



SITIOS INTERÉS GEOLOGICO

de la República Argentina

EL DISTRITO VOLCÁNICO
DE LA PAYUNIA

*Un paisaje lunar
en nuestro planeta*

Eduardo Jorge Llambías¹

Sitios de Interés Geológico de la República Argentina

EDITOR

Comisión Sitios de Interés Geológico de la República Argentina (CSIGA):
Gabriela Anselmi, Alberto Ardolino, Alicia Echevarría, Mariela Etcheverría, Mario Franchi,
Silvia Lagorio, Hebe Lema, Fernando Miranda y Claudia Negro

COORDINACIÓN

Alberto Ardolino y Hebe Lema

DISEÑO EDITORIAL

Daniel Rastelli

Referencia bibliográfica

Sitios de Interés Geológico de la República Argentina. CSIGA (Ed.) Instituto
de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino,
Anales 46, I, 446 págs., Buenos Aires. 2008.

ISSN 0328-2325

Es propiedad del SEGEMAR • Prohibida su reproducción
Publicado con la colaboración de la Fundación Empremin



**INSTITUTO DE
GEOLOGÍA Y
RECURSOS
MINERALES**

Av. General Paz 5445 (Colectora provincia)
Edificio 14 - 1650 - San Martín - Buenos Aires
República Argentina



Av. General Paz 5445 (Colectora provincia)
Edificio 25 - 1650 - San Martín - Buenos Aires
República Argentina

www.segemar.gov.ar | comunicacion@segemar.gov.ar | csiga@segemar.gov.ar

BUENOS AIRES - 2008

EL DISTRITO VOLCÁNICO DE LA PAYUNIA

Un paisaje lunar en nuestro planeta

Eduardo Jorge Llambías¹

■ RESUMEN

El Payún Matrú es el volcán de mayor tamaño del sudeste de la provincia de Mendoza y tanto éste como su entorno se encuentran protegidos en el marco de la Reserva Natural La Payunia. Sus últimas erupciones tienen menos de diez mil años por lo cual las lavas y los campos de bombas volcánicas se encuentran intactos, conformando un paisaje de aspecto lunar. La imponente del Payún Matrú resalta porque se eleva 1.500 metros sobre la llanura que lo rodea. Su altura sobre el nivel del mar es de 3.700 metros y el diámetro de su base es de 28 kilómetros. Sobre sus laderas se ha desarrollado un volcanismo adventicio de similar edad a la del Payún Matrú, aumentando el dramatismo del paisaje volcánico. La intensidad de la actividad efusiva, la variedad de las formas volcánicas y su total conservación merecen la creación de un parque volcánico para la enseñanza de los procesos geológicos involucrados y la admiración de todos los habitantes.

■ ABSTRACT

Payún Matrú is the largest volcano in south-eastern Mendoza province, in a region protected by La Payunia Nature Reserve. The last eruptions took place less than ten thousand years ago and, for this reason, the lava flows and volcanic bomb fields retain their original morphology, resembling a lunar landscape. The magnificent volcanic edifice rises 1.500 meters above the surrounding plain. Its height is 3.700 meters above sea level and its diameter at the base 28 kilometers. Small adventitious volcanoes, of similar age to the main cone, are developed on the slopes and increase the dramatic character of the volcanic scenery. The volcano is well worth being designated as a Volcanic Park because of the intensity of the volcanic activity, the variety of volcanic features and their complete preservation, which will be admired and appreciated by every visitor.

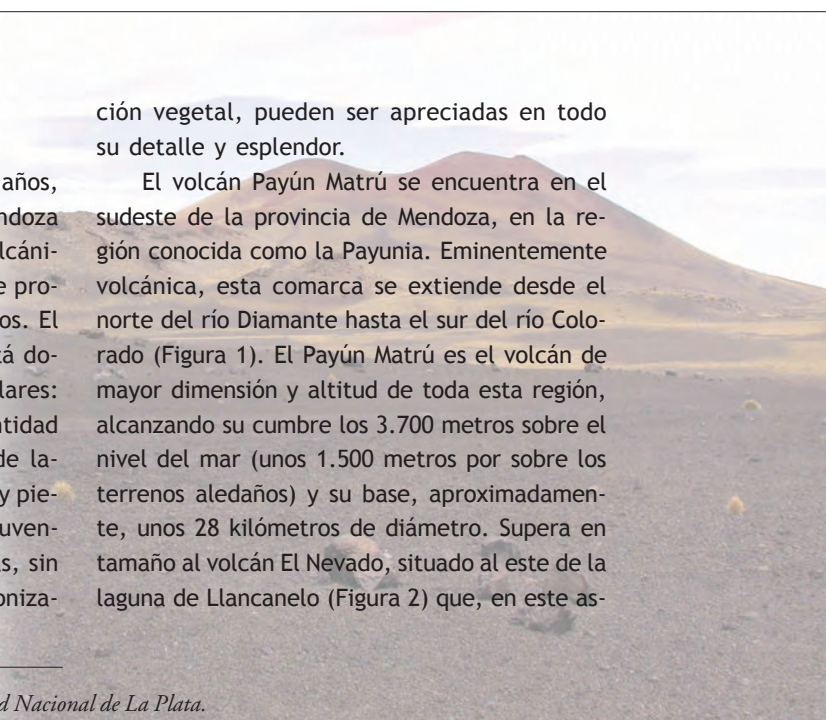
INTRODUCCIÓN

Durante los últimos veinte millones de años, la región sudeste de la provincia de Mendoza fue afectada por una intensa actividad volcánica cuyas manifestaciones más recientes se produjeron hace solamente unos diez mil años. El paisaje de este sector de la provincia está dominado por formas volcánicas espectaculares: volcanes de imponente tamaño, gran cantidad de pequeños conos volcánicos, coladas de lavas, flujos de ceniza y campos de bombas y piedra pómez. Estas formas, que por su «juventud» se mantienen prácticamente intactas, sin erosión y con apenas una incipiente coloniza-

ción vegetal, pueden ser apreciadas en todo su detalle y esplendor.

El volcán Payún Matrú se encuentra en el sudeste de la provincia de Mendoza, en la región conocida como la Payunia. Eminentemente volcánica, esta comarca se extiende desde el norte del río Diamante hasta el sur del río Colorado (Figura 1). El Payún Matrú es el volcán de mayor dimensión y altitud de toda esta región, alcanzando su cumbre los 3.700 metros sobre el nivel del mar (unos 1.500 metros por sobre los terrenos aledaños) y su base, aproximadamente, unos 28 kilómetros de diámetro. Supera en tamaño al volcán El Nevado, situado al este de la laguna de Llancanelo (Figura 2) que, en este as-

1. Centro de Investigaciones Geológicas, Universidad Nacional de La Plata.



pecto, ocupa el segundo lugar en el sudeste mendocino. Muy cerca del Payún Matrú, 15 kilómetros al Sur, se encuentra el volcán Payún Liso, otro de los grandes volcanes de esta región, con una altura de 3.680 metros y una base de 7 kilómetros de diámetro.

La belleza del Payún Matrú es incomparable, no sólo por su gran tamaño sino también por la diversidad de las formas de sus lavas y por el gran número de pequeños volcanes, denominados adventicios, que crecieron en sus faldeos. Sumado a esto, la juventud de los últimos episodios volcánicos, probablemente históricos, configuran un paisaje de aspecto lunar, como si las erupciones hubieran ocurrido «ayer». Otra de las particularidades del Payún Matrú se encuentra vinculada al desplome y hundimiento de la porción superior de su edificio, lo cual generó un gran hueco, de 8 kilómetros de diámetro, y que los volcanólogos denominan caldera. El interior de esta depresión alberga una laguna que en los años poco lluviosos se seca, hecho que deja sin agua a toda la región del Payún Matrú.

La aridez del paisaje favorece la observación de la morfología volcánica con singular claridad y brinda al espectador la oportunidad de reconstruir los procesos volcánicos que ocurrieron en esta región. En el Payún Matrú y áreas vecinas no hay ríos permanentes y, sin considerar la pequeña laguna del interior de la caldera, solamente hay agua en los huecos de las rocas, a los que los escasos pobladores lla-

man toscas. Estos rasgos la transforman en una región casi deshabitada, por lo cual el paisaje, la fauna y la flora se mantienen sin modificaciones.

El escaso tiempo geológico que nos separa de las últimas manifestaciones volcánicas permite considerar al Payún Matrú como un volcán potencialmente activo, sin embargo, en la actualidad, no hay en absoluto indicios que indiquen la posibilidad de que se produzca una nueva erupción.

ANÉCDOTAS, HISTORIA Y ETIMOLOGÍA DEL PAYÚN MATRÚ

Por su extrema sequedad, la región del Payún Matrú nunca tuvo asentamientos de población permanente. Únicamente dos familias: los Pérez (Fotografía 1) y los Forquera se establecieron en sus faldeos Oriental y Sur, respectivamente. Sin embargo, ambas familias estaban emparentadas entre sí por la señora de Pérez, que pertenecía a la familia de Forquera. En la actualidad sólo permanece en el área la familia Forquera.

Durante 1962, el estrecho contacto entablado con la familia Pérez permitió recabar información y conocer una serie de importantes sucesos, transmitidos oralmente de generación en generación, que acontecieron en el área. Entre ellos, los antecesores de los Pérez y los Forquera fueron testigos del avance de la conquista del desierto, época en que el Payún Matrú servía como refugio temporal para muchos de los aborígenes que huían hacia el Oeste buscando refugio en la cordillera. Desde las alturas del Payún Matrú vieron pasar las partidas militares que se dirigían por el sur del Payún Liso hacia Chos Malal, por aquel entonces primer fortín del territorio del Neuquén. Presenciaron también la gigantesca erupción del Descabezado del Maule en 1932 (ver recuadro), cuyas cenizas cubrieron gran parte del centro de Argentina, llegando las más dispersas hasta Río de Janeiro, en Brasil.

La denominación oficial (mapas del Instituto Geográfico Militar) de esta comarca es la de Payún Matrú, sin embargo ésta difiere de la otorgada por los actuales pobladores y antiguos viajeros, quienes la nombraron como Payén. Luis De La Cruz, oficial español residente en Chile, fue uno de los primeros viajeros en dar testimonio de esta región al realizar, en 1806, un largo viaje desde Valdivia hasta Melincué con el objeto de encontrar una ruta

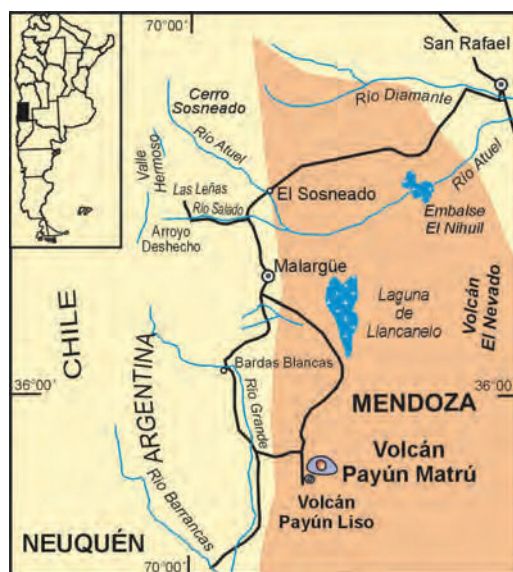


Figura 1. Ubicación del volcán Payún Matrú. El área con tonalidades rosadas corresponde al sector de distribución del volcanismo cenozoico, conocida como la Payunia. Su característica principal es la gran abundancia de centros volcánicos, la mayoría de ellos basálticos, cuyas últimas erupciones se produjeron hace unos diez mil años.

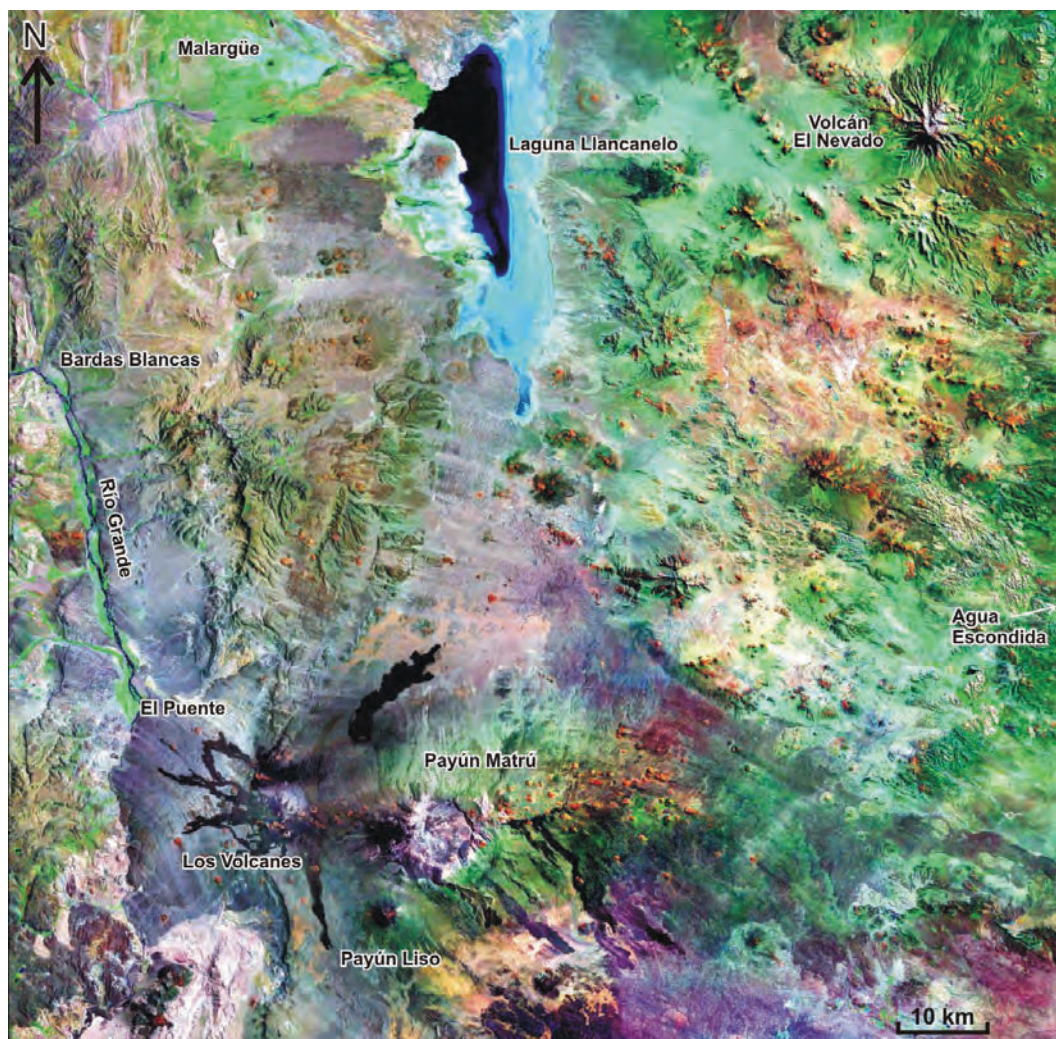


Figura 2. Imagen satelital (Landsat) del Payún Matrú, el volcán más grande de toda esta región y comarcas adyacentes. En ésta se observa la laguna de Llancanelo (arriba, al centro) que alberga una numerosa fauna. La llanura donde se erige el Payún Matrú se encuentra dominada por lavas de basalto.

accesible que uniera el sur de Chile con Asunción del Paraguay a través de las desiertas pampas. En su relato de viaje, este intrépido explorador describió a las serranías que comprenden al Payún Matrú y al Payún Liso como las «sierras del Payén» y, además, relató: «...sobre el cerro Payén había inmensas barras de oro macizo... datos que sirvieron de base a los españoles para imaginar un Eldorado con infinitas riquezas en las Pampas del Plata» (en Zeballos, 2002; página 247). Asimismo, el geógrafo de la Confederación Argentina Martín de Moussy publicó en 1860 una frase muy sugestiva: «Al sur de la provincia de Mendoza, en el territorio desierto ocupado casi exclusivamente por los indios pehuenches, está la montaña del Payén, cuyos minerales de cobre fueron explotados en tiempos de la dominación española».

El teniente coronel Olascoaga, al presentar al gobierno nacional en 1879 su informe sobre los avances de la frontera militar hasta

los ríos Negro y Neuquén (Olascoaga, 1974), continuó utilizando la denominación de Payén, refiriéndose a su significado, y posiblemente

LA ERUPCIÓN DEL DESCABEZADO DEL MAULE EN 1932

El día de la erupción había amanecido con un sol radiante, como es frecuente en esta región semidesértica, pero a media mañana el sol comenzó a oscurecerse hasta que desapareció por completo y se puso totalmente oscuro como si fuera noche cerrada. Los animales vagaban sin rumbo y actuaban como enloquecidos y lo que más desconcertó a los habitantes del puesto fue que las gallinas se acomodaron en sus dormitorios como para pasar la noche. Esto fue para ellos una señal funesta. Mientras tanto caía una ceniza muy fina que iba cubriendo poco a poco todo el paisaje y los techos de la precaria vivienda. Hacia el mediodía o quizás la tarde -por la ausencia del sol no pudieron dar mayores precisiones- los habitantes del puesto, sin saber exactamente que estaba ocurriendo, se sentaron resignados y en silencio alrededor del fogón creyendo que se acercaba el fin del mundo.



Fotografía 1. Fotografía de la familia Pérez tomada en 1962 frente al puesto, en la ladera oriental del Payún Matrú. El puesto data desde los primeros años posteriores a la conquista del desierto.

influenciado por los relatos de De La Cruz y Martin de Moussy, como el de «cobre».

Por tratarse de una zona con fama de ser rica en minerales valiosos, el jurisperito y científico Estanislao Zeballos, pocos meses después de la conquista del desierto, se internó en el corazón del desierto pampeano, y entre sus objetivos se encontraba el llegar al incógnito y famoso «Payén» (Zeballos, 1994). Lamentablemente, las grandes distancias y el desierto le impidieron el acceso, por lo cual esta región siguió un tiempo más sin ser «redescubierta».

A pesar de los relatos acerca de la riqueza mineral de la región, ni los pobladores de estas tierras, ni quienes han estudiado casi todos los rincones del Payún Matrú (Groeber, 1937; Llambías, 1966; González Díaz, 1970 y 1972) han encontrado jamás vestigios de una posible mina de oro ni tampoco de cobre. Posiblemente estos rumores se originaron en las probables explotaciones de cobre en la región vecina a la sierra de Lihuel Calel (véase sitio geológico de este nombre). No obstante, la expectativa de hallar esos grandes tesoros en el Payún Matrú nunca se desvaneció con el tiempo. Aún en nuestros días, a los pobladores del lugar les resulta ingenuo que alguien quiera estudiar el volcán en sí mismo y no trate de «redescubrir» las minas.

El geólogo Pablo Groeber (1926), experto en la geología del Neuquén, del sur de Mendoza y de La Pampa y, además, profundo conocedor del idioma de los araucanos, fue quien cambió la denominación de Payén por Payún Matrú. Lo hizo basándose en que Payún Matrú signifi-

ca «*barba de chivato*» (Payún = barba y Matrú = chivato). Groeber interpretaba que el cerro más alto, actualmente denominado La Nariz, visto desde el interior de la caldera se asemeja a la barba de un chivato (Fotografía 2).

ANTECEDENTES GEOLÓGICOS

Las características volcánicas particulares y distintivas de la región donde se emplaza el Payún Matrú ha llevado a los geólogos a considerarla, por el tipo de rocas dominante y por su edad, como una «provincia volcánica basáltica neógena», esto es con una edad comprendida entre 23 millones de años y la actualidad. El primero en reconocerla como una entidad geológica especial fue el geólogo Jorge Polanski (1954), quien la denominó «Payenia», término que como se ha visto tiene el mismo significado que Payunia. Por su similitud con otros terrenos volcánicos basálticos que también distinguen a amplias regiones de la Patagonia, Polanski la caracterizó como la «Patagonia mendocina».

Las primeras referencias con respecto al volcán Payún Matrú fueron aportadas por Groeber (1937), quien al realizar el mapa geológico de la región de Puntilla de Huincán (Hoja geológica homónima) lo describió como un gran domo coronado por una caldera volcánica, tal cual ha sido descrito con posterioridad por otros investigadores. Debido a lo agreste del terreno y el difícil acceso, es recién en la década del 60 que, la en aquel entonces Dirección Nacional de Geología y Minería (actualmente Servicio Geológico Minero Argentino,



Fotografía 2. Vista, desde el Oeste hacia el Este, de la fractura anular que limita la caldera del Payún Matrú. El sector más alto, que se asemeja a la barba de chivo, corresponde a La Nariz. En primer y segundo plano se observan lavas que fluyeron hacia el interior de la caldera.

SEGEMAR) comenzó con el estudio de este gigantesco volcán. Esto llevó a la publicación de los primeros mapas geológicos de detalle acompañados por los correspondientes estudios de las rocas del área, incluyendo la descripción geomorfológica y la discusión de los procesos volcánicos (González Díaz, 1969, 1970 y 1972; Llambías, 1966).

Las características tectónicas de la Payunia fueron descritas por Llambías y otros autores (1982) como las de un ambiente de arco volcánico relacionado con la subducción o hundimiento de la placa Nazca (parte del fondo del océano Pacífico) por debajo del continente Sudamericano. A su vez, estos investigadores describieron a la Payunia como la faja volcánica más oriental situada entre la placa continental y la zona de subducción, denominada como retroarco. Posteriormente Bermúdez y otros (1993) al escribir una síntesis del volcanismo de la región de la Payunia confirmaron la existencia del retroarco.

Durante los últimos años, nuevos estudios de la morfología de los volcanes basálticos en el Payún Matrú (Inbar y Risso, 2001a) han permitido reconocer que algunos conos basálticos, de acuerdo a su estado de preservación y en relación a su morfología original, tienen una antigüedad menor a 10.000 años. En la actualidad se están llevando a cabo nuevos estudios sobre estos volcanes adventicios y también una

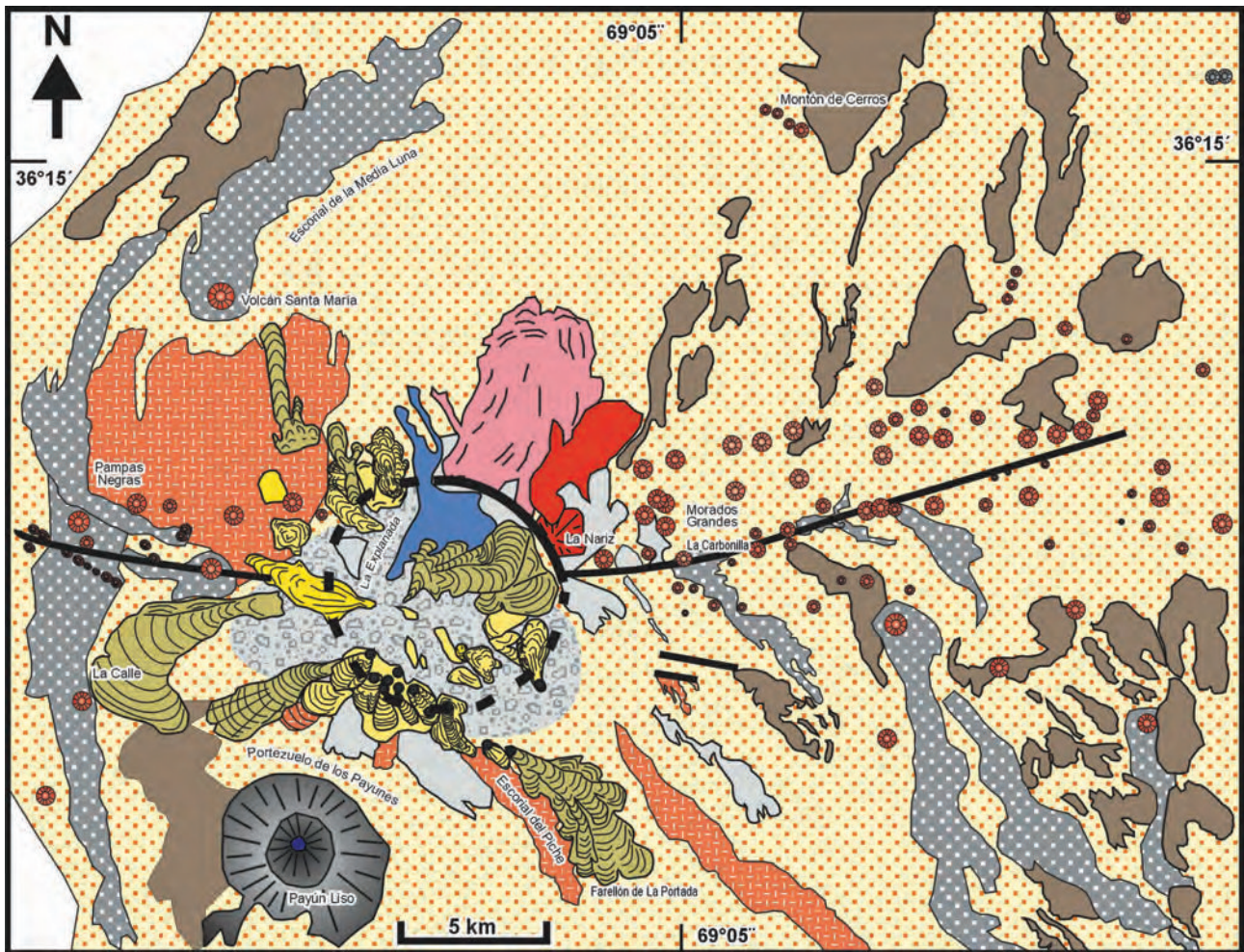
detallada investigación para comprender los mecanismos que indujeron a la formación de la caldera y la posible influencia del volcanismo adventicio en ese proceso. El mapa que acompaña este texto (Figura 3) es el resultado preliminar de estas investigaciones.

GEOLOGÍA

Morfología del volcán

El Payún Matrú es un volcán de grandes dimensiones que, por su altura, se destaca respecto del paisaje llano que lo rodea. Su relieve (Fotografía 3) es transicional entre un típico estratovolcán y un escudo volcánico. Los primeros se caracterizan por poseer laderas moderadamente empinadas, como las del Payún Liso (Fotografía 4), mientras que los segundos se distinguen por presentar pendientes más suaves, figurativamente como un escudo apoyado en el suelo. El contraste entre ambos relieves responde a los diferentes tipos, composición y proporción de los productos volcánicos que participan en la construcción del edificio del volcán.

Los estratovolcanes presentan la silueta de un cono coronado por un cráter (Fotografía 5). En este tipo de volcanes se alternan, una sobre otra, efusiones de coladas de lavas y efusiones piroclásticas (estas últimas cons-



Leyenda del mapa



Figura 3. Mapa geológico del Payún Matrú. En éste se muestra la variedad de lavas emitidas por el volcán central y los volcanes adventicios. Ésta es una de las características más importante que tiene esta región.



Fotografía 3. Vista general del Payún Matrú desde el Oeste. Se aprecian las suaves pendientes de sus faldeos y los conos volcánicos basálticos adventicios, cuya distribución está controlada por la fractura de La Carbonilla. El perfil achatado en la porción superior del volcán se debe a la presencia de la caldera, cuyos bordes Sur y Norte se han señalado con flechas. La línea cortada negra indica las parte del volcán que se hundió cuando se formó la caldera. En primer plano se distingue el campo de lapilli (= ceniza volcánica gruesa) basáltica de Pampas Negras.



Fotografía 4. Vista del Payún Liso desde el noroeste. La silueta de este volcán es la típica de un estratovolcán. El cráter que lo corona se observa en la fotografía 5.



Fotografía 5. Volcán Payún Liso, visto desde el Norte, con sus laderas empinadas y el cráter perfectamente conservado. Éste es el perfil característico de un estratovolcán, atributo que lo diferencia del volcán dómico del Payún Matrú.

tituidas por fragmentos sólidos producto de un volcanismo explosivo). La elevada viscosidad de las efusiones lávicas, combinada con las capas piroclásticas intercaladas, favorece la construcción de laderas de hasta 30° de inclinación.

En el otro extremo, los escudos volcánicos tienen pendientes suaves con alturas relativamente bajas respecto a su diámetro y suelen estar coronados por varios conos volcánicos de escoria de pequeñas dimensiones, inferiores a los 300 metros de altura (Fotografía 6). El bajo ángulo de sus laderas se debe a que están formados casi exclusivamente por lavas en general poco viscosas, característica que es propia de las lavas basálticas, y a la ausencia de capas piroclásticas intercaladas. La posición intermedia que adoptan las laderas del volcán Payún Matrú se debe a la presencia de una elevada proporción de lavas respecto a efusiones explosivas (piroclásticas). Probablemente se trata de un volcán que en su interior aloja un gran domo subvolcánico que ha emitido coladas de lava, las cuales, al apilarse, fueron construyendo el volcán (ver recuadro).

LA ACTIVIDAD ÍGNEA DEL VOLCÁN

En el Payún Matrú es posible identificar un *volcanismo central*, circunscrito a la actividad del volcán Payún Matrú, cuyas erupciones provienen de una cámara magmática situada cerca de la superficie, y un *volcanismo adventicio*, representado por la innumerable cantidad de conos volcánicos basálticos (de menos de 300 metros de altura) que

yacen en sus laderas oriental y occidental. Estos últimos han emitido extensas coladas de basalto portadores de olivina, un mineral silicático rico en magnesio y hierro que abunda a grandes profundidades dentro de la corteza terrestre (del orden de los 70 a 120 kilómetros). Es por tal motivo que el origen de los conos se relaciona con cámaras magmáticas más profundas.

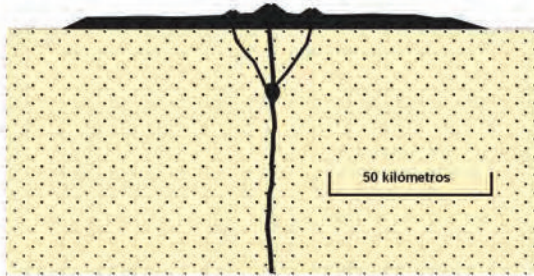
La llanura donde se erige el Payún Matrú, la cual abarca a toda la Payunia, se encuentra cubierta, prácticamente en su totalidad, por numerosas coladas de lavas basálticas similares a las emitidas por los conos adventicios.

Más allá de los flujos de lava, que en ocasiones se comportan como auténticos ríos, los volcanes eyectan también ceniza y grandes fragmentos sólidos que, en general, superan ampliamente en volumen a las lavas. Independientemente del tamaño que posean los fragmentos eyectados, éstos se denominan piroclastos, que literalmente significa «fragmentos de fuego». Los piroclastos de tamaño considerable pueden elevarse sobre el volcán y sus alrededores y posteriormente desplomarse o colapsar a tierra cerca de él, mientras que los fragmentos más livianos y pequeños son transportados por el viento a grandes distancias. Éstos, al caer, forman depósitos constituidos por rocas piroclásticas. A su vez, otros fragmentos sólidos, que interactúan con los gases liberados desde el volcán, adquieren mayor movilidad y se comportan como verdaderos flujos (muy destructivos) que corren ladera abajo a grandes velocidades. Estos flujos forman las llamadas ignimbritas, que significa «lluvia de fuego» o «nube de fuego» (del latín *ignis*, fuego, *imber*, lluvia o *nimbus*, nube)



Fotografía 6. Escudo volcánico de perfil suave formado por varios conos de escoria. Esta vista se aprecia en el camino de ripio que va de Malargüe a Agua Escondida.

Perfiles esquemáticos que muestran los tipos principales de edificios volcánicos de acuerdo a su morfología

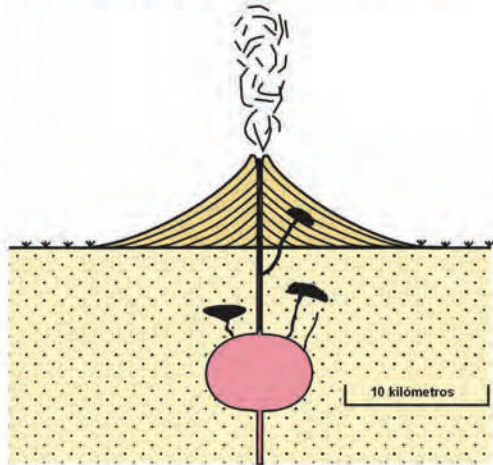
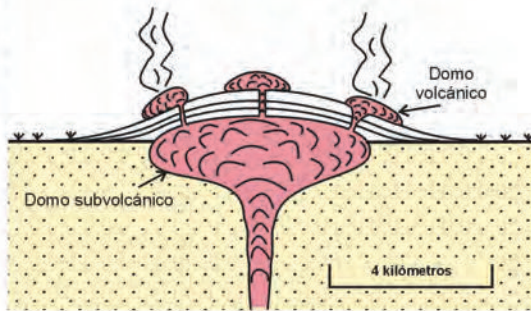


Volcán en escudo.

Está constituido por lavas basálticas que fluyen con facilidad y se derraman por la superficie hasta 150 kilómetros de distancia. El apilamiento de las lavas tiene forma de escudo, con la mayor altura cerca del centro de emisión. Cuando las lavas provenientes de varios volcanes inundan una amplia región se forman las mesetas basálticas, tan comunes en nuestra Patagonia.

Volcán dómico.

Está constituido por magmas viscosos, por lo cual fluyen con dificultad. Debido a esta propiedad se forma una cámara magmática muy cerca de la superficie, y cuando se enfría constituye un domo subvolcánico. Con frecuencia, antes de su enfriamiento, se fractura el techo que separa la cámara magmática de la superficie y el magma se extruye formando pequeños domos volcánicos externos, los cuales en algunos casos fluyen formando coladas de lava de corto recorrido (menos de 2.000 metros) y de gran espesor (200 a 400 metros). Si la erupción alcanza gran volumen la cámara magmática se vacía parcialmente hundiéndose el techo y formando una depresión central que se denomina caldera. La caldera del Payún Matrú es un ejemplo de este tipo de volcanismo.



Estratovolcán.

Está constituido por el apilamiento de lavas y rocas fragmentadas, con composiciones mesosilícicas, que provienen de un reservorio magmático moderadamente profundo (5-8 kilómetros). El material eruptado se acumula en la superficie con un ángulo de reposo que alcanza 35° de pendiente. La altura de los estratovolcanes sobre la superficie circundante es de 2.000 a 3.000 metros, por lo cual muchas veces sus cumbres se encuentran cubiertas por nieve. El Payún Liso es un ejemplo de estratovolcán.

Durante la prolongada historia de crecimiento del volcán Payún Matrú, un evento explosivo de corta duración, pero de gran intensidad, produjo la erupción de varios flujos piroclásticos. Entre éstos, los más explosivos (esto es los más ricos en gases) cubrieron una extensa superficie más allá de los límites del propio volcán. Como consecuencia de este suceso explosivo se produjo el hundimiento de la porción superior del edificio del volcán, dando lugar a la for-

mación de una caldera de 8 kilómetros de diámetro (Figura 4). Este acontecimiento, unido a la amplia distribución de las ignimbritas originadas por los flujos piroclásticos, ha permitido distinguir en las unidades volcánicas (formadas en distintos estadios de la evolución del volcán) dos etapas: una previa a la formación de la caldera o pre-caldera y otra posterior o pos-caldera. Cada una de ellas puede reconocerse tanto en el volcanismo central como en el adventicio. En

CÁMARA MAGMÁTICA

Una cámara magmática es un reservorio de roca fundida, ubicada a distintas profundidades dentro de la corteza de la Tierra. El término fundida a veces no es literalmente así, conviviendo en la cámara zonas líquidas con tabiques sólidos. Comúnmente la parte superior de las cámaras magmáticas es rica en agua que, debido a la presión de confinamiento, se halla disuelta en el magma. Esta parte de la cámara magmática se llama cúpula, y es en ella que, al descomprimirse rápidamente, se originan muchas de las erupciones volcánicas.

ambas etapas y en ambos volcanismos la actividad fue muy intensa.

Uno de los parámetros para clasificar a las rocas volcánicas radica en el porcentaje de sílice (SiO_2) que resulta de practicarles un análisis químico en el laboratorio. Así, existen rocas pobres en sílice, como los basaltos (49-50%) o con porcentajes algo mayores (64-68%) como las traquitas. La composición predominante del volcanismo central es traquítica mientras que la del volcanismo adventicio

es basáltica. Curiosamente, la composición de los flujos piroclásticos relacionados con la formación de la caldera es intermedia entre ambas (54-56%), como si se hubiese producido una mezcla entre el magma de la cámara magmática central más superficial y el magma proveniente de las cámaras profundas, tema que se ahondará más adelante.

EL VOLCANISMO CENTRAL**Las unidades volcánicas pre-caldera**

Las unidades pre-caldera correspondientes al volcanismo central se encuentran expuestas en pocos lugares debido a que, en su mayor parte, fueron cubiertas por las voluminosas erupciones posteriores a la formación de la caldera. Los afloramientos más importantes se encuentran al nordeste del cerro La Nariz y consisten en un conjunto de rocas que, con tonalidades grises blanquecinas, aparecen como islas rodeadas y parcialmente cubiertas por las ignimbritas y las coladas pos-caldera. Estas rocas, clasificadas como traquitas masivas fluidales, probablemente corresponden a un gran domo de traquita cuya superficie sería equivalente a la de la caldera.

En la pared oriental de la caldera, también se observan diques de traquita, con espesores de 5 a 10 metros. Éstos se disponen formando un diseño radial, es decir convergente hacia un hipotético centro situado en el interior de la actual caldera. Dado que los diques son visibles en las paredes de la caldera, su formación es anterior a la misma y su origen se debe a la gran presión que existía en el interior de la cámara magmática. Esta última se hallaba muy

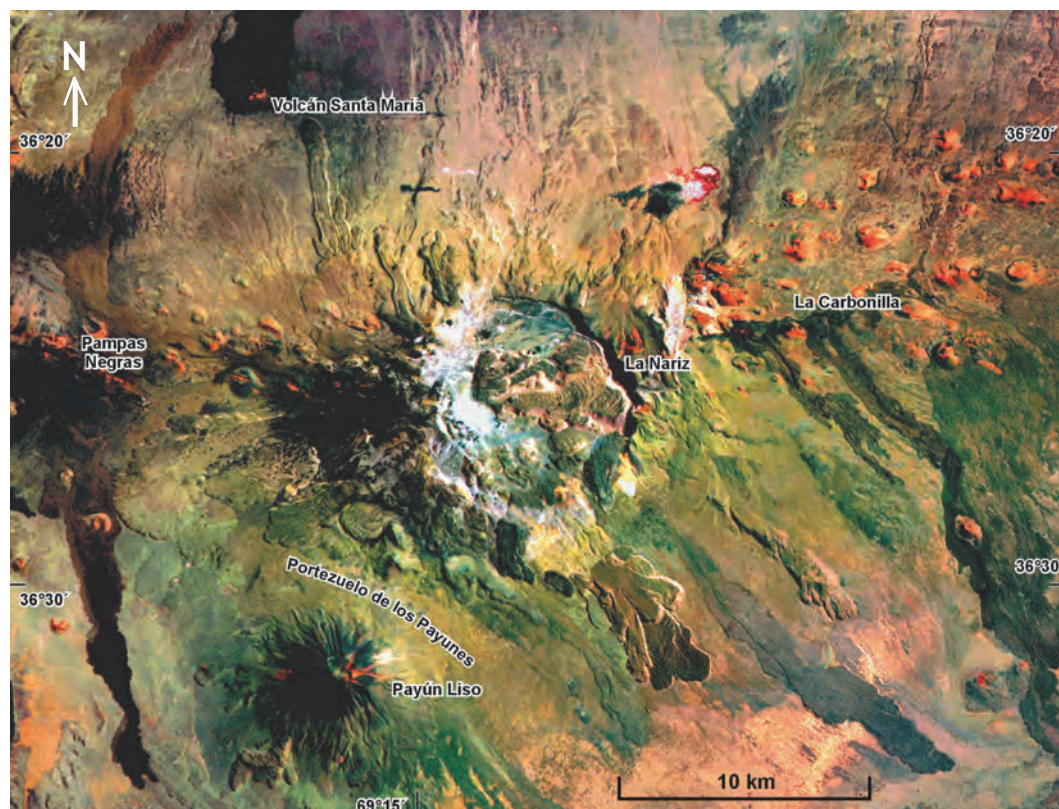


Figura 4. Imagen satelital (Landsat) del Payún Matrú. Puede apreciarse la depresión de la caldera, de 8 kilómetros de diámetro, y las lavas provenientes del volcán central y los volcanes adventicios.

cerca de la superficie, probablemente a no más de 1 kilómetro de profundidad.

Las unidades volcánicas contemporáneas con la formación de la caldera: las ignimbritas

Durante la etapa explosiva del volcanismo central, el material eyectado por el volcán, con abundantes bombas, ceniza volcánica y gases muy calientes, fue proyectado a gran altura, formando lo que los volcanólogos denominan columnas eruptivas. La caída o colapso de estas columnas produjeron varios flujos piroclásticos que se derramaron por las laderas del volcán dando origen a las ignimbritas.

Las únicas ignimbritas del volcán Payún Matrú son las originadas durante la formación y hundimiento de la caldera. No se han hallado anteriores a la caldera ni tampoco posteriores a ella, por lo cual tienen una distribución muy acotada en el tiempo. La única fase explosiva del volcán Payún Matrú tuvo una duración temporal corta, de unos pocos años, y los grandes volúmenes de material arrojados por el volcán durante la misma indican la extraordinaria violencia de las explosiones. Ésta es una de las características que identifican y diferencian al volcán Payún Matrú de otros volcanes de nuestro país y del mundo, en los cuales es común la alternancia de fases explosivas con fases efusivas de lavas durante su crecimiento.

De acuerdo con la temperatura del material erupcionado pueden distinguirse dos grupos de flujos piroclásticos. Por un lado, aquellos cuya temperatura es tan alta que los fragmentos volcánicos producidos durante la explosión se pegotean entre sí y forman masas de gran tamaño que, al acumularse en el piso, fluyen como una colada de lava en favor de las pendientes. Por el otro, aquellos en que la temperatura es menor y en consecuencia no se produce el amalgamamiento de los fragmentos eyectados. Éstos, debido a la presión interna del gas, permanecen en suspensión formando una densa nube de gas caliente con abundantes sólidos. Ambos flujos dan origen a los depósitos denominados como ignimbritas reomórficas e ignimbritas poco soldadas, respectivamente.

Las ignimbritas reomórficas, también llamadas como ignimbritas con alto grado de soldamiento o de alto grado, se encuentran solamente en las laderas del flanco norte del Payún Matrú. Reconocibles por su tonalidad

negruzca y con sectores algo rojizos (por alteración del vidrio que las compone), tienen una extensión reducida, ya que por su alta temperatura (y baja concentración de gases) han fluído en forma similar a las coladas de lava. Se han distinguido dos coladas principales de ignimbritas reomórficas. La primera, proveniente de un pequeño conducto de salida situado muy cerca de La Nariz y que se encuentra asociada a brechas y delgadas coladas que formaron un pequeño volcán en el entorno del conducto; y una segunda, cuyo punto de emisión no ha podido ser identificado porque ha sido sepultado por las coladas pos-caldera.

A las ignimbritas poco soldadas también se las conoce como ignimbritas con bajo grado de soldamiento o de bajo grado. Los flujos que les dieron origen fueron en sus comienzos ricos en gases, tuvieron una elevada temperatura, una energía inicial muy alta y una gran movilidad. Debido a la potencia de la onda explosiva, el flujo piroclástico se desplazó a alta velocidad (200 a 300 kilómetros por hora) y no fue controlado por el relieve preexistente, por lo cual cubrió tanto las partes bajas del terreno como las elevadas: laderas con pendientes de hasta 30 grados de inclinación y los cráteres y parte de las laderas de los conos adventicios de escoria de la etapa pre-caldera. Para el momento en que el flujo piroclástico se detuvo, la temperatura había descendido y, debido al escaso espesor de los depósitos, el enfriamiento fue rápido (por lo cual el grado de soldamiento de esta ignimbrita es bajo). Como se desprende de estas características, los flujos se esparcieron en una amplia extensión, varias veces mayor que la de las ignimbritas reomórficas, cubriendo una superficie de casi 4.000 kilómetros cuadrados, hasta el punto que es posible identificarlas hasta unos 35 kilómetros de distancia de la caldera. El espesor de la ignimbrita poco soldada es variable de acuerdo con el relieve previo donde se ha depositado. En las partes altas y en las laderas su espesor es menor a un metro, pero en las zonas deprimidas puede alcanzar hasta los 10 metros. Considerando un espesor promedio de 2 metros, el volumen del material erupcionado asciende a 8 kilómetros cúbicos. Si se compara esta cifra con el volumen producido en erupciones explosivas de otros volcanes, del orden de centenares de kilómetros cúbicos, se trata de un volumen muy modesto. Esto es concordante con la relativa pequeña dimensión de la caldera del Payún Matrú.

Una particularidad derivada del pobre grado de soldamiento de estas ignimbritas es que resultan fácilmente erosionadas por el viento. Este último, «esculpe» en ellas crestas y depresiones paralelas entre sí y alineadas con la dirección de los vientos dominantes. Esta morfología producida por la acción erosiva del viento, recibe el nombre de *yardangs*, los cuales son frecuentes en regiones áridas con fuertes vientos y donde hay rocas moderadamente erosionables. En el Payún Matrú los *yardangs* fueron descritos por primera vez por Llambías (1966), quien introdujo este término en Argentina. Su mejor desarrollo se encuentra en el portezuelo de los Payunes (Figura 5) debido a que, por un lado, el viento dominante del noroeste se encajona en este portezuelo aumentando su velocidad y, por el otro, a que el espesor de la ignimbrita en este sector alcanza hasta los 8 metros. Con posterioridad los *yardangs* fueron estudiados en forma específica y detallada por Inbar y Risso (2001b).

Las unidades volcánicas pos-caldera

En general, con posterioridad a la formación de una caldera, el magma que en forma remanente queda en una cámara magmática asciende hasta la superficie, preferentemente a través de la fractura anular que delimita a esa caldera. En el caso de la del Payún Matrú, los

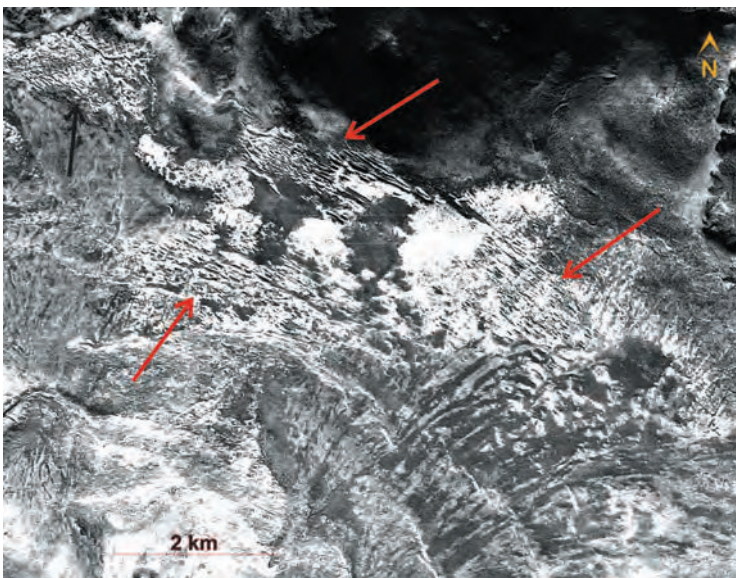


Figura 5. Fotografía aérea del portezuelo de los Payunes. Se aprecia la erosión eólica (señalada con flechas) provocada en la ignimbrita poco soldada. Las formas consisten en pequeñas lomas alargadas, de paredes verticales, de 4 a 6 metros de altura que alternan con depresiones también alargadas. Estas formas se denominan *yardangs* y son conocidas por los lugareños como «*toscales*». En las depresiones se acumula agua de lluvia, por lo cual son muy importantes en esta región semidesértica.

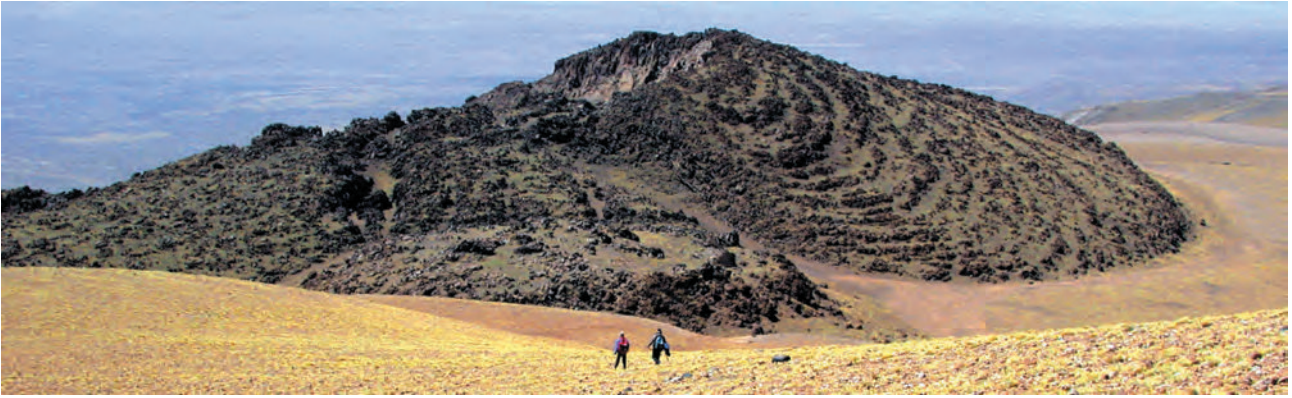
segmentos occidental y meridional de la fractura fueron los que permitieron la salida o extrusión del magma, mientras que el segmento oriental de ésta permaneció sellado. Es por esta razón que en dicho sector no se registran lavas. Esta asimetría en la distribución de las erupciones pos-caldera puede explicarse porque el hundimiento que formó la caldera fue ligeramente inclinado hacia el Este, apoyándose contra la fractura y sellándola. Al mismo tiempo la fractura se abría por el Oeste, facilitando la salida del magma.

Las erupciones fueron mayormente efusivas, generando grandes coladas de lavas traquíticas de hasta 9 kilómetros de extensión y 200 metros de altura. A este primer ciclo de lavas le sucedió otro de lavas traquíticas vítreas que, por su mayor viscosidad, alcanzaron menores dimensiones. Las coladas se derramaron lentamente tanto hacia el interior como el exterior de la caldera. La baja velocidad de desplazamiento dio tiempo para que sus superficies se solidificasen formando una capa externa delgada y flexible, sin embargo la lava en su interior continuaba fluyendo y moldeando la capa exterior. A esta dinámica se debe el aspecto corrugado que presenta la superficie de las coladas y que perdura una vez que la masa de lava completa se solidifica. Las lavas traquíticas son las últimas lavas provenientes del volcán Payún Matrú y por la conservación intacta de su morfología (Fotografía 7) podrían tener una edad similar a la de los últimos basaltos adventicios, esto es, cercana a los 10.000 años.

Durante la efusión de las coladas traquíticas la escasa proporción de gas remanente en la cámara magmática dio lugar a la formación de burbujas, pero sin llegar al desarrollo de una fase explosiva importante, como la acontecida durante la formación de la caldera. Parte del magma, «inflado» por las burbujas, fue expelido como bombas volcánicas que formaron el campo de piedra pómez de La Explanada (Fotografía 8). Algunas de estas bombas (Fotografías 9 y 10) poseen más de un metro de diámetro y otorgan al paisaje una belleza cautivante, similar al campo de bombas basálticas de Pampas Negras, pero con tonalidades grises claras.

EL VOLCANISMO ADVENTICIO

El período de actividad del volcanismo adventicio abarca las etapas de pre-caldera y pos-caldera. Tanto los conos adventicios en



Fotografía 7. Colada de lava vítrea, de composición traquita. Su estado de preservación permite inferir una edad muy joven, probablemente cercana a los 10.000 años. La superficie corrugada se debe a que el flujo de la colada fue lento, por lo cual el techo se solidificó y fue arrastrado y deformado por la lava que fluía en su interior.



Fotografía 8. Borde Oeste de la fractura anular que delimita la caldera vista desde el interior de la misma. En este sector la actividad volcánica fue muy activa hasta tiempos recientes. Los sectores de color gris claro corresponden a los campos de piedra pómez y bombas; los más oscuros a lavas que se derramaron hacia el interior de la caldera.

las laderas del Payún Matrú, como aquellos que se encuentran distribuidos en el sudeste de Mendoza, esto es desde el norte del río Diamante hasta poco al sur del límite con Neuquén, están constituidos por rocas basálticas. En toda esta región predomina el paisaje volcánico: conos de escoria originados a partir de una única erupción, escudos volcánicos de varios conos (Fotografía 6) y largas coladas.

El mayor desarrollo del volcanismo basáltico adventicio en el Payún Matrú se encuentra asociado a una importante fractura de dirección casi Este-Oeste, con una ligera curvatura abierta hacia el Norte, que atraviesa por el medio al aparato volcánico central (Figuras 3 y 6). Esta fractura es conocida como fractura La Carbonilla y a ella se atribuye el gran desarrollo basáltico del sector de Los Volcanes, al oeste del Payún Matrú, cuyas coladas llegan hasta El Puente, en el río Grande (Figura 2).

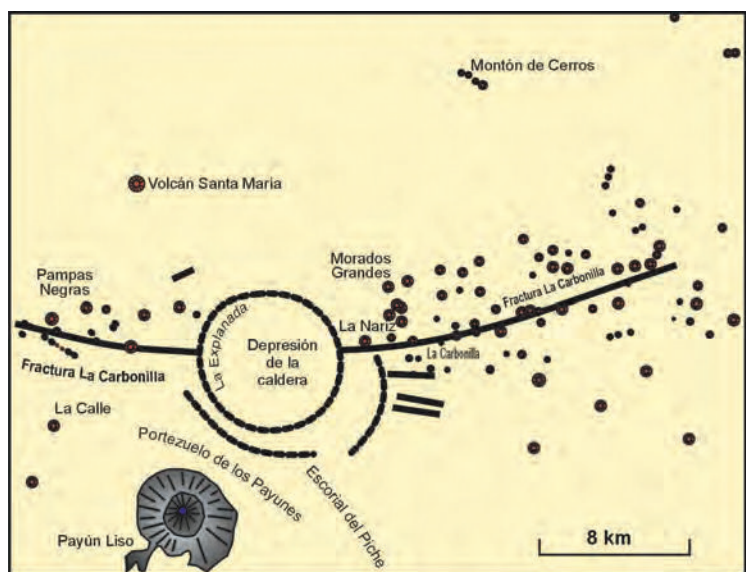


Figura 6. Esquema de la fractura La Carbonilla. Por ella salió la mayor cantidad de lavas basálticas. La abundancia de conos de escoria situados en las inmediaciones de esta fractura indica que funcionó como vía de ascenso del magma desde las profundidades de la Tierra.



Fotografía 9. Bomba volcánica de vidrio traquítico de más de un metro de diámetro en la zona de La Explanada. La parte externa se «congela» rápidamente y resulta más resistente al desgaste. El núcleo es esponjoso y a veces hueco, como en este caso. El martillo que sirve de escala tienen 35 centímetros. Las piedras blancas corresponden a piedra pómez.



Fotografía 10. Bomba basáltica en Pampas Negras. Las bombas volcánicas son resultado de las explosiones de magma que se producen en la boca del volcán y durante las cuales la lava es arrojada hacia arriba. Los giros que ésta realiza en su trayecto por el aire, la modelan hasta adquirir finalmente la forma de bomba.

Basaltos pre-caldera

Los basaltos pre-caldera constituyen conos de escoria y extensas coladas. Ambos están parcialmente cubiertos por las ignimbritas poco soldadas, característica que permite diferenciarlos de los basaltos pos-caldera. El mayor agrupamiento de conos basálticos pre-caldera es el de los Morados Grandes, situados en el faldeo oriental del Payún Matrú y a escasa distancia de la fractura La Carbonilla. Las coladas de estos conos se derramaron hacia el Norte y nordeste, pero su exacto recorrido es difícil de establecer debido a la cobertura de las ignimbritas. En el flanco oriental del

Payún Matrú, hacia el Sur de la fractura La Carbonilla, también se han reconocido coladas y conos basálticos pre-caldera, lo cual indica que esta fractura se encontraba activa con anterioridad a la formación de la caldera. Otros extensos derrames de basaltos pre-caldera se encuentran en los flancos noroeste y sudoeste del Payún Matrú. Éstos se encuentran cubiertos por lavas pos-caldera, hecho que impide conocer la ubicación de los conos volcánicos, sin embargo, a juzgar por la dirección del flujo de las coladas, se puede inferir que tuvieron su origen en el tramo occidental de la fractura La Carbonilla.

Basaltos pos-caldera

Las coladas de basaltos pos-caldera derramadas por la superficie son numerosas. Las últimas erupciones conservan intactos los conos de escoria, el campo de bombas y ceniza gruesa y la morfología de las lavas. El campo más espectacular de bombas y coladas basálticas es el de Pampas Negras (Fotografía 11), cuya denominación se debe a la abundancia de ceniza basáltica negra que cubre totalmente la superficie. La belleza de Pampas Negras es de tal magnitud que las organizaciones turísticas la consideran como una elección ineludible entre los circuitos turísticos del sur de Mendoza.

A través de la fractura La Carbonilla han salido numerosas coladas basálticas conformando un estilo de erupción fisural (Figura 7). Esto constituye otra de las características distintivas del área volcánica del Payún Matrú, ya que la morfología de las erupciones del tipo fisural rara vez queda expuesta debido a que, con frecuencia, la fisura o fractura por la cual emergen las lavas es cubierta por las últimas coladas.

UNA MEZCLA DE MAGMAS EXPLOSIVA

Más allá de lo estrictamente paisajístico, la característica más sobresaliente del volcán Payún Matrú es la composición contrastada que se presenta entre el volcanismo central (traquítico) y el volcanismo adventicio (basáltico olivínico).

Las erupciones correspondientes al aparato volcánico central surgieron de una cámara magmática residente en los niveles más altos de la corteza terrestre, y cuya parte superior

pudo haber estado entre 1 y 3 kilómetros de profundidad. Las dimensiones de esta cámara habrían sido similares a las de la caldera, es decir de alrededor de 8 kilómetros de diámetro.

El volcanismo adventicio, en cambio, proviene de cámaras magmáticas situadas a mayor profundidad, probablemente a unos 100 kilómetros por debajo de la superficie. El tiempo que habría empleado el magma para llegar hasta la superficie se estima en no más de un año, lapso que en geología se considera extremadamente corto.

La distribución de los conductos de salida del volcanismo adventicio se asocia a la fractura de La Carbonilla, la cual concentra gran cantidad de conos basálticos a ambos lados de la caldera (Figuras 6 y 8). Esta disposición hace pensar que la fractura también atraviesa la caldera y, en consecuencia, a la antigua cámara magmática por debajo de ésta. Sin embargo, en el interior de la caldera no hay conos volcánicos de basalto olivínico que permitan inferir la continuidad de la fractura dentro de ésta. Una probable explicación a este hecho es que la fractura, que tiene un desarrollo muy profundo, no haya podido proyectarse hacia la superficie en el tramo considerado debido a que no es posible fracturar la roca en estado



Fotografía 11. Cono volcánico basáltico situado en Pampas Negras. Está rodeado por bombas volcánicas y ceniza gruesa. Las tonalidades rojizas se deben a que la escoria volcánica se ha oxidado

«líquido», es decir al magma que se encontraba dentro de la cámara. Así, el basalto proveniente de los sectores más profundos habría ascendido a través de la fractura y al toparse con la cámara magmática superficial quedó atrapado en ella. Esta interrupción de la emisión basáltica en el tramo de la fractura que pasa



Figura 7. Imagen satelital (Landsat) del volcanismo adventicio fisural, al este de la caldera. Todavía se nota el hundimiento de la fractura y las lavas «saliendo» de ella. Para llegar al fondo de la fractura, unos 20 metros debajo de la superficie, se requiere de equipos especiales debido a la verticalidad de las paredes.

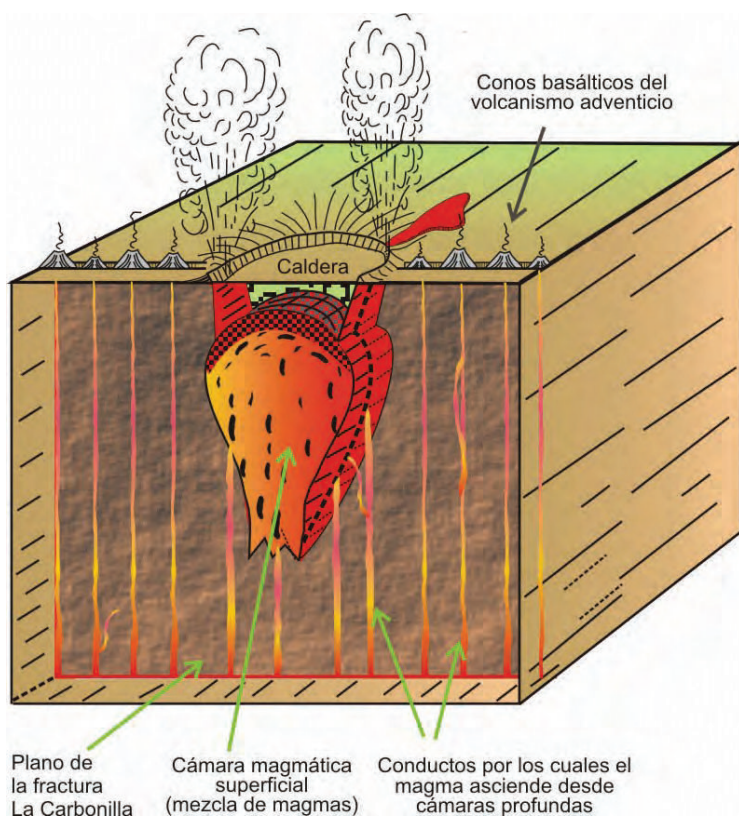


Figura 8. El diagrama muestra la intersección del plano de la fractura La Carbonilla con la cámara magmática superficial, donde se originaron las lavas y explosiones del volcanismo central. La fractura La Carbonilla no pudo atravesar la cámara magmática superficial, sin embargo actuó como conducto para que el magma basáltico (proveniente de zonas más profundas) se topase con la cámara magmática traquítica y se produjera la mezcla de magmas.

por la zona de la caldera es otro de los fenómenos característicos del Payún Matrú y en muy pocas áreas volcánicas del mundo se ha visto un hecho similar con tanta claridad.

El entrapamiento temporal del magma basáltico dentro la cámara más superficial, habría producido la mezcla de éste con el de composición traquítica. En virtud de que el magma basáltico tiene mayor temperatura (unos 1.200° C) que el traquítico (cerca de 950° C), este último se habría «recalentado», y esto habría favorecido la liberación de gases. La acumulación de estos gases en la parte superior de la cámara fue el desencadenante de las erupciones explosivas que dieron origen a los grandes volúmenes de ignimbritas en la región. La rápida salida de tanta cantidad de magma produjo el vaciamiento de la parte superior de la cámara magmática, provocando el desplome de su techo, lo cual dejó el espacio disponible para que se origine la depresión de la caldera. Una vez finalizado este proceso, las erupciones continuaron, pero en forma no explosiva y alcanzando la superficie a través de las fractu-

ras anulares que delimitan la caldera. De este modo se originaron las lavas de traquitas.

El proceso de mezcla de magmas de diferentes características resulta coherente con la composición que presentan las ignimbritas, la cual se encuentra en una posición intermedia entre las traquitas y los basaltos. Además, la primera colada que rellena la caldera también tiene una composición intermedia, como si hubiese sido el producto de la mezcla de ambos magmas.

¿MÁS ERUPCIONES?

Dada la extrema juventud de las últimas erupciones del volcanismo central y del volcanismo adventicio, es lógico preguntarse si en la comarca del Payún Matrú existen posibilidades de que se produzcan nuevas erupciones. Para dar una respuesta a este interrogante es necesario hacer una distinción entre ambos tipos de actividad. Con respecto al volcanismo central, la presencia de una cámara magmática activa y muy cercana a la superficie debería manifestarse por la presencia de solfataras, géiseres, manantiales de agua caliente y escape de gases, sin embargo, nada de esto ocurre. La ausencia de estos indicadores señala la alta probabilidad de que esta cámara magmática se encuentre fría en la actualidad y, en consecuencia, no existan posibilidades de nuevas erupciones. Sin embargo, al considerar el volcanismo adventicio no es posible realizar una afirmación tan categórica. Como se dijo anteriormente, las cámaras magmáticas correspondientes a este tipo de volcanismo se encuentran a gran profundidad, por lo tanto no es posible registrar indicios de actividad profunda en la superficie. En este caso, si bien es difícil predecir, teniendo en cuenta la dimensión del tiempo geológico, no se puede descartar que en los próximos 10.000 años se produzcan nuevas erupciones.

NORMAS DE CONSERVACIÓN Y PROPUESTAS

Con la finalidad de preservar esta región, el gobierno de la provincia de Mendoza creó en 1982 la Reserva Natural La Payunia, que actualmente depende de la Dirección de Recursos Naturales Renovables de la provincia. La reserva se encuentra a 100 kilómetros al sur de Malargüe y abarca una superficie de 190.000 hectáreas. Cuenta con dos puestos de guarda-

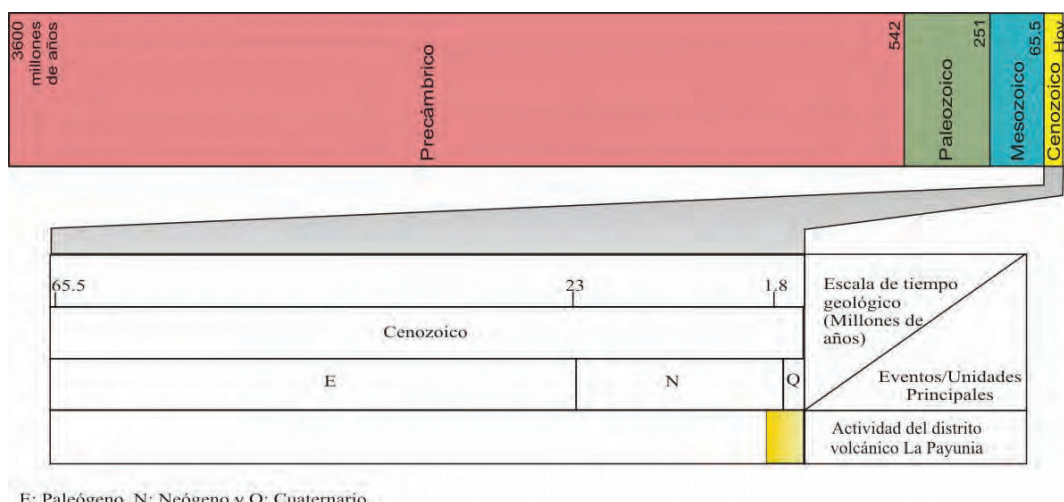
parques fijos, uno en Mina Ethel y el otro en Coihueco, al nordeste y oeste del área, respectivamente. La creación de la reserva ha permitido la recuperación de tropas de guanacos y de choiques (ñandúes), así como de otros exponentes de la fauna y flora local.

Dada la variedad de procesos volcánicos y la perfecta conservación de las formas generadas por esta actividad es que se ha propuesto al gobierno de la provincia de Mendoza que el área de la reserva de Payunia sea también declarada como «Parque Volcánico». Esto es a los fines de posibilitar la enseñanza de los procesos volcánicos en todos los niveles, desde el universitario (incluyendo a especialistas internacionales en volcanología) hasta los ciclos primario y secundario de la educación básica.

Asimismo, es una región especial para fomentar el turismo ilustrado, donde los no especialistas pueden comprender el funcionamiento de los volcanes. En relación a esto, actualmente las organizaciones turísticas de Malargüe transportan contingentes turísticos a la región de Pampas Negras. La ampliación de los recorridos hacia otros sectores del área, con las precauciones y restricciones necesarias para su preservación, podrían transformar la región en una de las tantas maravillas turísticas de nuestro país.

Por todo lo expuesto, podemos considerar a la región del Payún Matrú como un sitio geológico privilegiado que, además de mostrar con excepcional nitidez los fenómenos volcánicos, nos permite disfrutar la agreste belleza de un paisaje natural sin modificaciones.

UBICÁNDOSE EN EL TIEMPO



E: Paleógeno, N: Neógeno y Q: Cuaternario

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer expresamente la valiosa colaboración logística prestada por el Ingeniero Agrónomo Ramón Martínez, delegado en Malargüe de la Dirección de Recursos Naturales Renovables de la provincia de Mendoza. Sin su ayuda hubiera sido imposible el acceso a la caldera del Payún Matrú. También agradezco a los estudiantes de geología Irene Hernando, Ariel Schiuma (UNLP) y Lucas Oliva (UNC) por su participación en el trabajo de campo. Mi reconocimiento para Alberto Zambinelli y Carlos Benedetto, por facilitar nuestra estadía en Malargüe y cooperar con la expedición. Han contribuido a mejorar la redacción y ordenamiento del texto Fernando Miranda y Alberto

Ardolino, a quienes agradezco su paciencia y detallado análisis.

TRABAJOS CITADOS

- Bermúdez, A., Delpino, D., Frey, F. y Saal, A., 1993. Los basaltos de retroarco andinos. En: Ramos, V.A. (Ed.). Geología y Recursos Naturales de Mendoza. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio 1(13): 161-172. Mendoza
- González Díaz, E. F., 1969. El puente natural en el ambiente del campo oriental del volcán Payún Matrú, provincia de Mendoza, República Argentina. Asociación Geológica Argentina Revista, 2: 85-89. Buenos Aires.

- González Díaz, E. F., 1970. Rasgos morfológicos del área volcánica del cerro Volcán Payún Matrú. *Opera Lilloana* 20, 102 p.. San Miguel de Tucumán.
- González Díaz, E. F., 1972. Descripción Geológica de la Hoja 30d, Payún Matrú. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 130, 92 p.. Buenos Aires.
- Groeber, P., 1926. Toponimia Araucana. *Anales de la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos*, Tomo 1, 194 p.. Buenos Aires.
- Groeber, P., 1937. Descripción Geológica de la Hoja 30c Puntilla de Huincán, provincia de Mendoza. Dirección Nacional de Geología y Minería (inédito), Buenos Aires.
- Inbar, M. y Risso, C., 2001a. A morphological and morphometric analysis of a high density cinder cone volcanic field - Payun Matru, south-central Andes, Argentina. S. 321. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 45(3): 321-343.
- Inbar, M. y Risso, C., 2001b. Holocene yardangs in volcanic terrains in the Southern Andes, Argentina. *Earth Surface Processes and Landforms* 26: 657-666.
- Llambías, E. J., 1966. Geología y petrografía del volcán Payún Matrú. *Acta Geológica Lilloana*, Tomo 8: 265-310. San Miguel de Tucumán.
- Llambías, E. J., Palacios, M. y Danderfer, J. C., 1982. Las erupciones holocenas del volcán Tromen (provincia del Neuquén) y su significado en un perfil transversal E-O a la altitud de 37° S. 5° Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 3: 537-545. Buenos Aires.
- Martin de Moussy, V., 1860. *Description Géographique et Statistique de la Confédération Argentine*, Tome I. Librairie de Fermin Didot Frères, Fils et C^{ie}. Edición 2005. Edición a cargo de Beatriz Bosch. Academia Nacional de la Historia, 554 p., impreso por Editorial Dunken, Buenos Aires.
- Olascoaga, M. J., 1974. Estudio topográfico de La Pampa y Río Negro. Segunda edición: Eudeba, 519 p. Buenos Aires.
- Polanski, J., 1954. Rasgos geomorfológicos del territorio de la provincia de Mendoza. Instituto de Investigaciones Económicas Tecnológicas. Cuadernos de Estudio e Investigación 4: 5-10. Buenos Aires.
- Zeballos, E. S., 1994. *Viaje al País de los Araucanos*. Ediciones Solar, 489 p. Buenos Aires.
- Zeballos, E. S., 2002. *La conquista de quince mil leguas. Estudio de la traslación de la Frontera Sur de la República al Río Negro*. Reimpreso por Editorial Taurus, 427 p. Buenos Aires.