variables. La propilitización está ampliamente difundida, los minerales máficos son reemplazados por clorita+calcita+epidoto+cuarzo \pm magnetita \pm microesfena \pm microrutilo y la plagioclasa por sericita \pm minerales arcillosos. La silicificación con carácter penetrativo y en venillas afecta al pórfido con intensidad moderada a fuerte, en casos extremos la pasta es sustituida por un mosaico micro-

cristalino de cuarzo secundario. La alteración filica es destacable en algunos sectores, en otros predomina la alteración potásica moderada a débil con biotita secundaria pseudomorfa de hornblenda y/o biotita primaria (Fig. 4e). No se advierte un patrón de distribución zonal, pero el halo de alteración hidrotermal exhibe en planta una forma elíptica con orientación NE en coincidencia con el área de afloramientos ígneos. Hay mineralización metálica diseminada y en venillas en un porcentaje ≈ 8%. La piritita es dominante (Fig. 4f) y en proporciones subordinadas aparecen magnetita±ilmenita, calcopirita, molibdenita y oro nativo. En la brecha el contenido de sulfuros alcanza hasta 12%.

GEOCRONOLOGIA

Dos muestras aceptablemente frescas de la Andesita Marayes Viejo y la Dacita El Arriero se seleccionaron para datación radiométrica mediante los métodos K/Ar sobre roca total y ⁴⁰Ar/³⁹Ar sobre biotita, respectivamente. El análisis de la muestra de la Andesita Marayes Viejo (muestra P0) se realizó en los laboratorios de *Mass Spec Services (ex Teledyne)* en Nueva York, Estados Unidos, y arroja una edad isotópica de 259 ± 13 Ma (Cuadro 1), correspondiente a la parte más alta del Pérmico Inferior a Pérmico Superior.

Dada la posible liberación de ⁴⁰Ar debido a la alteración hidrotermal experimentada por la andesita, la edad de 259 ± 13 Ma pue-

de considerarse rejuvenecida y no responder a la edad de emplazamiento.

La muestra representativa de la Dacita El Arriero (muestra ARR s/n) fue datada por el método de *step-heating* en el Laboratorio de Geocronología del Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (véase detalles sobre la metodología y condiciones analíticas en Arancibia *et al.* 2006). La biotita datada corresponde a fenocristales levemente cloritizados pero también está presente una pequeña cantidad de biotita secundaria de grano muy fino. Es común en este tipo de sistema magmático-hidrotermal que, aunque el filosilicato haya experimentado algo de reemplazo por biotita secundaria, no existan diferencias importantes entre las edades de ambas micas. El resultado obtenido se presenta en el Cuadro 2 y figura 5. La muestra de la Dacita El Arriero también presenta una pérdida parcial de ⁴⁰Ar que se refleja en la edad integrada (272 ± 3 Ma) más baja que la edad *plateau* (302 ± 3 Ma, Fig. 5a), y se debe probablemente a la cloritización parcial de la biotita en un evento hidrotermal ligeramente posterior. Los pasos de más alta temperatura definen una isócrona inversa con un leve exceso de argón (Fig. 5b), por lo que se considera recomendable en este caso particular utilizar

la edad de intercepción de la isócrona de 299,9 ± 3,6 Ma.

GEOQUÍMICA

Para el análisis químico (Cuadro 3) se seleccionaron doce muestras (cinco de la Andesita Marayes Viejo y siete de la Dacita El Arriero), algunas de las cuales presentan alteración hidrotermal suave pero generalizada (pérdida por ignición variable entre 1,30 a 4,35%). Los análisis se realizaron en los laboratorios de *ALS Chemex*, Vancouver, Canadá, utilizando fluorescencia de rayos X (FRX) para la determinación de los elementos mayores y espectrometría de masa en plasma inductivamente acoplado (ICP-MS) para los elementos traza y tierras raras. En todos los casos las muestras fueron medidas previa fusión con borato de litio.

Los análisis confirman la clasificación petrográfica y la afinidad existente entre la Andesita Marayes Viejo y la Dacita El Arriero, ya que no se aprecian diferencias geoquímicas significativas entre los dos cuerpos. En el diagrama de clasificación química basado en el contenido total de álcalis versus el contenido total de sílice (diagrama TAS), donde los análisis son recalculados en base anhidra (Fig. 6a), se aprecia el

CUADRO 1. Resultados analíticos de la datación K/Ar sobre roca total de la Andesita Marayes Viejo, sierra de La Huerta.

Muestra	Coordenadas	%K	⁴⁰ Ar* scc/gm.10 ⁻⁵	% ⁴⁰ Ar	Edad (Ma)
P0	31°22'42"S	1,70	1,83	90,2	259 ± 13
	67°22'09"O	1,70	1,85	90,2	

CUADRO 2. Resultados analíticos de la geocronología ⁴⁰Ar/³⁹Ar en biotita (método *step-heating*) de la muestra ARR s/n (coordenadas 31°15'00"S - 67°22'10"O) de la Dacita El Arriero, sierra de la Huerta. Los errores en las edades están expresados en el ámbito de dos sigma de confiabilidad.

Pasos	Potencia/ Temperatura	Ca/K	Cl/K	³⁶ Ar/ ³⁹ Ar	% ³⁶ Ar(Ca/Tot)	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	Mol ³⁹ Ar	% en cada paso	% Acumulado	⁴⁰ Ar* (%)	Edad (Ma)	Error (2σ)
A	2	0,46152	0,05861	0,107052	0,1	14,85919	0,0080	3,2	3,2	32,0	41,86	0,90
B	4	0,18008	0,06025	0,109963	0	49,49287	0,0186	7,8	11,1	60,4	135,82	0,70
C	6	0,11239	0,05472	0,042027	0	89,55968	0,0265	11,2	22,3	87,8	238,76	0,81
D	8	0,10863	0,05860	0,028339	0,1	110,20896	0,0354	15,1	37,3	93,0	289,61	0,76
E	10	0,12297	0,06338	0,015667	0,1	115,51069	0,0407	17,4	54,7	96,2	302,44	0,46
F	12	0,11867	0,05432	0,013999	0,1	115,19924	0,0283	12,1	66,8	96,5	301,69	0,66
G	15	0,16150	0,05003	0,010876	0,3	115,20121	0,0320	13,7	80,5	97,3	301,69	0,78
H	19	0,18913	0,05945	0,007778	0,4	114,64513	0,0261	11,1	91,6	98,0	300,35	0,93
I	24	0,13659	0,05427	0,004665	0,5	114,92641	0,0120	5,1	96,7	98,8	301,03	0,81
J	30	0,16667	0,05108	0,006713	0,4	111,79605	0,0080	3,3	100	98,3	293,46	1,03
Edad integrada											272	3
Edad "plateau"											302	3

(J = 0,001576 ± 8,200000e-6)

CUADRO 3. Análisis químicos de elementos mayoritarios y trazas incluyendo las tierras raras de la Andesita Marayes Viejo (muestras P0, P60, P19, N17, P2A) y Dacita El Arriero (muestras ARRcto, AR4, ARM9, ARM13, ARM30, ARM12, ARR02), sierra de La Huerta. Los óxidos se expresan en % en peso y los elementos traza y REE en ppm. Fe₂O₃ representa el Fe total; nd: no determinado.

MUESTRA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	LOI	Ba	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Gd	Hf	Ho	
ARRcto	59,34	16,04	5,99	5,41	3,28	4,66	0,95	0,82	0,08	0,33	2,37	214,0	20,30	18,4	300	1,60	250,0	3,0	1,7	1,1	2,9	4,0	0,5	
AR4	61,43	15,93	5,00	3,62	2,50	4,03	2,01	0,72	0,05	0,28	3,57	893,0	44,20	16,8	90	2,80	72,0	3,1	1,7	1,8	3,2	3,0	0,5	
ARM9	60,59	15,93	6,30	4,24	3,16	4,18	1,39	0,80	0,08	0,32	2,81	556,0	18,80	23,2	19	1,52	31,5	2,3	1,3	0,9	3,1	1,8	0,4	
ARM13	63,59	15,82	4,62	3,33	1,72	3,46	3,08	0,66	0,05	0,23	3,18	1130,0	23,80	8,5	21	2,97	53,6	1,9	1,0	0,9	2,8	1,7	0,3	
ARM30	60,01	15,72	6,14	4,65	3,13	4,13	2,55	0,80	0,08	0,32	2,04	915,0	21,70	18,2	70	1,67	97,6	2,4	1,3	1,1	3,4	2,2	0,5	
ARM12	59,98	16,48	6,09	4,06	2,29	3,71	2,81	0,73	0,07	0,26	2,06	1235,0	22,40	10,2	20	2,86	21,7	2,3	1,2	1,3	3,3	1,7	0,4	
ARR02	60,71	15,63	5,71	4,08	2,56	3,96	2,87	0,74	0,07	0,29	2,51	1050,0	23,40	14,6	56	1,73	33,6	2,3	1,2	1,0	3,1	2,0	0,4	
P0	60,00	16,45	6,13	5,20	2,51	4,09	1,95	0,69	0,20	0,50	1,30	739,5	34,50	16,5	90	3,00	10,0	nd	nd	nd	0,9	nd	3,0	nd
P60	65,55	15,80	3,65	3,31	1,27	4,35	2,87	0,46	0,09	0,21	1,55	876,0	34,00	8,0	155	3,00	14,0	nd	nd	nd	0,3	nd	2,0	nd
P19	61,31	16,67	6,15	4,13	2,16	3,03	2,52	0,65	0,04	0,27	3,08	982,0	36,70	nd	98	1,60	98,0	4,2	3,7	1,9	4,1	5,7	1,3	
N17	59,36	16,99	6,86	2,98	2,07	4,08	3,17	0,72	0,14	0,32	3,31	894,0	41,70	nd	37	3,70	7,0	3,9	2,8	1,3	3,4	5,1	1,1	
P2A	56,90	16,61	7,15	4,93	3,35	3,95	1,33	0,90	0,22	0,32	4,35	387,0	37,60	nd	118	1,90	53,0	3,9	2,6	1,2	4,4	2,4	1,0	
La	Ce	Nb	Mo	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Pr	Rb	Sr	Sm	Eu	Gd	Th	Ti	Tm	Y	W	Zr	Yb	Zn	Zr	
ARRcto	8,2	0,20	4,00	6,0	14,0	24,0	6,0	3,2	20,8	3,50	546	0,50	0,4	3,0	0,50	0,2	0,7	122	10,0	11,9	1,6	50	111,0	
AR4	14,4	0,20	11,00	7,0	14,2	20,0	9,0	3,4	53,3	4,60	598	0,50	0,5	3,0	0,50	0,2	1,7	92	4,0	13,8	1,5	75	117,0	
ARM9	16,4	0,10	1,47	1,7	17,2	15,3	4,5	4,3	15,8	3,00	521	0,13	0,4	1,4	0,40	0,1	0,5	99	1,1	8,7	1,3	19	88,0	
ARM13	18,6	0,10	1,68	4,9	16,8	15,5	6,9	4,2	53,9	2,90	491	0,42	0,4	2,9	0,39	0,1	1,2	55	0,6	8,7	1,0	48	94,1	
ARM30	13,0	0,20	3,30	5,3	17,4	29,7	6,0	4,0	29,0	3,10	517	0,39	0,5	2,1	0,43	0,2	0,9	104	0,8	12,4	1,3	46	103,0	
ARM12	15,4	0,10	4,06	5,2	16,6	16,0	7,0	4,1	37,9	3,70	689	0,39	0,5	1,9	0,37	0,1	0,9	87	0,9	9,7	1,2	45	102,5	
ARR02	16,9	0,20	2,81	5,4	17,8	24,9	8,5	4,4	43,8	3,40	586	0,42	0,4	2,2	0,33	0,2	1,0	83	1,0	10,5	1,2	43	98,6	
P0	16,0	0,20	5,00	4,5	10,0	30,0	nd	nd	57,0	3,65	628	1,00	0,5	3,5	nd	nd	1,2	nd	4,0	15,0	1,3	50	135,0	
P60	17,5	0,15	5,00	10,0	10,0	30,0	nd	nd	89,0	3,45	531	1,00	0,5	3,7	nd	nd	1,0	nd	4,0	10,0	0,6	50	155,0	
P19	21,8	0,30	8,50	8,0	41,1	7,0	33,0	6,2	35,1	7,20	398	2,30	0,7	3,2	1,10	0,5	1,3	79	0,6	19,7	2,0	77	109,0	
N17	28,0	0,30	6,30	6,6	41,0	6,0	37,0	7,3	51,2	5,90	433	0,80	0,7	2,5	1,10	0,3	1,0	64	0,4	14,9	1,3	75	105,0	
P2A	21,2	0,30	3,40	10,7	39,5	27,0	32,0	6,6	39,8	5,50	511	1,00	0,8	5,0	0,60	0,2	1,2	120	0,8	17,2	1,7	194	45,0	

agrupamiento de la mayoría de las muestras en el campo de las andesitas y sólo dos en el de las dacitas. Considerando que tanto la sílice como el sodio y el potasio pudieron haber sido movilizados en alguna medida por la fase hidrotermal, esta clasificación se corroboró con otras que utilizan elementos traza y tierras raras -elementos considerados inmóviles- como base de la clasificación (Fig. 6b). Los resultados en todos los casos son coincidentes. Acorde con los contenidos de SiO₂ en los análisis recalculados que oscilan entre 56,90 y 65,55%, estas rocas se proyectan en el campo de las andesitas de alta sílice y medio a alto potasio en el diagrama K₂O versus SiO₂ (Fig. 6c). Tanto la Andesita Marayes Viejo como la Dacita El Arriero presentan una clara afinidad calcoalcalina propia de los arcos magmáticos (Figs. 6a y d). Otro rasgo químico destacable de estas litologías es el carácter metaluminoso a peraluminoso débil con la relación A/CNK entre 0,87 y 1,10 (Fig. 6e). Los rangos de variación del MgO (entre 1,27 y 3,35%), Fe₂O₃ (entre 3,65 y 7,15%) y CaO (entre 2,98 y 5,41%) sugieren cierto grado de evolución por cristalización fraccionada de minerales ferromagnesianos y plagioclasa cálcica. La dispersión del K₂O (0,95 a 3,17%) puede en parte ser atribuida a la movilidad del potasio por hidrotermalismo teniendo en cuenta la alteración potásica leve evidenciada en algunas muestras. El TiO₂ y el P₂O₅ tienen valores comprendidos entre 0,46 a 0,90% y 0,21 a 0,50% respectivamente. Las correlaciones negativas encontradas entre el SiO₂ y Fe₂O₃, MgO, P₂O₅ y TiO₂ (Fig. 6f) corroboran la evolución por cristalización fraccionada tanto de la Andesita Marayes Viejo como de la Dacita El Arriero. En todos los casos la mayor variabilidad química corresponde a la Andesita Marayes Viejo. En la figura 7a se comparan las concentraciones de elementos trazas normalizadas respecto de las de basaltos de dorsales meso-oceánicas (MORB) según los valores de normalización de Pearce (1982, 1983). El patrón de elementos traza es el típico de andesitas en ambientes de arco, con un enriquecimiento en Sr, K, Rb, Ba y Th (Rb > Th) y un empobrecimiento en Nb. Los contenidos de Zr, Hf y Sm muestran valores normalizados próximos a 1, mientras que

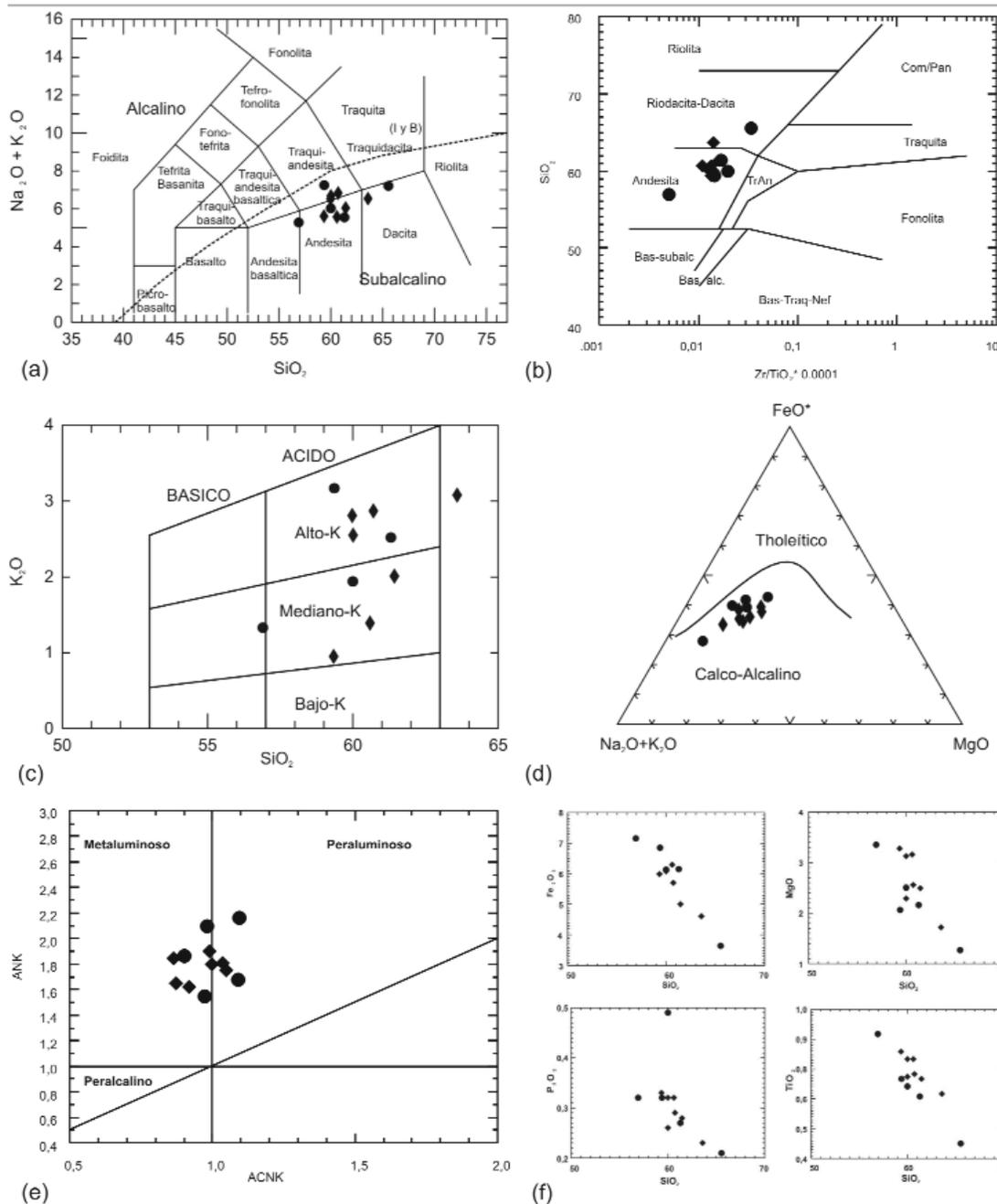


Figura 6: (a) Diagrama de clasificación química y nomenclatura de rocas volcánicas $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ vs. SiO_2 (TAS) para la Andesita Marayes Viejo y la Dacita El Arriero (Le Bas *et al.* 1986). La línea de trazos señala el límite entre el campo alcalino y subalcalino conforme Irvine y Baragar (1971). (b) Diagrama de clasificación geoquímica (Winchester y Floyd 1977) que corrobora la clasificación propuesta según los elementos mayoritarios. (c) Diagrama de clasificación K_2O vs. SiO_2 para rocas subalcalinas (Gill 1981). Las rocas plotean en la serie calcoalcalina de medio a alto K. (d) Diagrama AFM (Irvine y Baragar 1971) en el cual se proyectan las muestras estudiadas que muestran una neta tendencia de diferenciación calcoalcalina. (e) Diagrama de saturación en alúmina (índices de Shand y apgáitico). (f) Diagramas de variación tipo Harker de los óxidos de elementos mayores en función de la sílice. En todos los diagramas los óxidos mayoritarios están expresados en % en peso y los elementos traza en ppm. Referencias generales: ? Andesita Marayes Viejo (círculo lleno) Dacita El Arriero (rombo lleno).

Ti, Y, Yb, Sc y Cr presentan valores normalizados < 1 . La dispersión observada en los elementos compatibles Sc y Cr corrobora lo observado con los elementos mayoritarios en donde la evolución de estas rocas está controlada fundamentalmente por el fraccionamiento de minerales ferromagnesianos, además de plagioclasa. El diagrama de tierras raras normalizado a condrito (Fig. 7b) muestra un diseño con una pendiente moderada y un enriquecimiento general de las tierras raras que, en el

caso de las tierras raras ligeras, varía entre > 20 hasta 90 veces el valor del condrito y entre 17 a 3 veces para las pesadas. Las muestras de la Andesita Marayes Viejo están comparativamente más enriquecidas en tierras raras pesadas y Nd. Los valores de $\text{Yb}_N < 10$ indican la presencia de granate como fase residual en la fuente de estos magmas. Los rasgos geoquímicos evidenciados en los diagramas de elementos incompatibles y de tierras raras, con enriquecimientos y em-

pobrecimientos en determinados elementos químicos al compararlos con los del MORB y condrito, respectivamente, indican características similares para ambos cuerpos ígneos, propias de un magmatismo en un sistema de subducción. Las concentraciones elevadas de elementos de gran radio iónico (LILE) como Cs, Rb, Sr, Ba, K así como de tierras raras ligeras, y los contenidos relativamente altos en Th, son posibles indicadores de contaminación cortical en la génesis de estas rocas. No obstante, dada la altera-

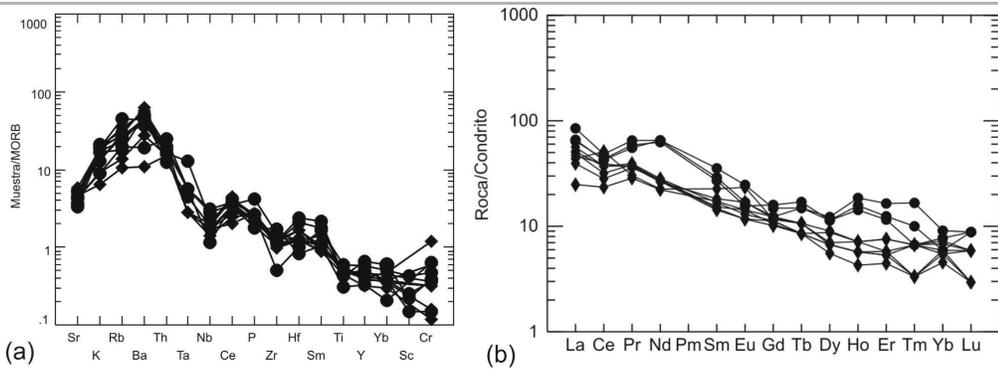


Figura 7: (a) Diagrama de elementos incompatibles normalizados al MORB según los valores de normalización de Pearce (1982, 1983). (b) Diagrama de tierras raras normalizadas a condrito según los valores de normalización de Nakamura (1974). Las muestras P0 y P60 correspondientes a la Andesita Marayes Viejo se han omitido por no poseer análisis químicos completos.

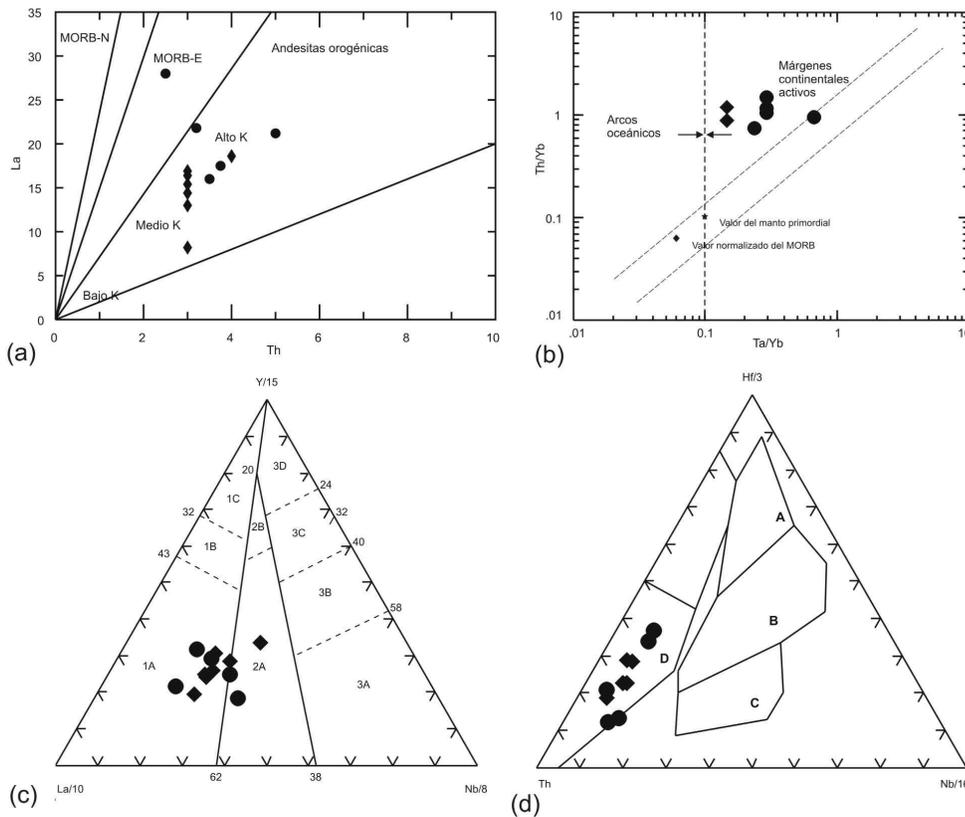


Figura 8: (a) Distribución de las muestras de los pórfidos Marayes Viejo y El Arriero en el campo de las andesitas orogénicas de medio a alto K, según la relación La/Th (Gill 1981). (b) Diagrama Th/Yb vs. Ta/Yb. La relación Th/Ta normalizada a los valores de Yb (según Pearce 1983) permite apreciar el enriquecimiento de la Andesita Marayes Viejo y la Dacita El Arriero en relación con el valor del MORB y corrobora la génesis de ambas litologías en un margen continental activo. (c) Diagrama de discriminación geotectónica de Cabanis y Lecomte (1989). Las muestras proyectan mayoritariamente en el dominio de los basaltos de arco volcánico. 1: basaltos de arco volcánico, 2: basaltos continentales, 3: basaltos oceánicos. (d) Diagrama discriminador de ambientes tectónicos Th-Hf/3-Nb/16 (Wood 1980) que confirma el emplazamiento de la Andesita Marayes Viejo y la Dacita El Arriero en un ambiente orogénico de margen continental activo. A: MORB N, B: MORB E y basaltos tholeiíticos de intraplaca, C: basaltos alcalinos de intraplaca, D: basaltos de arco volcánico.

ción que éstas presentan, únicamente podrán utilizarse con fines petrogenéticos aquellos elementos cuyo comportamiento sea relativamente inmóvil ante la alteración hidrotermal, tales como las tierras raras y los elementos traza de alto potencial iónico (Th, Nb, Ta, Hf y Zr). Las relaciones La *versus* Th (Fig. 8a) son compatibles con los valores de las series de medio a alto K que caracterizan los emplazamientos en ambiente orogénico. Por otro lado, en el diagrama Th/Yb *versus* Ta/Yb (Fig. 8b) es clara la coincidencia con el ambiente de arco volcánico, con valores altos de Th y relaciones Ta/Yb > 0,1 típicas de

rocas originadas a partir de magmas de márgenes continentales activos. Las relaciones muy altas Ba/Nb > 40 también son diagnósticas de los magmas generados en arcos volcánicos, aunque esta relación puede estar influenciada por la alta movilidad del Ba máxime en rocas en las que se ha formado feldespato potásico secundario. Los diagramas de discriminación para identificar el ambiente paleogeotectónico de origen han sido fundamentalmente diseñados para rocas básicas, aunque en el de Cabanis y Lecomte (1989) que utiliza elementos más inmóviles, también se pueden proyectar rocas andesíticas. En este diagrama (Fig. 8c), las

muestras de la Andesita Marayes Viejo y la Dacita El Arriero se ubican mayoritariamente en el dominio de los basaltos calcocarbonados de arco volcánico en transición a basaltos continentales y post-orogénicos. En otros diagramas de discriminación geotectónica como el Th-Hf/3-Nb/16 (Fig. 8d) las muestras se proyectan en su totalidad en el campo de los basaltos de arco volcánico. Conforme a estos diagramas, se corrobora la génesis de estas rocas en un ambiente de subducción consistente con un régimen compresional.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Según Llambías (1999) los episodios volcánicos fueron frecuentes durante el Neopaleozoico y se vinculan a momentos de gran inestabilidad de la corteza, característica de regiones orogénicas favorable para el emplazamiento de arcos magmáticos. El modelo que se corresponde con esa tectónica es el de una subducción de litósfera oceánica simple por debajo del continente, sin un marcado engrosamiento cortical, con fases orogénicas episódicas y desarrollo de un arco magmático que se manifiesta sobre distintos terrenos, entre ellos las Sierras Pampeanas cuyas estructuras facilitaron el ascenso del magma.

Las edades K/Ar y Ar/Ar de la Andesita Marayes Viejo y la Dacita El Arriero, permiten considerarlas entre los primeros exponentes del magmatismo neopaleozoico en el área de las Sierras Pampeanas Occidentales, asociados a una corteza inestable. Las edades de los cuerpos andesíticos aquí presentadas son más antiguas que las reportadas por Ramos *et al.* (1988) para el intrusivo riolítico del cerro El Temblor (256 ± 8 Ma) y para una brecha volcánica riolítica de la quebrada Blanca (246 ± 8 Ma). Acorde con esta última datación, el límite superior del magmatismo en el área no iría más allá de la parte superior del Triásico Inferior-base del Triásico Medio, mientras que la edad más vieja corresponde a la Dacita El Arriero. El rango de edades absolutas de los diversos afloramientos volcánicos y subvolcánicos de la sierra de La Huerta abarca entre los $299,9 \pm 3,6$ Ma y 246 ± 8 Ma (Fig. 1), indicando una sucesión de eventos magmáticos casi continua en este sector de las Sierras Pampeanas a partir del Carbonífero Superior-Pérmico Inferior.

No se ha establecido aún la relación petrogenética con las rocas de composición riolítica, pero es factible suponer una evolución del magmatismo andesítico a partir del Pérmico Superior hacia términos más jóvenes fuertemente enriquecidos en sílice y de carácter más explosivo, que representarían las facies póstumias del magmatismo gondwánico en la región. No se puede descartar, sin embargo, que la génesis de las riolitas haya sido independiente de las anteriores. La re-

lación temporal entre la Andesita Marayes Viejo, la Dacita El Arriero y los términos riolíticos es clara, pero resulta algo más confusa respecto al Basalto Marayes Viejo. Para el Basalto Marayes Viejo se determinó una edad K/Ar sobre roca total de 255 ± 13 Ma (Castro de Machuca *et al.* 2001), la cual se considera "rejuvenecida" por procesos de alteración-meteorización pero, fundamentalmente, por el hecho de que apófisis de la Andesita Marayes Viejo cortan al basalto (Figs. 2a y 3b). Las características petrográficas y químicas del Basalto Marayes Viejo ratifican la existencia de un borde de subducción activo al momento de su emplazamiento (Bruno y Castro de Machuca 2000). Para Koukharsky *et al.* (2002) el Basalto Marayes Viejo y otras manifestaciones básicas-ultrabásicas de edad neopaleozoica reconocidas en las Sierras Pampeanas, estarían localmente controladas por tracción y emplazadas sincrónicamente con un importante magmatismo de arco asociado a subducción oblicua, en la región orogénica a lo largo del eje de la actual Cordillera Frontal durante el lapso Carbonífero Tardío-Pérmico Inferior. La génesis del Basalto Marayes Viejo, de la Andesita Marayes Viejo y de la Dacita El Arriero se enmarca en este contexto geotectónico, y sugiere para el margen occidental de las Sierras Pampeanas un régimen de subducción activa a partir del Carbonífero Superior, al que le seguiría un período de extensión generalizada a partir del Pérmico Medio-Superior hasta comienzos del Triásico con la conformación de cuencas de *rift*. Durante el Triásico Medio comienzan a depositarse las sedimentitas del Grupo Marayes -cuyo conglomerado basal incluye rodados de la Andesita Marayes Viejo y del Basalto Marayes Viejo-, en un ambiente no orogénico claramente extensional.

Desde el punto de vista regional, las litologías estudiadas pueden ser homologadas con las volcanitas de la Formación Punta del Agua, en el extremo noroccidental de la cuenca de Paganzo, Precordillera riojana, consideradas por Remesal *et al.* (2004) como las primeras manifestaciones de actividad volcánica neopaleozoica en las Sierras Pampeanas. Aunque poseen ligeras diferencias composicionales y geoquímicas, el rango de edades absolutas de la Andesita Ma-

rayes Viejo y la Dacita El Arriero es comparable al determinado para las volcanitas de la Formación Punta del Agua. Al igual que éstas, la Andesita Marayes Viejo y la Dacita El Arriero son rocas andesíticas con afinidad calcoalcalina, de medio a alto potasio, y emplazadas en un régimen orogénico. El ambiente geotectónico en que se generaron la Andesita Marayes Viejo y la Dacita El Arriero queda reflejado en su composición química, y los diagramas de discriminación geotectónica confirman su emplazamiento en un régimen de subducción en margen continental, similar al de las volcanitas de Punta del Agua.

Aunque con una leve discrepancia en cuanto a las edades (la Dacita El Arriero es ligeramente más vieja), también es posible la correlación regional con las unidades efusivas más antiguas del Grupo Choiyoi aflorante hacia el oeste, en el sector norte de la Cordillera Frontal de la provincia de San Juan. Sato y Llambías (1993) y Llambías (1999), diferencian en el área cordillerana una sección inferior de lavas andesítico-dacíticas claramente calcoalcalinas a las que asignan edad pérmica inferior, que culminan en el Pérmico Superior con una sección de riolitas con afinidades transicionales entre calcoalcalinas-alcalinas. Estos autores consideran a las andesitas como productos post-orogénicos tempranos en la etapa final de un régimen de subducción que tuvo su apogeo durante el Carbonífero, en pasaje a un régimen no orogénico de tipo extensional. Las características petrográficas y químicas dominantes en estas andesitas son resultado de la actividad final del arco magmático donde la presencia de agua fue importante, y coinciden en gran parte con las características de la Andesita Marayes Viejo y la Dacita El Arriero, que también son rocas de composiciones intermedias, marcadamente calcoalcalinas y metaluminosas y de naturaleza orogénica.

CONCLUSIONES

El estudio geológico, petrográfico, químico y geocronológico llevado a cabo en la Andesita Marayes Viejo y Dacita El Arriero, sierra de La Huerta, permite arribar a las siguientes conclusiones:

- Ambos cuerpos ígneos están espacial y

temporalmente asociados. Presentan composición similar, tratándose fundamentalmente de rocas andesíticas. La homogeneidad composicional sugiere un origen común para estas litologías.

- La Andesita Marayes Viejo se emplaza en coincidencia con la traza de la megafactura de Valle Fértil que margina a la sierra por el oeste, la intrusión de la Dacita El Arriero también está controlada estructuralmente.

- Constituyen cuerpos subsuperficiales de los que sólo afloran parcialmente sus cúpulas debido a la escasa actividad erosiva posterior a su intrusión. Se manifiestan como diques, filones capa y apófisis que intruyen al basamento cristalino.

- La forma de yacer es indicativa de un emplazamiento en niveles someros de la corteza, acompañado por una considerable movilización de la fase fluida que alteró hidrotermalmente las rocas y depositó mineralización metalífera.

- Las características químicas más importantes de estas rocas son: medio a alto potasio, metaluminosidad a peraluminosidad débil y afinidad calcoalcalina.

- El enriquecimiento en *LILE*, contenidos relativamente altos en Th, empobrecimiento en Zr-Nb-Ti y anomalía negativa de Nb evidenciados en el patrón de elementos traza normalizados con el MORB, así como los valores de $Yb_N < 10$, son rasgos geoquímicos distintivos de una génesis en una zona de subducción a partir de una fuente en la que el granate es una fase estable en el residuo.

- Las relaciones de campo y la geocronología permiten asignar a estos afloramientos una edad neopaleozoica comprendida entre el Carbonífero Superior - Pérmico en concordancia con el inicio del ciclo magmático-metalogénico gondwánico.

- El marco tectónico de este magmatismo se corresponde con un régimen compresivo en zona de subducción, al que siguió una etapa de extensión a partir del Triásico Medio con el desarrollo de cuencas de *riff* a lo largo del borde occidental de las Sierras Pampeanas.

- La Andesita Marayes Viejo y la Dacita El Arriero se incluyen entre los primeros exponentes de la actividad del arco magmático gondwánico en las Sierras Pampeanas Occidentales, y se vinculan genéticamente con manifestaciones similares identificadas en el ámbito de la Precordillera (Formación Punta

del Agua) y de Cordillera Frontal (sección inferior andesítico-dacítica del Grupo Choyoi).

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue subsidiada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas en el marco del proyecto PIP 02605-CONICET y por la Universidad Nacional de San Juan (Proyecto 21E/648-CICITCA). Se agradece la colaboración del Ing. Carlos Aliaga y de los alumnos Cecilia Mugas y Pedro Garcés en las tareas de campo. Asimismo se agradecen las observaciones y sugerencias de los árbitros Dras. G. Vujovich y S. Quenardelle, que han contribuido a mejorar este trabajo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Alvarado, P., Machuca, E., Castro de Machuca, B. y Blanco S. 1999. Prospección magnética en el área de Marayes Viejo, Sierras Pampeanas Occidentales, San Juan, Argentina. 6° International Congress of the Geophysical Society of Brazil: 226-230, Río de Janeiro, Edición en CD-Rom.
- Arancibia, G., Matthews, S. y Pérez de Arce, C. 2006. K-Ar and 40Ar/39Ar geochronology of supergene processes in the Atacama Desert, northern Chile: tectonic and climatic relations. *Journal of the Geological Society* 163: 107-118, London.
- Baldis, B., Martínez, R., Villegas, R., Pereyra, E. y Pérez, A. 1990. Estructura, provincialismo geológico y unidades tectonoestratigráficas de San Juan. En *Geología y Recursos Naturales de la Provincia de San Juan*, 11° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 186-211, San Juan.
- Blanco, S., Machuca, E., Alvarado, P., Cruz, P. y Castro de Machuca, B. 2001. Estudio magnético sobre un cuerpo de pórfido emplazado en el área de Marayes Viejo, Sierras Pampeanas Occidentales, San Juan, Argentina. 7° International Congress of the Geophysical Society of Brazil, Edición en CD-Rom, 5 p., Salvador.
- Bossi, G. 1976. Geología de la cuenca de Marayes-El Carrizal. 6° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 23-38, Bahía Blanca.
- Bossi, G., Villanueva García, A. y Carrión, M. 1976. Paleocorrientes de la cuenca de Ma-

rayes-El Carrizal (provincia de San Juan, República Argentina). 6° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 223-244, Bahía Blanca.

- Bruno, N. y Castro de Machuca, B. 2000. Petrología y quimismo de los basaltos de la cuenca de Marayes-El Carrizal, provincia de San Juan, Argentina. 14° Congreso Geológico Boliviano, Actas 261-265, La Paz.
- Cabanis, B. y Lecolle, M. 1989. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des séries volcaniques et la mise en évidence des processus de mélange et/ou de contamination crustale. *Compte Rendus de l'Académie des Sciences. Serie 2*, 309: 2023-2029.
- Caminos, R. 1979. Sierras Pampeanas de Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. En Turner, J.C. (ed.) *Academia Nacional de Ciencias, Segundo Simposio de Geología Regional Argentina*: 41-79, Córdoba.
- Castro de Machuca, B. y Bastías, H. 1983. Geología de un sector del distrito minero "Cerro Blanco", sierra de La Huerta, San Juan, Argentina. 2° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 2: 389-404, San Juan.
- Castro de Machuca, B. y Meissl, E. 2004. Dacita El Arriero exponente del magmatismo y metalogénesis gondwánica en la sierra de La Huerta, provincia de San Juan: alteración hidrotermal y mineralización. En Brodtkorb, M., Koukharsky, M., Quenardelle, S. y Montenegro, T. (eds.) *Avances en Mineralogía, Metalogénia y Petrología 2004*, 7° Congreso de Mineralogía y Metalogénia, Actas: 167-170, Río Cuarto.
- Castro de Machuca, B., Conte-Grand, A., Meissl, E., Pontoriero, S. y Sumay, C. 1996. Petrología de las asociaciones máficas-ultramáficas de la sierra de La Huerta, San Juan, Argentina. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 3: 439-452, Buenos Aires.
- Castro de Machuca, B., Sumay, C., Conte-Grand, A. y Meissl, E. 1998. Nueva evidencia de magmatismo neopaleozoico en las Sierras Pampeanas Occidentales: el Pórfido Marayes Viejo, provincia de San Juan, Argentina. 10° Congreso Latinoamericano de Geología y 6° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 2: 331-336, Buenos Aires.
- Castro de Machuca, B., Sumay, C., Conte-Grand, A., Meissl, E. y Pontoriero, S. 1999. Manifestación de la metalogénesis gondwánica en el área de Marayes Viejo, Sierras Pampeanas Occidentales, San Juan. 14° Congreso Geo-

- lógico Argentino, Actas 2: 312-315, Salta.
- Castro de Machuca, B., Bruno, N., Sumay, C., Pontoriero, S. y Meissl, E. 2000a. Relaciones estratigráficas y edad relativa del volcanismo basáltico en la cuenca de Marayes-El Carrizal, Provincia de San Juan, Argentina. 9° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 451-455, Puerto Varas.
- Castro de Machuca, B., Sumay, C., Meissl, E., Pontoriero, S. y Conte-Grand, A. 2000b. Alteración hidrotermal y mineralización en el área del cerro El Temblor, sierra de La Huerta, provincia de San Juan. En Schalamuk, I., Brodtkorb, M. y Etcheverry, R. (eds.) *Mineralogía y Metalogenia*. INREMI Publicación 6: 80-86, La Plata.
- Castro de Machuca, B., Sumay, C., Bruno, N., Meissl, E. y Conte-Grand, A. 2001. Geotectonic significance of the Marayes Viejo basalt based on K-Ar age dating, Western Pampean ranges, San Juan province, Argentina. 3° South American Symposium on Isotope Geology, Extended Abstracts: 554-557, Pucón.
- Castro de Machuca, B., Pérez de Arce, C. y Matthews, S. 2005a. Edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ del magmatismo y mineralización en el área de "El Arriero", sierra de La Huerta, San Juan, Argentina. En Llambías, E., De Barrio, R., González, P. y Leal, P. (eds.) 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 125-128, La Plata.
- Castro de Machuca, B., Conte-Grand, A., Sumay, C., Mugas, C., Garcés, P., Meissl, E., Pontoriero, S. y Aliaga, C. 2005b. Aporte al conocimiento de la geología del pórfido "El Arriero" y su zona de alteración, sierra de La Huerta, San Juan, Argentina. En Méndez, V., Herrmann, C. y Mutti, D. (eds.) *La minería, madre de industrias, es una actividad sostenible*, 2005. Asociación Argentina de Geólogos Economistas, 8° Congreso Argentino de Geología Económica, Actas, 151-158, Buenos Aires.
- Cuerda, A., Cingolani, C., Varela, R., y Schauer, O. 1984. Descripción geológica de la hoja 19d, Mogna, provincia de San Juan. Servicio Geológico Nacional, Boletín 192, 86 p., Buenos Aires.
- Gill, J., 1981. *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Minerals and Rocks 16. Springer Verlag, 390 p., Berlin.
- Irvine, T. y Baragar, W. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8: 523-548.
- Kretz, R. 1983. Symbols for rock forming minerals. *American Mineralogist* 68: 277-279.
- Koukharsky, M., Brodtkorb, M., Ramos, V., Kay, S. y Leal, P. 2002. Magmatismo básico y ultrabásico del Neopaleozoico en las Sierras Pampeanas y regiones aledañas. En Cingolani, C., Cabaleri, N., Linares, E., López de Luchi, M., Ostera, H. y Panarello, H. (eds.) 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 105-110, Buenos Aires.
- LeBas, M.; Le Maitre, R.; Streckeisen, A. y Zanettin, B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali silica diagram. *Journal of Petrology* 27:745-750.
- Llambías, E. 1999. Las rocas ígneas gondwánicas. 1. El magmatismo gondwánico durante el Paleozoico superior-Triásico. En Caminos, R. (ed.) *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29(14) 349-376, Buenos Aires.
- Malvicini, L. y Llambías, E. 1982. El magmatismo mioceno y las manifestaciones metalíferas asociadas en la Argentina. 5° Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 3: 547-566, Buenos Aires.
- Nakamura, N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 38: 757-775.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Saavedra, J., Baldo, E.G., Dahlquist, J., Pascua, I. y Fanning, C.M. 1998. The Famatinian magmatic arc in the central Sierras Pampeanas: an Early to Mid-Ordovician continental arc on the Gondwana margin. En Pankhurst, R.J. and Rapela, C.W. (eds.) *The proto-Andean margin of Gondwana*, Geological Society, Special Publication 142: 343-367, London.
- Pearce, J. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. En Thorpe, R. S. (ed.) *Andesites*, Wiley, 525-548, Chichester.
- Pearce, J. 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. En Hawkesworth, C.J. y Norry, M. (eds.) *Continental basalts and mantle xenoliths*. Shiva Publishing Ltd.: 230-249, Nantwich.
- Ramos, V. 1993. El magmatismo triásico-jurásico de intraplaca. En Ramos, V.A. (ed.) *Geología y Recursos Naturales de Mendoza*. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio 1(8): 79-86, Mendoza.
- Ramos, V., Munizaga, F. y Marín, G. 1988. Las riolitas neopaleozoicas de la sierra de La Huerta (provincia de San Juan): evidencias de una metalogénesis aurífera gondwánica en Sierras Pampeanas. 3° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 1: 149-159, Olavarría.
- Remesal, M., Fauqué, L. y Limarino, C. 2004. Volcanismo calcoalcalino neopaleozoico en la Precordillera de La Rioja. Petrología y caracterización litoestratigráfica de la Formación Punta del Agua (Carbonífero Superior-Pérmico Inferior). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59(3): 462-476, Buenos Aires.
- Sato, A. M. y Llambías, E. 1993. El Grupo Choyoi, provincia de San Juan: equivalente efusivo del Batolito de Colanguil. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 4: 156-165, Mendoza.
- Stoll, W. 1958. Las minas y la minería en la sierra de La Huerta. Dirección Nacional de Minería y Geología, Anales 9: 1-22, Buenos Aires.
- Vujovich, G., Chernicoff, J., Tchiliguirian, P., Godeas, M., Marín, G., Pezzutti, N. y Sepúlveda, E. 1998. Hoja geológica 3166-III, Chepas, provincias de San Juan y La Rioja. Subsecretaría de Minería de la Nación, SEGEMAR, 54 p., Buenos Aires.
- Winchester, J. y Floyd, P. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 20: 325-343.
- Wood, D. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province. *Earth and Planetary Science Letters* 50: 11-30.

Recibido: 16 de enero, 2007

Aceptado: 15 de junio, 2007