



# SITIOS INTERÉS GEOLOGICO

de la República Argentina

LA SIERRA  
DE LIHUEL CALEL

*Volcanismo explosivo  
acontecido hace 240  
millones de años*

Eduardo Jorge Llambías<sup>1</sup>

# 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, II, 461 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](http://www.segemar.gov.ar) | [comunicacion@segemar.gov.ar](mailto:comunicacion@segemar.gov.ar) | [csiga@segemar.gov.ar](mailto:csiga@segemar.gov.ar)

BUENOS AIRES - 2008

## LA SIERRA DE LIHUEL CALEL

# *Volcanismo explosivo acontecido hace 240 millones de años*

Eduardo Jorge Llambías<sup>1</sup>

### ■ RESUMEN

La sierra de Lihuel Calel, con sus 590 metros sobre el nivel del mar, es el accidente topográfico de mayor altura de la provincia de La Pampa. Por los manantiales de agua dulce que se encuentran en ella constituye un verdadero oasis en medio de la llanura semidesértica pampeana. Hay indicios que fue colonizada con bastante anterioridad a la conquista del desierto, pero no se han preservado evidencias que permitan desentrañar esta parte de la historia. Las rocas que integran la sierra son remanentes de la intensa actividad volcánica que tuvo lugar entre el Pérmico Tardío y el Triásico Temprano, cuyos afloramientos se encuentran dispersos por toda la provincia de La Pampa. La sierra de Lihuel Calel, en particular, está constituida por ignimbritas depositadas a partir de flujos piroclásticos que rellenaron una caldera volcánica de más de 1.000 metros de profundidad. Tanto la sierra como la llanura adyacente se encuentran protegidas por el Parque Nacional Lihué Calel.

### ■ ABSTRACT

Lihuel Calel is the highest range of La Pampa province, with an altitude of 590 metres above sea level. It is located in the middle of the semi-desert plains of central Argentina, and its fresh water springs represent a true oasis for travellers. There is little evidence of colonization by white men during the XVIII century and, when authorities from Buenos Aires took position of this area in 1880, only aboriginal people of the Pampean tribes were living there. The rocks of the Lihuel Calel range are the remains of the intense Late Permian to Early Triassic volcanic activity whose deposits are dispersed all over La Pampa province. In particular, Lihuel Calel consists of caldera infill made up of two 450 metres-thick rhyolitic ignimbrite flow units. At present, Lihuel Calel and the surrounding plain are protected as a National Park.

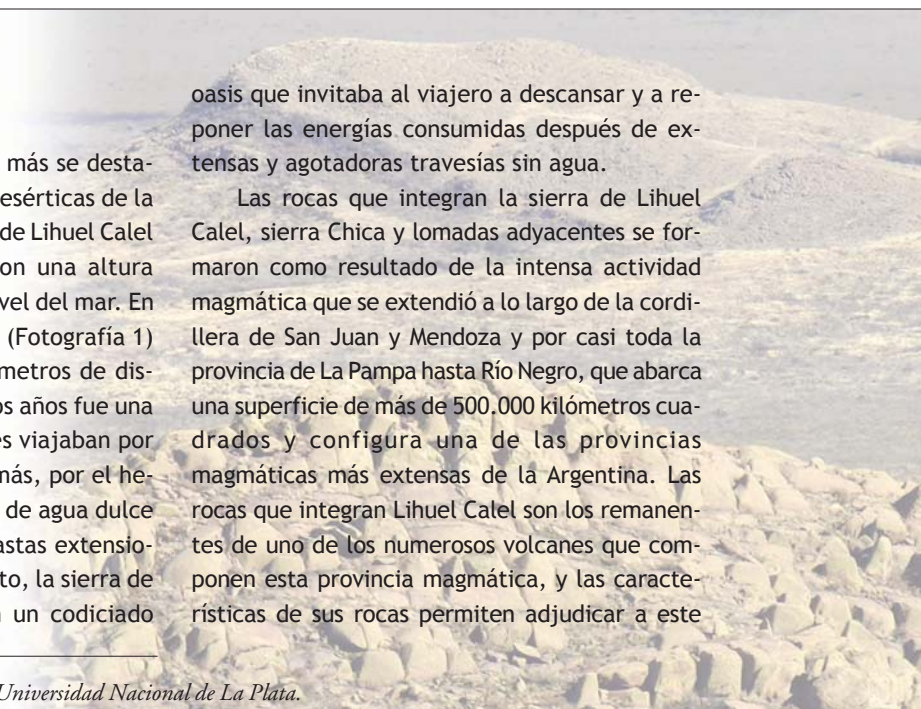
### INTRODUCCIÓN

El accidente topográfico que más se destaca en las inmensas llanuras semidesérticas de la provincia de La Pampa es la sierra de Lihuel Calel (= Lihuelcalel = Lihué Calel), con una altura máxima de 590 metros sobre el nivel del mar. En un día claro, el perfil de la sierra (Fotografía 1) se observa desde más de 60 kilómetros de distancia, por lo cual durante muchos años fue una apreciada referencia para quienes viajaban por esas interminables llanuras. Además, por el hecho de poseer varios manantiales de agua dulce y cristalina y estar rodeada de vastas extensiones carentes de este vital elemento, la sierra de Lihuel Calel se transformaba en un codiciado

oasis que invitaba al viajero a descansar y a reponer las energías consumidas después de extensas y agotadoras travesías sin agua.

Las rocas que integran la sierra de Lihuel Calel, sierra Chica y lomadas adyacentes se formaron como resultado de la intensa actividad magmática que se extendió a lo largo de la cordillera de San Juan y Mendoza y por casi toda la provincia de La Pampa hasta Río Negro, que abarca una superficie de más de 500.000 kilómetros cuadrados y configura una de las provincias magmáticas más extensas de la Argentina. Las rocas que integran Lihuel Calel son los remanentes de uno de los numerosos volcanes que componen esta provincia magmática, y las características de sus rocas permiten adjudicar a este

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





**Fotografía 1.** Vista de la sierra de Lihuel Calel desde el norte. La ruta asfaltada es la 152 y la distancia a la sierra en línea recta es de 35 kilómetros.

volcán una evolución muy particular que lo diferencia del resto. La formación de una caldera y su rápido relleno por los flujos volcánicos favoreció la formación de gruesos mantos, lo cual produjo un lento enfriamiento de los mismos y generó rocas con algunas propiedades similares a las de los granitos, cuya lenta cristalización se produce en el interior de la corteza.

Por otro lado, la sierra de Lihuel Calel encierra un misterio histórico que sería muy interesante resolver: aparentemente fue poblada por colonos provenientes del otro lado de los Andes, posiblemente durante el siglo XVIII. No se conocen los motivos por los cuales dicha colonización fue abandonada, pero una investigación al respecto podría aclarar muchos aspectos de nuestra integración nacional.

Es por todos estos antecedentes que la sierra de Lihuel Calel constituye uno de los sitios históricos y geológicos de interés en nuestro país. Es un lugar fácilmente accesible por rutas asfaltadas y sus singulares características geológicas nos permiten conocer como era la actividad volcánica en tiempos remotos. Además, se encuentra bajo la protección de un Parque Nacional, el cual es visitado por numeroso público por las maravillas que encierra.

## UBICACIÓN

La sierra de Lihuel Calel se encuentra en el centro de la provincia de La Pampa y es flanqueada por la ruta nacional 152, a 226 kilómetros de Santa Rosa (Figura 1). El punto más alto de esta sierra alcanza los 589 metros sobre el nivel del mar, y la denominación de «Cerro de la Sociedad Científica Argentina» que en algunos mapas se le da a este cerro se debe a Zeballos (1881), quien visitó este lugar en 1880, inmediatamente después de la conquista del desierto. Sin embargo, este nombre no ha trascendido entre los pobladores de la región, quienes lo conocen como cerro Alto.

La casi totalidad de los afloramientos de la sierra de Lihuel Calel se encuentra en el Parque



Nacional Lihué Calel, creado en 1977. En 1964 la provincia de La Pampa había expropiado los terrenos de la sierra y de su entorno para preservar la flora y fauna del monte espinoso, así como también los restos arqueológicos, entre ellos algunas cuevas con pinturas rupestres. Abarca una superficie de 9.901 hectáreas y los campos pertenecían a la estancia Santa María de propiedad de Luis Gallardo.

La sierra de Lihuel Calel fue un hito insoslayable en los gigantescos arreos de hacienda robados en la provincia de Buenos Aires y que eran transportados hacia la frontera del Neuquén con Chile, donde se los comercializaba. Se llegaba a Lihuel Calel desde las aguadas de Trarú Lauquen (= laguna de El Carancho), conocido en la actualidad como el paraje El Carancho, después de atravesar un trayecto de 85 kilómetros de una llanura semidesértica, sin agua disponible, con excepción de Mehuacá (= orín de vaca) cuya agua no alcanzaba para satisfacer las necesidades de la hacienda. Esta fue la ruta que seguían los arreos y era conocida como el camino o rastrillada de Los Chilenos y que desde Salinas Grandes, casi en el límite de La Pampa con la provincia de Buenos Aires, venía costeando la depresión conocida en la actualidad como Valle de Utracán o Valle Argentino, que contaba con numerosas aguadas y buen pasto.

En la época de la conquista del desierto la sierra de Lihuel Calel era una localidad famosa porque junto con los bañados del río Chadileuvú (Chadi = salado, leuvú = río), situados a 15 kilómetros al sudoeste, constituía un área de descanso y, además, de engorde de la hacienda. Si bien hacia el sur se pierde la rastrillada por la cual se transportaba el ganado, algunos autores estiman que continuaba por el río Curacó (Cura = piedra, có = agua). Este río es la continuación del Chadileuvú, después que éste se pierde en la gigantesca laguna de Urre Lauquén (Urre = amargo, lauquén = laguna). Costeando el río Curacó llegaban hasta el río Colorado, lo vadeaban y cruzaban hasta el río Negro, donde había agua y pastos en abundancia (Lagarde, 2004, páginas 180 y 181).

## ETIMOLOGÍA Y RESEÑA HISTÓRICA

La actual sierra de Lihuel Calel, junto con la sierra Chica, eran denominadas por los habitantes naturales de la región como Lihuel Calel Mahuida y comprendía a las elevaciones que se

encuentran entre el salitral Levalle, al norte, y los bañados y salitrales del río Chadileuvú. Zeballos (1881) tradujo Lihuel Calel como «Sierra de la vida» por el hecho de encontrarse estas elevaciones entre yermos y enceguecedores salitrales. De acuerdo con Vúletin (1972, páginas 117 y 118) Lihuel significa claridad, resplandor y Calel «montón», «bulto» o «cosa informe» por lo cual Lihuel Calel se traduciría como bulto reverberante. Stieben (1957), en cambio, le atribuye el significado de «atalaya» porque desde las alturas de la sierra de Lihuel Calel se observa en su totalidad el horizonte de la inmensa llanura que la rodea.

La sierra de Lihuel Calel encierra un misterio histórico sobre el cual sólo hay algunas suposiciones. Los primeros viajeros que llegaron a este lugar después de la conquista del desierto comentaron la existencia de importantes plantaciones de duraznos, conservándose todavía en la actualidad varios árboles de esta fruta. El médico y geógrafo Martín de Moussy (1860) recoge de los indígenas que poblaban los alrededores de las salinas Grandes - lugar muy conocido porque se extraía la sal que se consumía en Buenos Aires - el rumor de la existencia de estas plantaciones y cita textualmente: «...a una jornada y media de marcha desde la gran Salina, se encuentran restos de un caserío cristiano, con numerosos árboles, en otoño algunas familias pampas lo frecuentan para recoger sus frutos». También Zeballos (1881) analizó el significado de estas plantaciones de duraznos y sospechó que la sierra había sido colonizada desde Chile mucho antes de la conquista del desierto. Mencionó como una posibilidad que en el siglo XVII el explorador Valdivia haya encomendado al capitán Villagra que descendiera por los ríos Diamante y Chadileuvú buscando un paso hacia el Atlántico y se haya establecido en Lihuel Calel al creer que el río moría en la laguna de Urre Lauquén. Esta hipótesis puede ser válida, ya que la laguna de Urre Lauquén y los bajos aladaños, incluso el salitral Levalle, ya eran conocidos a principios del siglo XVIII, como lo atestigua el mapa de «Paraguay, Chile y Estrecho de Magallanes según los padres jesuitas Ovalle, Techo y otros» publicado en 1703 (Furlong Cardiff, 1936).

Otra posibilidad es la que refiere el naturalista Ambrosetti (1893) quien en los últimos años del siglo XIX efectuó un viaje a la denominada entonces «Pampa Central» en el que recorrió varias localidades pampeanas: Atreucó, Salinas Grandes, General Acha, Lihué Calel, La Reforma y Hucal, entre otras. Ambrosetti menciona que

«las minas [de cobre] de La Pampa» ya habían sido trabajadas por los jesuitas y que fueron redescubiertas por Tomás Bovadilla, quien había hallado en Chile un pergamino con su ubicación. Esta hipótesis es verosímil si se tiene en cuenta que cuando fueron visitadas por este naturalista en 1893 ya contaban con un pozo vertical de 35 metros de profundidad, 54 calicatas y 18 bocaminas y es difícil explicar que dichas labores mineras se hayan desarrollado únicamente en los siete años que median entre 1886, cuando es denunciada la mina por el chileno Tomás Bovadilla (Hernández, 1984) y la visita de Ambrosetti. Para esta apreciación hay que tener en cuenta el aislamiento de esta región, la falta de agua dulce y la precariedad de las herramientas con que contaban para desarrollar dichas labores. Además, es muy sugestivo que en el mapa publicado por los jesuitas en 1703, figure un conjunto de lagunas que se pueden identificar con la laguna de Urre Lauquén y el salitral Levalle, demostrando que tenían un profundo conocimiento de la región. Además, los jesuitas tenían amplia experiencia en la minería, evidenciada por las explotaciones realizadas en el noroeste de nuestro país.

La sierra de Lihuel Calel, distante 15 kilómetros de las minas mencionadas, pudo haber sido colonizada durante esta época y la labor minera descrita por Ambrosetti en la sierra de Lihuel Calel, podría corresponder a una derivación de la exploración de las «Minas de La Pampa». Lamentablemente, la localidad donde se encuentran no fue visitada por Zeballos, quien podría haber dado un testimonio al respecto, ya que su visita fue solamente un año después de la conquista del desierto. Los lectores pueden encontrar una detallada descripción de la evolución histórica de «Minas de La Pampa» en el artículo de Sotorres y Lavandaio (2004).

## RESEÑA GEOLÓGICA GENERAL

La historia geológica de Lihuel Calel es mucho más antigua que la historia del hombre y se remonta a los 240 millones de años, cuando los reptiles estaban en plena etapa evolutiva y los mamíferos aún no habían hecho su aparición. Sin embargo, y a pesar de esta antigüedad, desde el punto de vista del tiempo geológico podemos considerar que estos terrenos no son tan antiguos, si se los compara con la edad de las rocas metamórficas que afloran esporádicamente en la región, de aproximadamente 460 millones de

años (Tickyj y otros autores, 1999). Pero para tener una idea cabal de la inmensidad del tiempo geológico, recordemos que las rocas más antiguas de la Tierra tienen edades cercanas a los 4.000 millones de años, por lo cual, la edad de Lihuel Calel puede considerarse, geológicamente, como relativamente joven.

Las rocas de Lihuel Calel son los remanentes de la intensa actividad volcánica que se extendió por casi toda la provincia de La Pampa y gran parte de Mendoza, San Juan y Río Negro. Las rocas volcánicas de esta amplia región fueron agrupadas en una extensa unidad estratigráfica conocida como Grupo Choiyoi. En esa época el paisaje debió haber sido modelado por la actividad de numerosos volcanes que alcanzaron diversas alturas. De acuerdo con las rocas que han perdurado hasta nuestros días, no es difícil imaginar que a través de sus bocas emergieron densas columnas de ceniza de varios kilómetros de altitud y que por sus laderas descendieron numerosos flujos piroclásticos constituidos por ceniza volcánica, rocas finamente trituradas, bloques y gas a elevadas temperaturas. Estos flujos anegaron el paisaje deprimido que se hallaba entre las elevaciones de los conos volcánicos, cubriendo decenas a centenares de kilómetros cuadrados.

Es posible que el paisaje volcánico haya variado a través del tiempo debido a los cambios en la intensidad de las erupciones volcánicas y de las fuerzas tectónicas que actuaron conjuntamente con las mismas. Por los estudios realizados en la extensa región mencionada, se conoce que la actividad volcánica tuvo una duración de aproximadamente 30 millones de años, abarcando desde el Pérmico Temprano (hace aproximadamente 270 millones de años) hasta el Triásico Temprano (cerca de 240 millones de años). Como la edad de las rocas de Lihuel Calel ha sido datada en 240 millones de años (Linares y otros, 1980; Rapela y otros, 1996) se infiere que la actividad volcánica de Lihuel Calel corresponde a una de las erupciones finales de este largo ciclo volcánico.

Aun no se conoce que relación tuvo con el clima de esa época la enorme cantidad de cenizas arrojadas a la atmósfera durante las gigantescas erupciones. Es que la actividad volcánica tiene una influencia notable sobre el clima, porque las cenizas esparcidas en la alta atmósfera disminuyen la penetración de los rayos solares y provocan el descenso de la temperatura ambiente. Este proceso de dispersión de cenizas y su incidencia en la variación de la temperatura de nuestro planeta sue-

le durar varios años y afecta profundamente el crecimiento de las plantas, desequilibrando la cadena alimenticia de los seres vivos.

## LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS REALIZADOS EN LIHUEL CALEL

Las rocas de la sierra de Lihuel Calel fueron, por similitud, descritas como granitos por Zeballos en el año 1881 y por Wichmann en 1928, debido a su aspecto masivo, con abundantes bloques de varios metros de diámetro, y sus tonalidades rosadas. En los granitos, la acción de los agentes atmosféricos produce comúnmente el descascaramiento superficial de los bloques, de los que se desprenden capas más o menos delgadas, del mismo modo que las capas de una cebolla (*exfoliación catafilar*), fenómeno que también es común en Lihuel Calel.

Zeballos incluyó en su relato de viaje el dibujo de una piedra movediza de gran volumen, similar a la que existía en esa época en Tandil. Como es sabido, las piedras movedizas se forman en los ambientes graníticos por la exfoliación catafilar de grandes bloques. En rocas volcánicas, la formación de piedras movedizas es una excepción y cuando se forman se deben a condiciones muy particulares, como las que ocurrieron en Lihuel Calel, las cuales se describirán más adelante. En la fotografía 2 se ilustra un bloque de varios metros cúbicos de riolita cuya forma es muy parecida a la del dibujo de Zeballos. Se encuentra a pocos metros hacia el oeste del cerro Alto y en la actualidad no es una

piedra movediza porque los dos pedúnculos que la sostenían se destruyeron. Asimismo, en los faldeos del cerro Alto se encuentran numerosos bloques desmoronados, que también pudieron corresponder a distintas piedras movedizas.

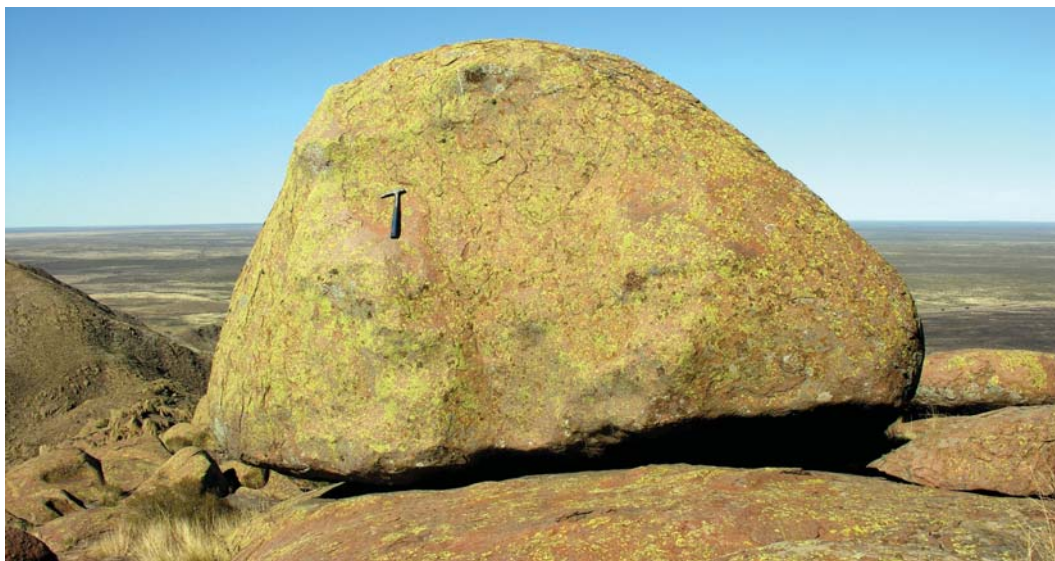
Los primeros en reconocer el carácter volcánico de la sierra de Lihuel Calel fueron Vilela y Riggi (1956), quienes describieron a las rocas como riolitas pero no especificaron la naturaleza de los cuerpos que forman. Con posterioridad, Llambías (1973) reconoció por primera vez el carácter piroclástico de estas rocas y las cla-

### DEL MAGMA A LAS IGNIMBRITAS

*En algunos lugares del interior de la corteza terrestre las rocas pueden estar fundidas y forman lo que se llaman reservorios o cámaras magmáticas.*

*Durante una erupción volcánica el material fundido o magma puede salir a la superficie en forma de lava. Pero si el contenido de gases en el magma es alto, el grado de explosividad de la erupción es tal que puede llegar a fragmentarlo y también a las rocas que están en contacto con él. Encima del cráter se forma una columna eruptiva que puede alcanzar alturas de hasta 30 kilómetros, colocando muchas veces en órbita el material más fino. Esta columna está constituida por gas caliente, cristales rotos, trozos de rocas provenientes de las paredes del conducto, fragmentos de lava -transformada en vidrio y que forman las bombas volcánicas- pómez y vidrio volcánico finamente triturado. Cuando una columna eruptiva ya no se puede sostener colapsa produciendo los flujos piroclásticos. Por su alto contenido en gases y elevada temperatura, estos flujos poseen baja viscosidad y gran movilidad, y al derramarse suelen formar extensas mesetas o plateau.*

*Las ignimbritas son rocas que se forman cuando los flujos piroclásticos se detienen y se enfrían. Las más comunes, ricas en sílice (óxido de silicio), son las ignimbritas riolíticas.*



Fotografía 2. Bloque de riolita de 2,40 metros de altura que pudo haber correspondido a la piedra movediza dibujada por Zeballos (1881). El martillo, que mide 35 centímetros, sirve de escala. En la actualidad no es movediza porque el pedúnculo que la sostenía se destruyó. Este bloque se encuentra a unos 30 metros al oeste del cerro Alto, el cual está coronado por una torre del Instituto Geográfico Militar.

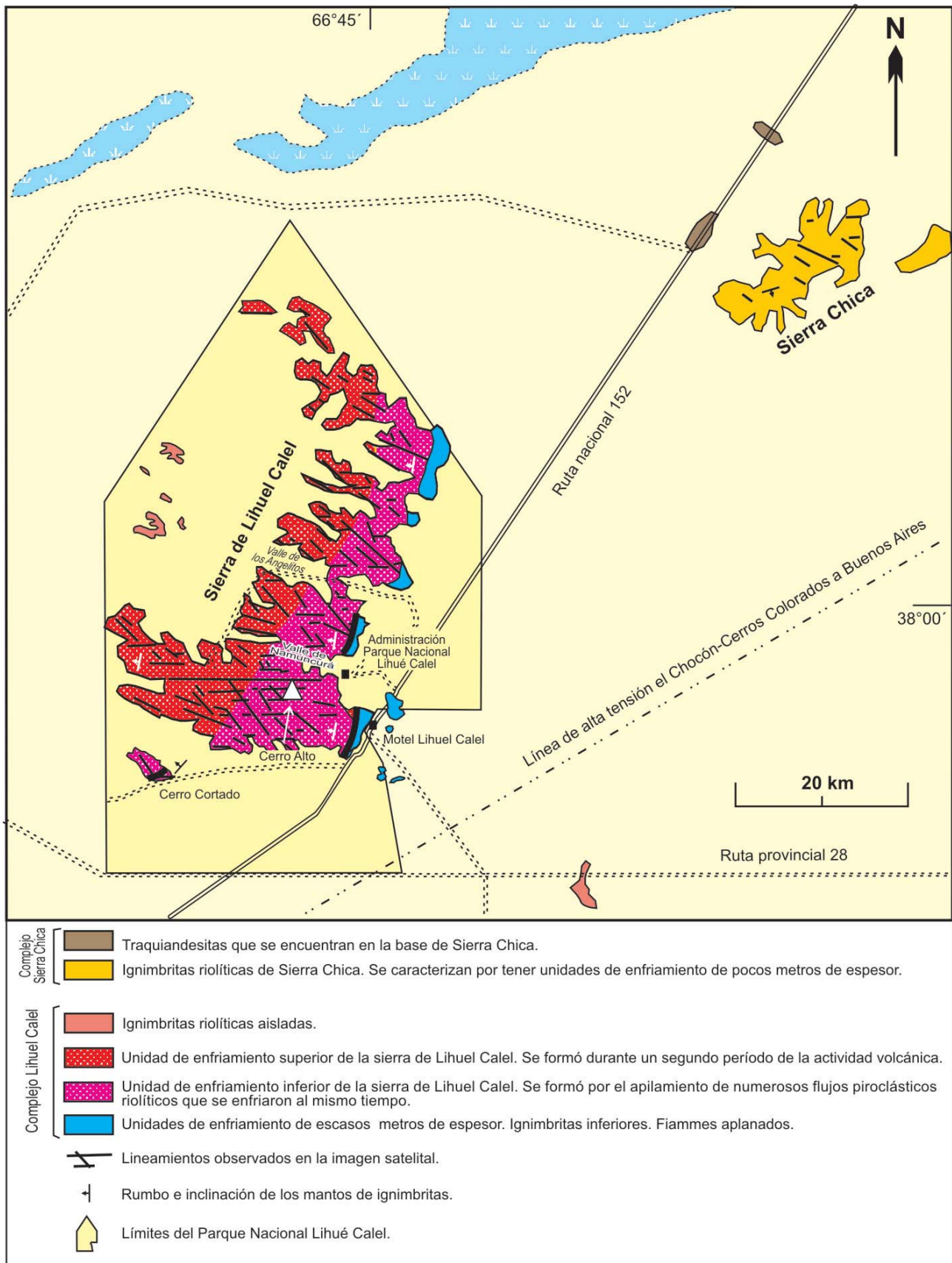
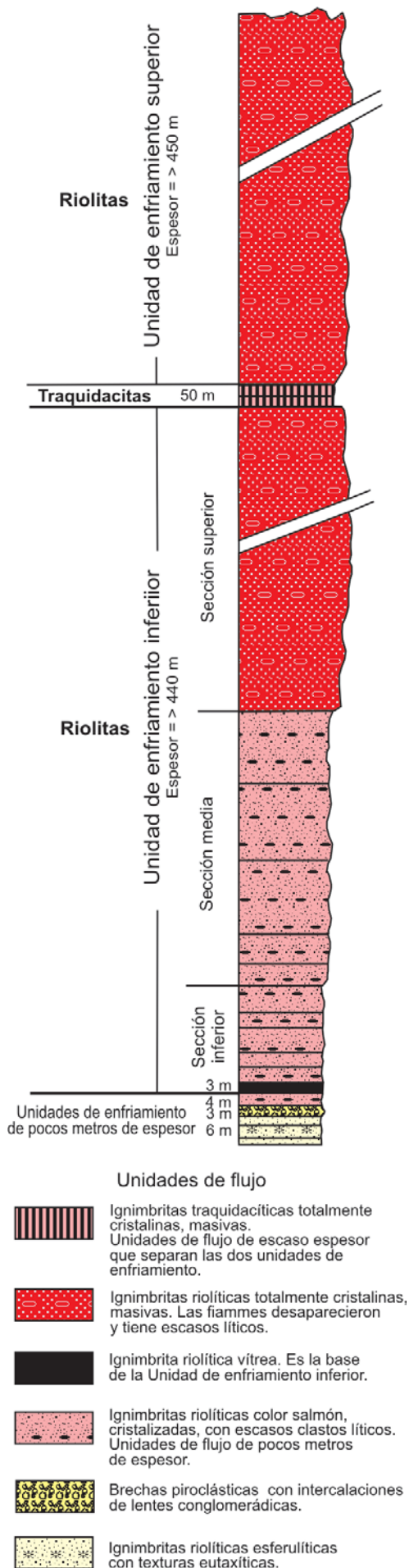


Figura 2. Mapa geológico de la sierra de Lihuel Calel y regiones adyacentes, elaborado a partir de observaciones en el terreno y del estudio de imágenes satelitales.

sificó como ignimbritas riolíticas, que se apilan en una sucesión de mantos groseramente estratificados, con un espesor total de 1.840

metros. Llambías y Leveratto (1975) incluyeron a Lihuel Calel en el extenso *plateau* riolítico ignimbítico permo-triásico de la provincia de





La Pampa, formado a partir de las erupciones explosivas de numerosos volcanes con composiciones silíceas.

## DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

La sierra de Lihuel Calel está constituida por un conjunto de mantos o bancos de ignimbritas riolíticas de variado espesor (Figuras 2 y 3). La superposición de los bancos es difícil de observar (Fotografías 3 y 4) debido a su monotonía litológica y a la ausencia de planos contrastantes que los separen. El rumbo de los bancos en el sector central de la sierra es aproximadamente norte-sur, con inclinaciones de 20 a 22° hacia el Oeste. En el cerro Cortado, situado al sur de la sierra principal, el rumbo de los bancos es Norte 30° Este, con inclinaciones de 20° al Noroeste (Fotografía 5).

Debido a su inclinación hacia el Oeste, los bancos más antiguos se encuentran a la vera de la ruta nacional 152, en las adyacencias del antiguo motel del Automóvil Club Argentino. Se trata de un conjunto de bancos de escaso espesor constituidos por ignimbritas riolíticas. En la mitad del faldeo se encuentra un potente banco de vidrio volcánico gris oscuro a negro, que incluye escasa proporción de cristales. Este banco vítreo es también una ignimbrita (Fotografías 6 y 7) y constituye la base de un conjunto de bancos ignimbriticos que se acumularon rápidamente en forma sucesiva, sin llegar a enfriarse individualmente, por lo cual todos los bancos se enfriaron al mismo tiempo. En volcanología se describe al conjunto de bancos que se enfrían al mismo tiempo como una *unidad de enfriamiento* y a cada uno de los bancos que la integran se lo denomina *unidad de flujo*. Entre las varias unidades de enfriamiento de Lihuel Calel se reconocen dos con espesores de más de 400 metros cada una y ambas representan más del 90% de los afloramientos de Lihuel Calel. Por la gran magnitud de estas dos unidades, se las denomina Unidad de enfriamiento inferior y Unidad de enfriamiento superior, de acuerdo con su posición relativa. Debido al gran espesor de cada una de estas dos unidades de enfriamiento, el descenso de temperatura fue lento, posiblemente durante varias decenas a centenas de años, por ello, los rasgos internos de las ignimbritas,

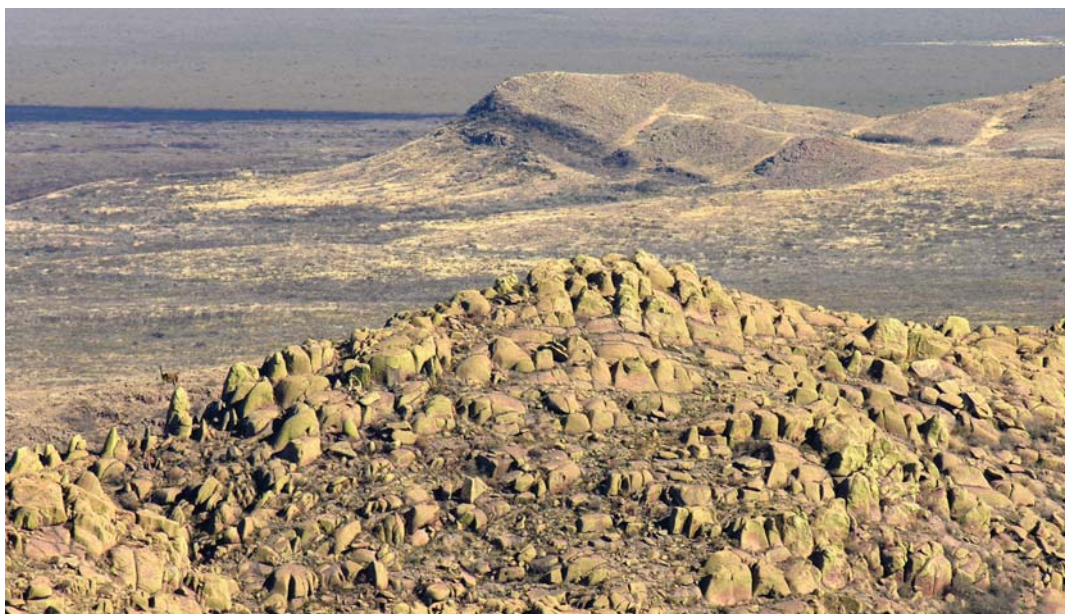
Figura 3. Perfil columnar de la sierra de Lihuel Calel. Este perfil es una síntesis de las sucesiones volcánicas que se encuentran en esta localidad. El espesor total de las ignimbritas en Lihuel Calel es mayor a 953 metros.



Fotografía 3. Vista de sur a norte del extremo oriental de la sierra de Lihuel Calel. Se observan con dificultad los bancos de ignimbritas inclinando unos 20° al Oeste (hacia la izquierda de la fotografía).



Fotografía 4. Vista de norte a sur del extremo oriental de la sierra de Lihuel Calel. Al igual que en la fotografía 3, se observan con dificultad los bancos de ignimbritas inclinando unos 20° al Oeste, algunos de ellos han sido señalados con líneas negras. El límite superior de la Unidad de enfriamiento inferior no se observa en la fotografía. Con el número 1 se han señalado las unidades de enfriamiento de poco espesor por debajo de la Unidad de enfriamiento inferior.



Fotografía 5. Fotografía tomada desde el cerro Alto hacia el Sur. El cerro aislado que se observa en segundo plano es el cerro Cortado y en él se aprecia claramente la estratificación de las ignimbritas hacia el Oeste. En primer plano se observan bloques de ignimbrita riolítica en el centro de la Unidad de enfriamiento inferior.

como los fragmentos de vidrio (= vitroclastos) y de pómez, desaparecieron por la masiva cristalización que tuvo lugar durante el lento proceso de enfriamiento. Por esta razón, solamente se conservan los fragmentos de minerales y de rocas (cristaloclastos y litoclastos respectivamente) y por lo tanto las rocas no tienen la apariencia de ignimbritas. La pasta que rodea a dichos fragmentos es un agregado microgranular de cuarzo y feldespato en el cual el tamaño de los granos es de 0,1 milímetros, apenas visible con una buena lupa.

Además de las dos potentes unidades de enfriamiento mencionadas, en la sierra de Lihuel Calel se han reconocido otras unidades de enfriamiento de pocos metros de espesor y que conservan todos los rasgos de las ignimbritas. Las más características se encuentran en la base del perfil, debajo de la Unidad de enfriamiento inferior. A continuación se describirá el perfil típico de la sierra.

### Unidades de enfriamiento de escasos metros de espesor en la base del perfil

Se encuentran en la base del perfil (Figuras 2 y 3) y sus mejores afloramientos están al lado de la ruta nacional 152. Esta sección consiste en bancos de ignimbritas de 2 a 3 metros de espesor que se enfriaron previamente a la deposición del banco superior siguiente. Por esto, las unidades de flujo y las unidades de enfriamiento tienen los mismos espesores, generalmente de escasos metros, lo cual permitió que el enfriamiento fuera rápido y que las texturas originales de las rocas se preservaran porque no hubo procesos de cristalización tardía.

Estas ignimbritas están intensamente soldadas porque el propio peso de los mantos produjo su compactación. En este proceso de soldamiento los vitroclastos de pómez (*ver recuadro*) se han aplastado y perdieron su porosidad, ya que por su alta temperatura el vidrio se comporta como un material plástico. Así es como se forman las *fiammes*, delgadas láminas de vidrio compacto que se distinguen del resto de la roca por su coloración más oscura (Fotografía 8). Estas ignimbritas también incluyen fragmentos de rocas provenientes de las paredes del volcán, arrancados por el carácter explosivo de la erupción.

### Unidad de enfriamiento inferior

El límite inferior de esta unidad de enfriamiento está dado por el banco de vidrio que se



Fotografía 6. Banco de ignimbrita vítrea que se encuentra en la base de la Unidad de enfriamiento inferior. Faldeo situado adyacente a la ruta 152, poco al sur del motel del Automóvil Club Argentino.

encuentra en su base y se lo observa con nitidez en los faldeos ubicados al borde de la ruta nacional 152. Este banco vítreo (Figura 3; Fotografías 6 y 7) es una ignimbrita riolítica que se reconoce por su color negro y brillo vítreo. A pesar de la lentitud del enfriamiento de esta potente unidad de enfriamiento, el banco de vidrio, al estar en contacto con las rocas frías del suelo, se «congeló» -disminuyó su temperatura rápidamente- lo cual permitió que se preservara sin cambios. Además, todos los gases que contenía -que favorecen la desvitrificación- fueron expelidos por la compactación ejercida por la rápida acumulación de las sucesivas unidades de flujo.

Por encima del banco de vidrio se suceden varias unidades de flujo cuyo enfriamiento fue



Fotografía 7. Detalle del banco mostrado en la fotografía 6. Tanto las *fiammes* como la matriz que las contiene son vítreas.



**Fotografía 8.** Detalle de una de las ignimbritas que se encuentran debajo de la Unidad de enfriamiento inferior. Las lentes oscuras corresponden a las *fiammes*, que originalmente fueron fragmentos de pómez que perdieron su porosidad por aplastamiento. En la actualidad están formadas por vidrio compacto, sin alteración. La matriz, en cambio, está cristalizada.

más lento que el del banco de vidrio, pero bastante más rápido que las unidades de flujo que yacen por encima. Por esta razón, y a pesar de la total desvitrificación de las rocas, todavía se pueden observar las *fiammes* y los contactos entre las unidades de flujo. Estas unidades de flujo, junto con el banco de vidrio de la base, constituyen la sección inferior (Fotografía 4).

Las secciones media y superior de la unidad de enfriamiento inferior son las que se han enfriado con mayor lentitud. Las rocas son masivas y no se han preservado ninguna de las texturas primarias que caracterizan a las ignimbritas. Inclusive se han borrado los contactos entre las distintas unidades de flujo, los cuales solamente se aprecian en forma grosera desde lejos (Fotografía 4). Es en estas secciones donde la lentitud del enfriamiento alcanzó su mayor grado y por la resistencia a la erosión de sus rocas constituyen el cuerpo principal de la sierra de Lihuel Calel, incluyendo al cerro Alto, que es el punto más elevado de toda la región. Las rocas forman bloques de gran tamaño, en particular en la sección superior, alcanzando hasta 3 y 4 metros de lado, sin fracturas internas y se separan en bloques de varios metros cúbicos (Fotografía 2). De acuerdo con mi experiencia, el gran tamaño de los bloques de la sección superior es único en toda la provincia de La Pampa y ésta es la característica más importante que distingue a las rocas de Lihuel Calel de otras rocas volcánicas. Bloques con estos tamaños solamente se dan en los macizos graníticos, cuyas formas de erosión

### VIDRIO VOLCÁNICO

*El enfriamiento lento de un magma en el interior de la corteza permite que cristalicen los minerales que forman las rocas. En cambio, durante una erupción volcánica, las lavas pueden enfriarse tan rápidamente que el material no tiene tiempo de cristalizar y se forma el vidrio volcánico, llamado así porque es similar al vidrio artificial.*

*En las ignimbritas los fragmentos de vidrio se denominan vitroclastos. Algunos vitroclastos están cargados de vesículas o poros producidos allí donde el magma estaba en ebullición y los gases formaban burbujas. Estos son los vitroclastos pumíceos o pómez (magma inflado o espuma). Durante el enfriamiento, los pómez, que son muy esponjosos y están constituidos por delgadas películas de vidrio, se compactan perdiendo las burbujas y toman formas achatadas que se denominan fiammes. Las fiammes, junto con los vitroclastos, son los elementos que permiten la identificación de las ignimbritas.*

y meteorización han sido estudiadas en detalle por diversos autores (Vidal Romaní y Twidale, 1998).

### Unidades de enfriamiento de escasos metros de espesor entre las unidades de enfriamiento inferior y superior

Entre las unidades de enfriamiento inferior y superior se depositaron mantos de ignimbritas de escasos metros de espesor que se enfriaron rápidamente en forma individual, coincidiendo las unidades de flujo con las unidades de enfriamiento. Estas ignimbritas están totalmente desvitrificadas y conservan restos de las *fiammes* y su característica más importante es que tienen una composición más rica en álcalis (óxidos de potasio y sodio) y más pobre en sílice ( $\text{SiO}_2$ ) que las riolitas de las unidades de enfriamiento inferior y superior, por lo cual se clasifican como traquidacitas (Figura 4). Esta diferencia en la composición se puede explicar por los cambios que se produjeron en el interior de la cámara magmática durante los diversos episodios eruptivos. Después de las gigantescas erupciones que dieron lugar a la Unidad de enfriamiento inferior, se produjo el agotamiento del agua en la cúpula de la cámara magmática, proceso que causó una notable disminución en el volumen de las erupciones debido a que el agua es uno de los componentes que más incidencia tiene en las erupciones piroclásticas. Durante el breve lapso que media entre las unidades de enfriamiento inferior y superior y debi-

do a la disminución de la actividad eruptiva, las corrientes convectivas en el interior de la cámara magmática pudieron reponer el agua en la cúpula (Figura 5), y al llegar a una concentración crítica se desencadenaron las voluminosas erupciones de la Unidad de enfriamiento superior (*ver recuadro Del magma a las ignimbritas*). Este proceso cíclico es común en la construcción de los grandes volcanes relacionados con una cámara magmática estacionada a pocos kilómetros debajo de la superficie. Con frecuencia, una cámara magmática de tamaño mediano (más de 10 kilómetros de diámetro) tarda cerca de un millón de años en cristalizar completamente, de modo que durante este lapso se producen numerosas erupciones que construyen en forma progresiva el edificio volcánico.

### Unidad de enfriamiento superior

Esta unidad tiene las mismas características litológicas que la Unidad de enfriamiento inferior, y si bien su espesor completo no se conoce porque la parte superior ha desaparecido por erosión, las observaciones de campo indican que es mayor de 450 metros. La Unidad de enfriamiento superior no presenta en la base un banco de vidrio como el de la Unidad de enfriamiento inferior, posiblemente debido a que las últimas unidades de flujo aún no se habían enfriado totalmente.

La Unidad de enfriamiento superior sucede a un breve período de calma volcánica -como se ha explicado en los párrafos anteriores- durante el cual se alcanzaron valores de energía en la cámara magmática similares a los que prevalecieron durante las erupciones de la Unidad de enfriamiento inferior. Esto se debe al aumento del contenido de agua en la cúpula de la cámara magmática que incrementó la presión interna y abrió las fracturas existentes permitiendo la violenta salida del magma.

Las pinturas rupestres conservadas en Lihuel Calel se encuentran en la Unidad de enfriamiento superior, donde aquí también la morfología de las ignimbritas es muy similar a la de los paisajes graníticos, abundando las formas de erosión denominadas *tafoni* (singular = *tafone*). Los *tafoni* se forman por la erosión de los bloques más grandes de granito formando concavidades poco profundas que pueden ser utilizadas para protegerse de las inclemencias del tiempo. No son cavernas en sentido estricto porque el hueco nunca excede el tamaño del bloque donde se encuentra.

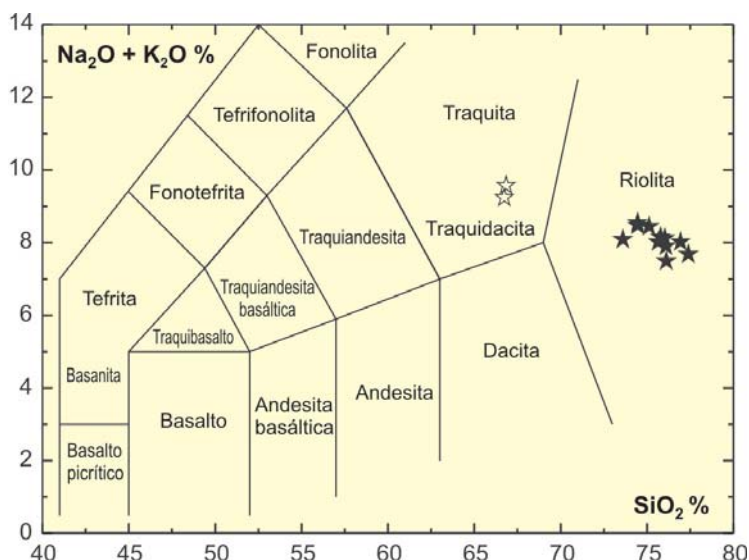
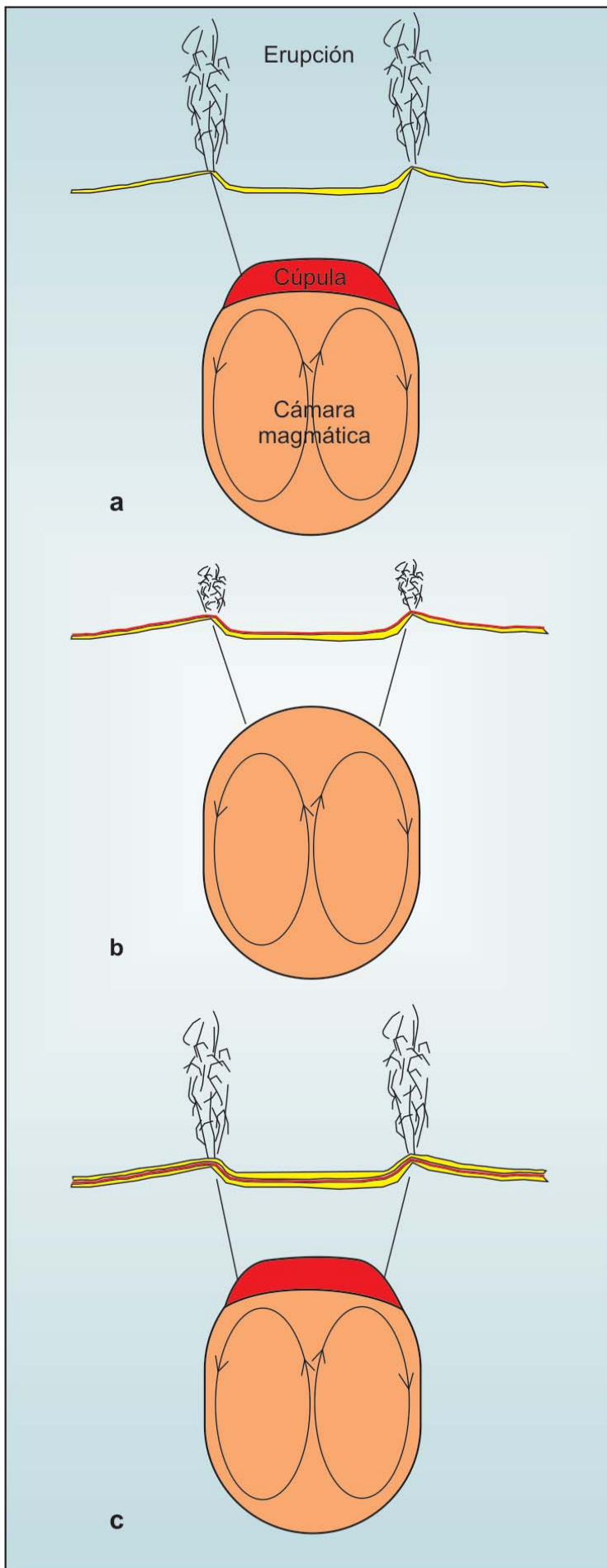


Figura 4. Clasificación de las rocas volcánicas de la sierra de Lihuel Calel en el diagrama álcalis versus sílice aceptado por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas. La mayoría de las muestras analizadas se encuentran en el campo de las riolitas. Las dos muestras que están en el campo de las traquidacitas corresponden a las ignimbritas intercaladas entre las Unidades de enfriamiento inferior y superior.

### EL PROBLEMA DEL GRAN ESPESOR DE LAS IGNIMBRITAS

Uno de los problemas geológicos de la sierra de Lihuel Calel que merece ser discutido con atención, es el gran espesor de las dos unidades de enfriamiento descritas. Para posibilitar el apilamiento de más de 900 metros de flujos piroclásticos se requiere una depresión con una profundidad similar. Para explicar la existencia de dicha depresión debemos tener en cuenta que el relieve de la región cuando entró el volcán en erupción era moderadamente suave, sin valles profundos ni laderas escarpadas. Las evidencias recogidas indican que el relieve estaba formado por suaves lomadas de escasa altura y amplios valles, con un aspecto similar al actual paisaje de las sierras de Tandil. Dichas evidencias surgen de la distribución regional de las rocas metamórficas e ígneas que conforman el sustrato (basamento) donde se emplazó el volcán, las cuales se encuentran en la superficie como pequeños afloramientos y también a profundidades que no superan los 100 metros, como se constata en los pozos de los molinos o en perforaciones realizadas para buscar agua.

La acumulación de grandes espesores de rocas volcánicas en un relieve chato es prácticamente imposible, porque los flujos piroclásticos se desparraman lateralmente con facilidad debido a su baja viscosidad. Sin embargo, la construcción de un relieve a partir de la actividad volcánica puede generar las depresiones nece-



sarías para permitir una espesa acumulación. Es el caso de la formación de calderas, las que se producen cuando el magma de una cámara magmática que se encuentra entre 1 y 4 kilómetros de profundidad se extruye dejando un hueco importante. La parte superior del volcán se hunde por la ausencia de sustentación, formando la depresión de la caldera. Los diámetros de las calderas son variables, siendo frecuentes los valores comprendidos entre 12 y 25 kilómetros. En numerosos casos el hundimiento de la caldera se produce durante el período de mayor intensidad de una erupción de gran volumen, durante el cual se expulsan decenas a cientos de kilómetros cúbicos de material volcánico. Por este motivo, la depresión generada por el hundimiento de la caldera permite la acumulación de grandes espesores en el interior de la misma. Se forman así las ignimbritas de intracaldera, cuyo espesor es varias veces mayor que el de las ignimbritas de extracaldera, que fluyen sin contención y se distribuyen formando una especie de meseta. Además, el rápido apilamiento de los flujos piroclásticos en el interior de la caldera favorece el enfriamiento de todas ellas en forma simultánea, generándose así las espesas unidades de enfriamiento.

### ¿CÓMO SE FORMA UNA CALDERA?

En la figura 6 se explica paso a paso la formación de una caldera y cómo es rellenada por los flujos piroclásticos que salen durante este proceso y que al consolidarse forman las ignimbritas de intracaldera. En a se muestra una cámara magmática emplazada a unos 15 kilómetros de profundidad, que comienza a ascender lentamente. El ascenso es posible porque las rocas del techo comienzan a fracturarse por la presión que ejerce la cámara magmática sobre sus paredes. Las fracturas van aislando bloques que al ser envueltos por el magma se desprenden y se hunden en la cámara. Algunas de estas fracturas pueden alcanzar la superficie, formándose en este caso un volcán. En b la cá-

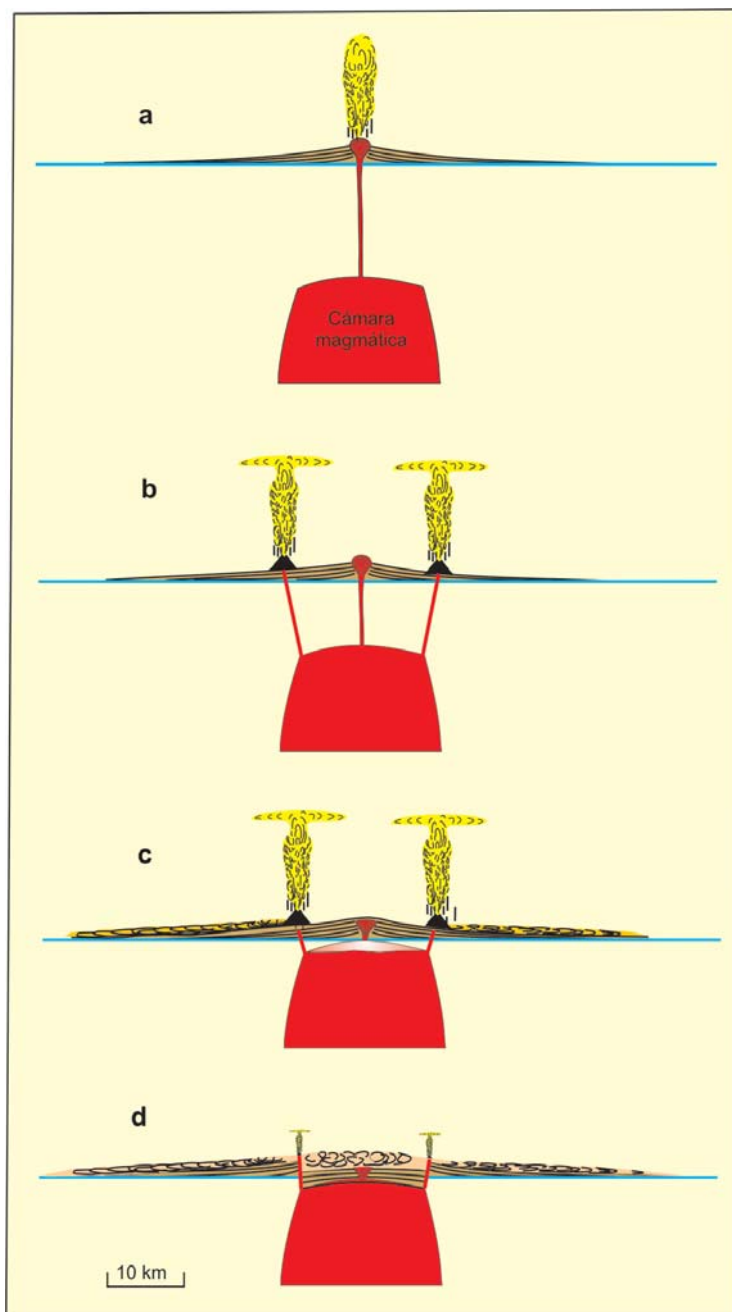
**Figura 5.** Esquema que muestra la evolución de la cámara magmática entre las Unidades de enfriamiento inferior y superior. a) En la cúpula de la cámara magmática se ha acumulado una gran cantidad de agua que favorece erupciones piroclásticas de gran volumen; b) agotada el agua, las erupciones disminuyen su frecuencia y volumen, formando las delgadas unidades de enfriamiento entre las Unidades de enfriamiento inferior y superior. Mientras tanto, en el interior de la cámara magmática las corrientes convectivas reponen el agua; c) cuando ésta llega a un valor crítico, se desencadenan nuevamente las erupciones de gran volumen formando la Unidad de enfriamiento superior.

mara magmática continúa con su ascenso y a medida que asciende aumenta el número de fracturas que llegan hasta la superficie, permitiendo la salida del magma al exterior con mayor facilidad. Por este motivo la actividad volcánica aumenta progresivamente. En c la cámara se encuentra entre 1 y 2 kilómetros de profundidad, por lo cual la actividad magmática ha aumentado a su máxima expresión. De esta manera, se extruyen decenas a centenas de kilómetros cúbicos de magma, conjuntamente con los cristales de minerales que yacían en el magma -comúnmente rotos por la explosión- y con fragmentos de las rocas de las paredes del volcán, produciendo un vacío transitorio en el interior de la cámara magmática que no es rellenado por el magma remanente debido a la elevada velocidad de la erupción. Por ello, el techo de la cámara magmática, al no encontrar una sustentación adecuada, se hunde formando la caldera. En d se muestra cómo las erupciones que suceden a la formación de la caldera rellenan a la misma, así como también se desparrraman por las laderas del volcán y anegan el paisaje circundante. Al ser la caldera una depresión, que en casos extremos puede alcanzar hasta 3.000 metros de profundidad, el espesor de los depósitos volcánicos acumulados en su interior es considerablemente mayor que el de los que se encuentran afuera del volcán.

Este modelo de formación de caldera permite explicar los grandes espesores de las ignimbritas de la sierra de Lihuel Calel y el lento enfriamiento de las mismas.

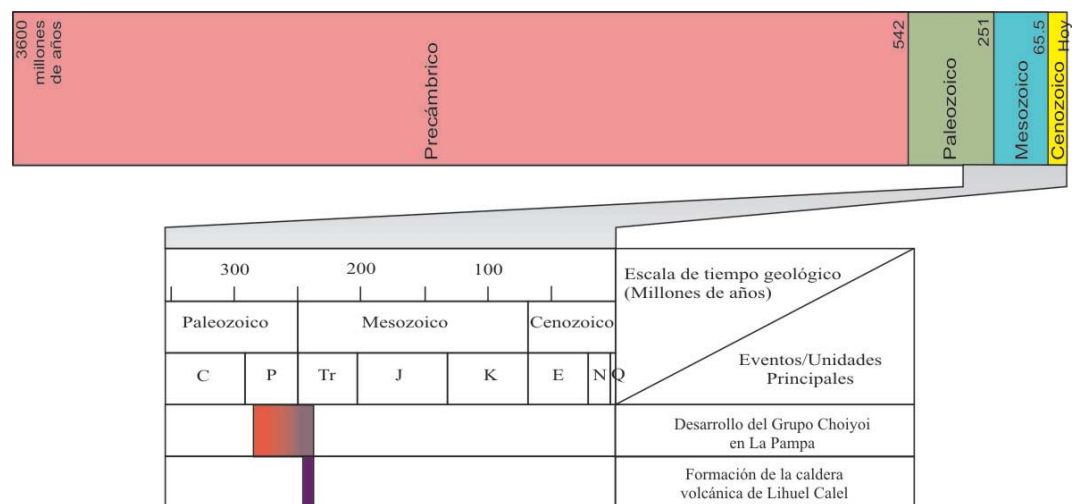
## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Augusto Calmels y Silvio Casadío, de la Universidad Nacional de La Pampa, por sus comentarios y cooperación en la bibliografía acerca de la historia de Lihuel Calel. Un reconocimiento especial merecen Mariela Etcheverría y Hebe Lema del SEGEMAR por la exhaustiva revisión del manuscrito y por sus atinados comentarios y sugerencias que permitieron enriquecer y clarificar el texto y las figuras. La colaboración del personal del Parque Nacional Lihuel Calel ha sido muy valiosa durante los trabajos de campo. Las imágenes satelitales empleadas para la cartografía geológica han sido proporcionadas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales, en el marco del proyecto de Investigaciones Geológicas del centro-oeste de Argentina.



**Figura 6.** Esquema que explica la formación de una caldera volcánica y el relleno de la misma por las ignimbritas denominadas de intracaldera, cuyo espesor es mayor que el de las que se encuentran fuera de la caldera. Es aplicable a Lihuel Calel. La escala es aproximada. En a una cámara magmática se instala en la corteza a una profundidad de aproximadamente 15 kilómetros. Parte del magma llega a la superficie, pero la actividad volcánica todavía es escasa debido a la profundidad de la cámara magmática. En b la cámara magmática ha ascendido hasta cerca de 10 kilómetros de profundidad, formando fracturas circulares por las cuales llega el magma a la superficie. La actividad magmática aumenta respecto al caso anterior. En c la cámara magmática está muy cerca de la superficie, alrededor de 1 a 2 kilómetros de profundidad, y la actividad volcánica es muy intensa. Debido a la gigantesca magnitud de las erupciones se produce el vaciamiento de la parte superior de la cámara. En d el techo, al no tener sustentación, se desploma formando una depresión con forma de palangana que constituye la caldera. Al hundirse el techo, en la cámara magmática se produce un aumento en la presión interna, por lo cual la actividad volcánica continúa y parte de los flujos piroclásticos se acumulan en la depresión de la caldera. La actividad volcánica finaliza cuando la presión interna de la cámara magmática no es suficiente para empujar el magma hacia la superficie.

## UBICÁNDOSE EN EL TIEMPO



C: Carbonífero, P: Pérmico, Tr: Triásico, J: Jurásico, K: Cretácico, E: Paleógeno, N: Neógeno y Q: Cuaternario

## TRABAJOS CITADOS

- Ambrosetti, J. B., 1893. Viaje a La Pampa Central. Boletín del Instituto Geográfico Argentino, Tomo XIV, 1-127.
- Furlong Cardiff, P. G., 1936. Cartografía Jesuita del Río de La Plata. Mapa VI. Facultad de Filosofía y Letras, Publicaciones del Instituto de Investigaciones Históricas Número LXXI, Tomo II, Ilustraciones.
- Hernández, R., 1984. Las minas de cobre de Lihuel Calel. I., Pampa Geológica 1-2: 1-4.
- Lagarde, J. L. R., 2004. Malones y comercio de ganado con Chile. Siglo XIX. El Elefante Blanco, 1-279.
- Linares, E., Llambías, E. J. y Latorre, C., 1980. Geología de la provincia de La Pampa, República Argentina y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas. Asociación Geológica Argentina, Revista 34 (1): 87-146.
- Llambías, E. J., 1973. Las ignimbritas de la sierra de Lihuel Calel, provincia de La Pampa. 5° Congreso Geológico Argentino. Actas 4: 55-67.
- Llambías, E. J. y Leveratto, M. A., 1975. El plateau riolítico de la provincia de La Pampa, República Argentina. 2° Congreso Iberoamericano de Geología Económica. Actas 1: 99-114.
- Martin de Moussy, V., 1860. Description Géographique et Estatistique de la Confédération Argentine, Tome I. Librairie de Fermin Didot Frères, Fils et C<sup>ie</sup>. Edición 2005. Edición a cargo de Beatriz Bosch. Academia Nacional de la Historia, 554 páginas, impreso por Editorial Dunken.
- Rapela, C. W., Pankhurst, R. J., Llambías, E. J., Labudía, C. y Artabe, A., 1996. «Gondwana» magmatism of Patagonia: inner Cordillera calc-alkaline batholiths and bimodal volcanic provinces. Third International Symposium on Andean Geodynamics: 791-794.
- Sotorres, E. y Lavandaio, E., 2004. La Pampa. En: Lavandaio, E. y Catalano, E. (Eds.): Historia de la Minería Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 40 (2): 333-337.
- Stieben, E., 1957. La Pampa. Su historia, su geografía, su realidad y su porvenir. Jacobo Peuser.
- Tickyj, H., Llambías, E. J. y Sato, A. M., 1999. El basamento cristalino de la región sur-oriental de la provincia de La Pampa: extensión austral del orógeno famatiniano de Sierras Pampeanas. 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 160-163.
- Vidal Romani, J. R. y Twidale, C. R., 1998. Formas y paisajes graníticos. Universidade da Coruña, Servicio de Publicacións, Monografías 55, p. 411.
- Vilela, C. R. y Riggi, J.C., 1956. Rasgos geológicos y petrográficos de la sierra de Lihuel Calel. Asociación Geológica Argentina, Revista 11(3): 217-272.
- Vúletin, A., 1972. La Pampa, grafías y etimologías toponímicas aborígenes. Editorial Universitaria de Buenos Aires, 1-223.
- Wichmann, R., 1928. Contribución a la geología de los departamentos Chical-Có y Puelén de la parte occidental de La Pampa central. Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Publicación 40: 1-33.
- Zeballos, E. S., 1881. Viaje al país de los araucanos. Imprenta de Jacobo Peuser, Editor. Reproducido por Ediciones Solar, S.A.I.C. y F., 1994, 1-489.