



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

FCEN
FACULTAD DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES
Naturaleza - Ciencia - Humanismo



Geología de la Ruta 40: Un aporte de la FCEN para Malargüe

Cruce del Río Malargüe

Elías Millán

Universidad Nacional de Cuyo

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Licenciatura en Geología

Malargüe

2021

Contenido

Resumen.....	1
Objetivos.....	1
Hipótesis del trabajo	1
Metodología y Plan de Trabajo.....	3
Malargüe	4
Detalles del río Malargüe	4
Geología sobre el puente del río Malargüe	7
Conclusión	14
Agradecimientos	15
Referencias	16
Anexos	17
Glosario.....	19
English version.....	1
Abstract.....	1
Objectives.....	1
Hypothesis	2
Methodology	3
Malargüe	4
Details of Malargüe River	4
Geology on Malargüe River's Bridge	7
Conclusion	14
Acknowledgments	15
References	16
Appendix.....	17
Glossary.....	18

Resumen

El presente trabajo informa y explica la geología expuesta al margen del río Malargüe tomando el puente del río sobre la RN40 como punto de vista.

Desde este lugar afloran formaciones antiguas, levantadas o expuestas por la **deformación** de la corteza continental producto de la orogenia andina, hasta las más nuevas. Los movimientos mencionados forman la Faja Plegada y Corrida de Malargüe, donde uno de los rasgos más interesantes lo compone el **anticlinal** de Malargüe. Las principales unidades que conforman el sitio de interés son: Grupo Choyoi, Grupo Tronquimalal, Grupo Cuyo, Grupo Lotena, Grupo Mendoza, Grupo Rayoso, Grupo Neuquén y Grupo Malargüe.

El cruce del río Malargüe se encuentra aproximadamente a 7,8Km de la ciudad de Malargüe a una altura de 1470 m.s.n.m. a 35°32' S y 69°35' O.

Objetivos

En conjunto con la dirección de Promoción y Políticas Turísticas de Malargüe la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN) perteneciente a la UNCuyo da lugar al Proyecto de Extensión Jorge Alberto Sábato 2020 denominado “la geología de la ruta 40, un aporte de la FCEyN para Malargüe” con los siguientes objetivos:

- Referenciar con contenido geológico ocho (8) sitios turísticos de Malargüe ubicados sobre RN40 (o sus inmediaciones) y contribuir al conocimiento.
- Realizar actividades prácticas destinadas a obtener una familiarización perceptiva con los fenómenos geológicos de las zonas de interés.
- Comprender el área en estudio
- Responder, ¿por qué el paisaje se presenta de esa forma?

Apreciación del mundo físico y adquisición de una experiencia de primera mano sobre fenómenos físicos, químicos, geológicos y biológicos imprescindibles para poder plantearse posteriormente una comprensión teórica de estos hechos.

Hipótesis del trabajo

La zona de trabajo presenta un alto potencial para la historia geológica de Malargüe, así como también los demás sitios del presente proyecto. Su geodiversidad resalta valores turísticos, culturales,

industriales y científicos además de las características particulares del lugar. Su proceso de formación muestra los cambios terrestres que ocurrieron en el pasado geológico y que continúan en la actualidad, lo cual proporciona información para poder reconocer, interpretar y comunicar sobre dichos aspectos para entender la evolución del paisaje actual y de la historia que comprende a Malargüe. Se propone utilizar los datos geológicos proporcionados por el sitio para su divulgación al turista que visita la zona.

Metodología y Plan de Trabajo

- Búsquedas y análisis de bibliografías que dieron basamento teórico a la tarea realizada.
- Encuestas para estimar cuanto sabia la sociedad sobre geoturismo y geología regional.
- Salidas a campo para reconocimiento.
- Elaboración de informes y cartelería.

Malargüe

Malargüe es una ciudad ubicada al sur de la provincia de Mendoza. La ciudad es reconocida por sus llamativos paisajes y por su actividad de ganado caprino.



Fig. 1: Localización de la ciudad de Malargüe.

Detalles del río Malargüe

El río Malargüe se encuentra al sur de dicha ciudad, posee flujo de agua turbulento, debido a la velocidad de corriente que transporta **sedimentos** muy grandes y pequeños. Su respectivo cruce se encuentra sobre la Ruta Nacional 40.



Fig. 2 y 3: A la izquierda (Fig. 2) mapa del río Malargüe y su distribución para el riego; a la derecha (Fig. 3) fotografía tomada desde el puente del mismo río sobre la RN 40.

La cuenca del río Malargüe ocupa una superficie total de 11.146 km² y comprende el departamento del mismo nombre y una pequeña parte de San Rafael. Tiene una longitud aproximada de 73 km, desde su nacimiento en el río Torrecillas hasta la Laguna de Llancanelo. El dique Derivador "Blas Brísoli" es la principal obra hidráulica construida sobre el río Malargüe. Esta obra está destinada a cubrir la demanda para riego y abastecimiento poblacional. La obra de toma origina al canal matriz Cañada Colorada que permite regar gran parte de la zona de influencia ([Aquabook \(agua.gob.ar\)](http://Aquabook.agua.gob.ar)).

El cruce del río Malargüe se encuentra aproximadamente a 7,8Km de la ciudad de Malargüe a una altura de 1470 m.s.n.m. a 35°32' S y 69°35' O.

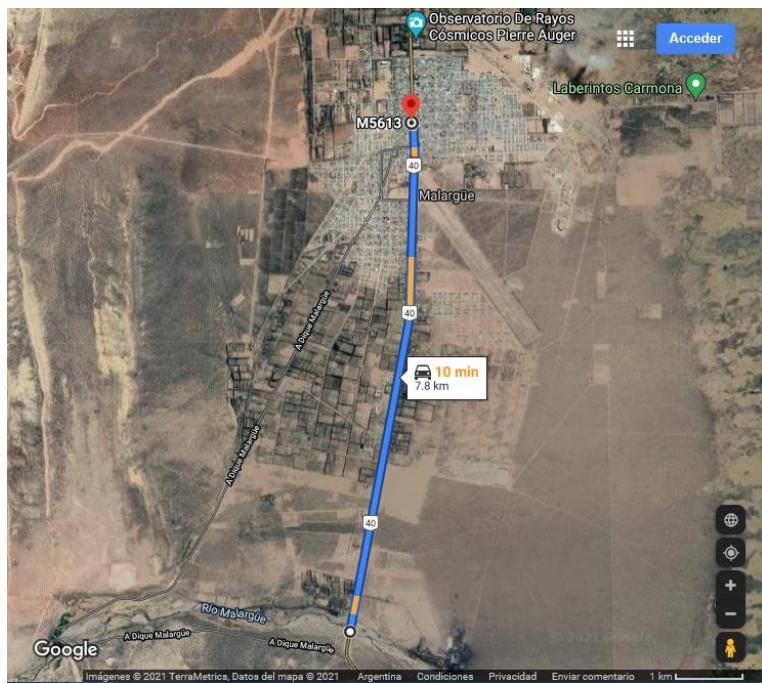


Fig. 2: Distancia del río Malargüe a la ciudad de Malargüe.

Geología sobre el puente del río Malarque

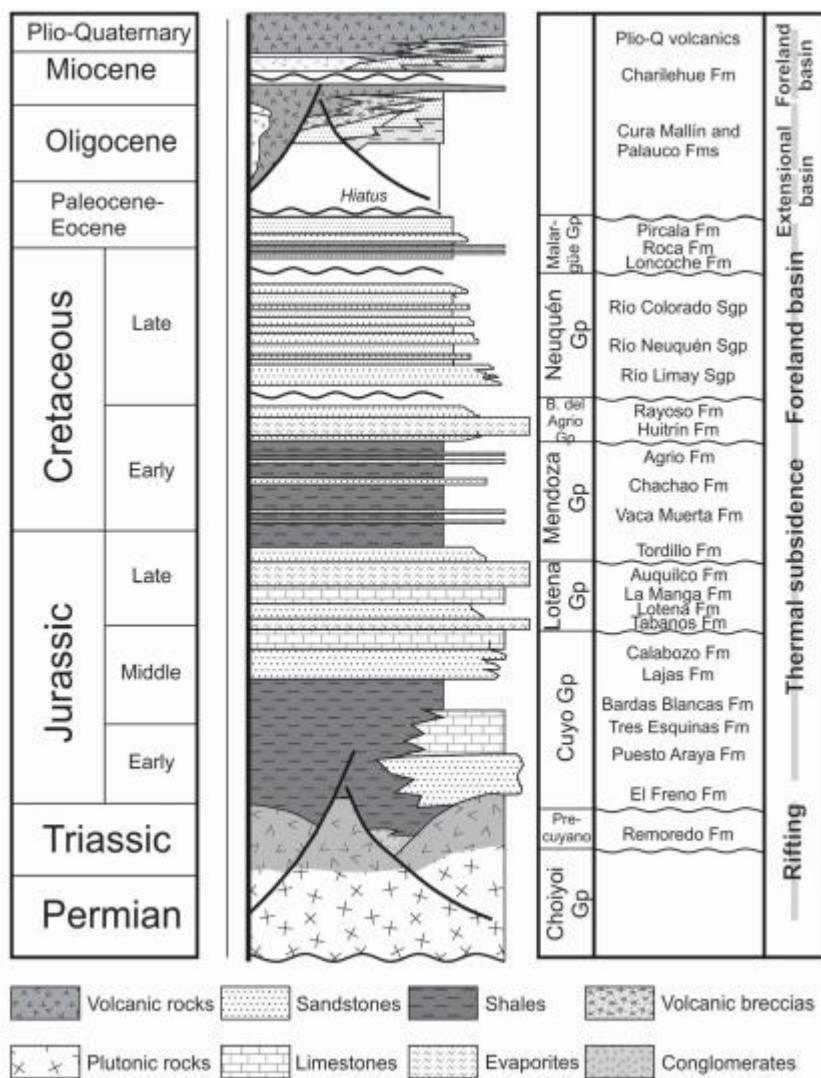


Fig. 5: Columna estratigráfica de las unidades preorogénicas (Borghi et al., 2019).

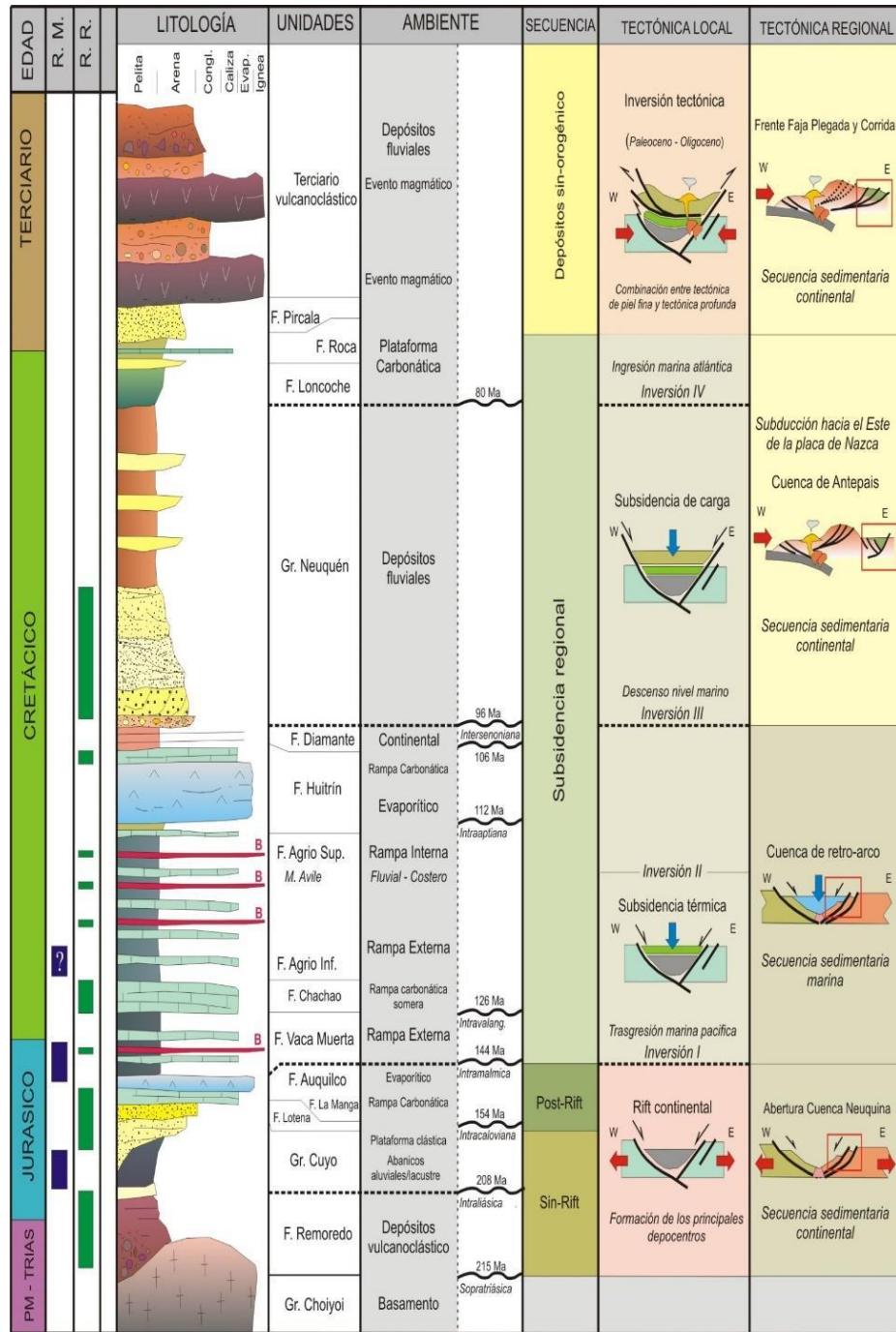


Fig. 6: Columna estratigráfica de Malargüe.

Desde el puente hacia el sur (Fig. 7) se puede observar las **riolitas** del Grupo Choiyoi, todo el relleno que hubo en la zona de los ingresos marinos del Pacífico más el del Atlántico se hizo sobre esta **roca** que luego se levantó. Las rocas que se encuentran aquí son unas de las más antiguas que se observan (entre 265 y 275 Ma aproximadamente según (Nullo *et al.*, 2005), ellas conforman lo que se llama Cerro Ceferino y otras formaciones montañosas e incluso son el **basamento** de la Cuenca Neuquina (ver Fig. 16), **cuenca sedimentaria** originada en el Triásico Superior y desarrollada en su mayoría en el Jurásico

y Cretácico cuyo espesor es de 6000 m aproximadamente que incluyen rocas marinas y continentales (Ponce *et al.*, 2015).

Según Kietzmann *et al.* (2016) el proceso de evolución de la Cuenca Neuquina estuvo controlada por distintos regímenes tectónicos: 1) Régimen extensional (Triásico Superior – Jurásico Inferior), 2) régimen de subsidencia termal (Jurásico Medio Cretácico Superior), 3) régimen de deformación compresiva e inversión tectónica (Cretácico Superior- Paleógeno); ver Fig. 5.

- 1) El colapso termo-mecánico que ocurrió durante el Triásico Tardío - Jurásico Temprano, en este sitio ocurre sobre el grupo Choiyoi, provocó el desarrollo de una serie de hemigrabenes (ver **graben**) aislados con polaridad variable. Cada uno de estos depocentros fue rellenado por depósitos sedimentos continentales y marinos, así como volcánicos y volcánicos, relacionados al ciclo extensional denominado ciclo Precuyano, la formación predominante en el sur de Mendoza es la Formación Remored.
- 2) Prevaleció un régimen de subsidencia térmica, con localizados eventos tectónicos. Esta configuración permaneció hasta el Cretácico Temprano y permitió el ingreso del Océano Pacífico a través de estrechos pasajes entre las islas volcánicas que componían el arco, dando lugar a la depositación de espesas y ampliamente distribuidas sucesiones sedimentarias marinas, transicionales y continentales. Predominan en la zona de estudio. Los Grupos Cuyo, Lotena, Mendoza y Bajo del Agrio o Rayoso.
- 3) Los cambios en la velocidad de expansión del Atlántico sur provocó el desarrollo de un régimen tectónico compresivo que causó la inversión de las antiguas estructuras generadas durante la etapa extensional. Este nuevo régimen instaurado durante el Cretácico Tardío dio fin a la **cuenca de retro-arco** y originó una **cuenca de antepaís** dominada por depósitos continentales y transicionales asignados a los Grupos Neuquén y Malargüe.

Cabe destacar que hubo tres ingestiones marinas correspondiente a cada régimen: las dos primeras ingestiones corresponden a la del Océano Pacífico y la última corresponde a la del Océano Atlántico, única ingestión atlántica.

También desde el puente se puede ver a lo lejos las serranías del Chihuido Chico (Fig. 8) cuyas rocas predominantes son rocas ígneas intrusivas y rocas del Grupo Choiyoi. El cerro pertenece a la formación del mismo nombre y a la Formación Remoredo.

La Formación Chihuido está constituida por una sucesión de sedimentitas de origen continental, en la que predominan los clásticos gruesos tales como aglomerados y conglomerados, a los que acompañan areniscas, **tobas** y **lutitas**, en proporción subordinada. Sus afloramientos se presentan en el anticlinal del Chihuido situado al sur del río Malargüe, donde estos **estratos** están bastante dislocados y metamorfoseados (ver **metamorfismo**) en el contacto con las plutonitas triásicas y cretácico-terciarias (Dessanti, 1973). Esta formación pertenece al Grupo Tronquimalal.

La Formación Remoredo está caracterizada por una secuencia de rocas clásticas y subordinadamente piroclásticas (areniscas, pelitas, conglomerados, calizas, tobas). El espesor es variable, dependiendo del lugar donde se exponga. Su coloración es rojiza a morada oscura o castaño rojiza. Se considera que esta unidad se generó en depocentros relativamente aislados, independientes de influencias marinas, correspondiendo a un ambiente de sedimentación continental caracterizado por sedimentación fluvial y desarrollo de abanicos aluviales en la base y ambientes lacustres portadores de ostrácodos de agua dulce en las partes depocentrales (Nullo *et al.*, 2005). Esta última pertenece al Grupo Tronquimalal y es la formación que predomina luego de la primera ingresión del Océano Pacífico.



Fig. 7 y 8: Izquierda (Fig. 7) cerro Ceferino; derecha (Fig. 8) serranías del Chihuido Chico.

Al suroeste (Fig. 9) se aprecia el Cerro Tronquimalal cuyo basamento es el Grupo Tronquimalal, constituido por conglomerados con clastos angulosos y finos a medianos de color rojo a castaño rojizo; los clastos de los conglomerados provienen de rocas volcánicas del Grupo Choiyoi, también se

compone de limolitas de color verde a gris. El ambiente de sedimentación de esta unidad caracteriza un modelo fluvio-deltaico que pasa progresivamente a un sistema lacustre (Nullo *et al.*, 2005); este grupo contiene a las formaciones Chiuhibo, Llantenes (en esta formación es posible hallar vegetación fósiles) y Remoredo. Sobre él aflora predominantemente el Grupo Mendoza.

Luego del Grupo Tronquimalal, hacia el oeste se expone el Grupo Cuyo el cual incluye a las formaciones Puesto Araya (**areniscas, conglomerados**), Lajas (areniscas, limolitas, lutitas, lutitas calcáreas) y Calabozo (**calizas, limolitas, dolomitas, brechas calcáreas**) formados en ambientes aluviales y lacustres.



Fig. 9: Al fondo cerro Tronquimalal, de frente Grupo Mendoza.



Fig. 10: Formaciones del Grupo Lotena, Grupo Mendoza y Grupo Rayoso.

Hacia el oeste del puente (Fig. 10) afloran calizas y estratos blancos de yeso de la Formación Auquilco del Grupo Lotena y de la Formación Huitrín del Grupo Rayoso, entre estos grupos se expone el Grupo Mendoza; en estos grupos también es posible hallar fósiles marinos. Estos grupos se forman luego de la segunda ingresión del Océano Pacífico.

La Formación Auquilco está constituida casi en su totalidad por depósitos de yeso, de color blanquecino, en algunos casos laminados, en otros masivos. En otras oportunidades se intercalan bancos de calizas de color gris claro a amarillento. Esta unidad corresponde a un ambiente marino poco profundo y muy restringido, con salinidad elevada (Nullo *et al.*, 2005).

La Formación Huitrín está constituida por depósitos de yeso, fangolitas y delgados bancos de calizas, seguidos por potentes bancos de areniscas y limolitas de color rojo. Las capas de evaporitas están casi exclusivamente integradas por yeso en cristales de gran tamaño. Se ha estimado que estos depósitos

corresponden a un medio de agua parda, periódicamente sujeto a la exposición subaérea que permitía el acceso de aguas desde el continente y, en ocasiones, desde el mar (Nullo *et al.*, 2005).

En el Grupo Mendoza afloran depósitos como **pelitas**, pelitas calcáreas, limolitas, areniscas finas, calizas y **coquinas**, correspondientes a las formaciones Vaca Muerta, Chachao y Agrio (Nullo *et al.*, 2005).

Más hacia el oeste, pasando el dique Blas Brísoni, se expone el Grupo Neuquén litológicamente constituido por fangolitas marrones y rojizas intercaladas con areniscas finas de origen fluvial, aluvial, eólico y lacustre (Borghi *et al.*, 2019). La unidad tiene una edad de aproximadamente 96 Ma. Posee una secuencia de aproximadamente 1.200 m de espesor máximo, integrada por una sucesión de capas rojas compuestas principalmente de areniscas, fangolitas y grauvacas (otro tipo de arenisca); con una reducida participación de horizontes conglomerádicos. Genéticamente estos depósitos son vinculados a un origen predominantemente fluvial, con intercalaciones de episodios eólicos y lacustres someros (Garrido, 2010).

Seguido del Grupo Neuquén se expone el Grupo Malargüe constituido según Nullo *et al.* (2005) por depósitos de areniscas, limolitas, calizas y evaporitas correspondientes a la Formación Loncoche, formada en un ambiente continental, y a la Formación Roca, formada en un ambiente marino cuando hubo ingresión marina del Océano Atlántico y es posible hallar fósiles marinos.

Hacia el este (Fig. 12) se encuentra la depresión de los Huarpes donde se encuentra la laguna de Llancanelo y además en esta laguna se observa un campo basáltico, rocas volcánicas.



Fig. 11: Vista hacia el anticlinal Malargüe.

Fig. 12: Más al este se encuentra la depresión de los Huarpes.

Hacia el lado cordillerano se aprecia toda la secuencia del anticlinal Malargüe (Fig. 11). Este anticlinal, es decir las secuencias más antiguas (o viejas) afloran o se exponen en el núcleo del pliegue, constituye la siguiente secuencia: Permotriásico (Grupo Choiyoi), Grupo Tronquimalal, Grupo Cuyo, Grupo Lotena, Grupo Mendoza, Grupo Rayoso, Grupo Neuquén y Grupo Malargüe. El último evento que se observa es el magmatismo del Terciario donde se formaron las **ignimbritas** Malargüe formadas por flujo piroclástico y sobre estas el río labró su cauce.

En la posición del puente se encuentra en el límite de la Faja Plegada y Corrida de Malargüe, esta es un conjunto de pliegues y fallas provocadas por la interacción entre las **placas** tectónicas de la corteza terrestre. La deformación ándica en este sector origina la faja plegada y corrida de Malargüe (Fig. 13), que mediante inversión tectónica del sistema extensional hace participar en la estructura al basamento permotriásico y aún a rocas más antiguas, como es posible que aflore el grupo Choiyoi al margen de la RN40. En esta cordillera afloran depósitos neopaleozoicos y volcanitas, secuencia estratigráfica característica de la Cordillera Frontal, expuesta en este importante alto de basamento. La estructura de la cordillera en este sector es compleja, dada las imbricaciones en que interviene el basamento permotriásico y el control estructural del fallamiento extensional previo (Ramos, 1999).

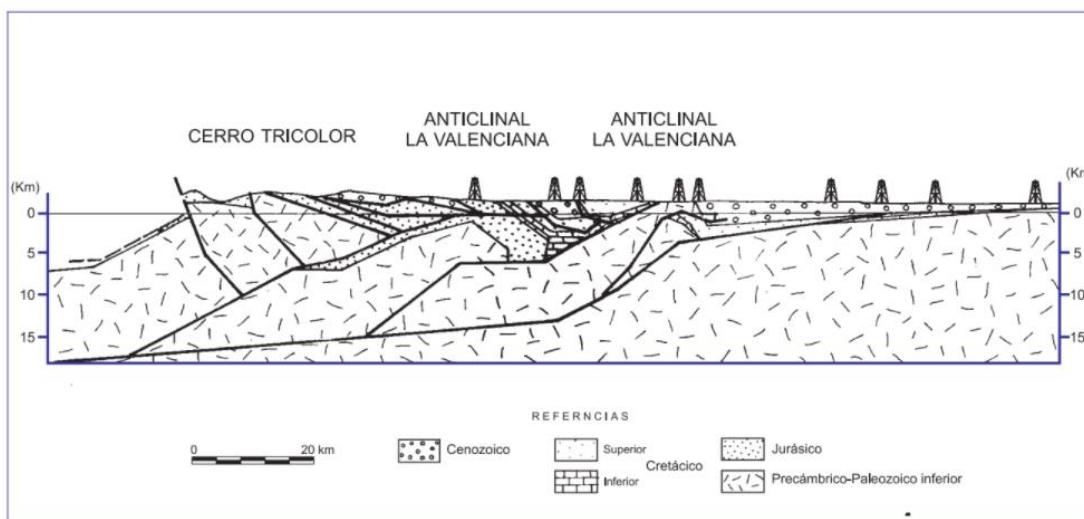


Fig. 13: Sección estructural de la faja plegada y corrida de Malargüe (Ramos, 1999).

Conclusión

Como conclusión puede afirmarse que la zona estudiada posee alto interés desde el punto de vista científico, turístico y cultural que hace a Malargüe un lugar importante dentro de la provincia de Mendoza, y que se ha podido reconocer y estudiar sus estratos y características geomorfológicas que lo conforman. Estos aspectos son importantes para comprender el lugar en el que nos encontramos describiendo el relieve, sus colores, su flora y fauna; y no sólo esto sino también sobre cómo se desarrolló el paisaje que se observa, el tiempo geológico que tardó en formarse y los sucesos ocurridos para su conformación. Cabe destacar que los grupos que integran el anticlinal de Malargüe incorporan con otros grupos la Cuenca Neuquina, que es importante para el desarrollo petrolero. Este proyecto, además aporta interés dentro de los sitios seleccionados del mismo ya que tiene relación con procesos y características que conforman al departamento de Malargüe dando también una idea más acabada y detallada de la presentación de cartelería del sitio y de la información proporcionada al guía de turismo. La cartelería está vigente, quedando a disposición de una presentación a futuro.

Agradecimientos

Se agradece el aporte de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales UNCuyo con la financiación del proyecto y a la Dirección de Promoción y Políticas Turísticas por la colaboración en su trabajo.

Referencias

Aquabook. (s.f.). Obtenido de [Aquabook \(agua.gob.ar\)](http://www.agua.gob.ar)

Arregui, C., Carbone, O., & Martínez, R. (2011). *El Grupo Cuyo (Jurásico Temprano-Medio) en la Cuenca Neuquina*. Obtenido de ResearchGate: [\[PDF\] El Grupo Cuyo \(Jurásico Temprano - Medio\) en la Cuenca Neuquina \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/235910387/El Grupo Cuyo (Jurásico Temprano - Medio) en la Cuenca Neuquina)

Borghi, P., Fennell, L., Gomez Omil, R., Naipauer, M., Acevedo, E., & Folguera, A. (2019). The Neuquén group: The reconstruction of a Late Cretaceous foreland basin in the southern Central Andes (35–37°S). *Tectonophysics*, 767. Obtenido de [The Neuquén group: The reconstruction of a Late Cretaceous foreland basin in the southern Central Andes \(35–37°S\) | Request PDF \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/333757770/The_Neuqu%C3%A9n_group_The_reconstruction_of_a_Late_Cretaceous_foreland_basin_in_the_southern_Central_Andes_(35-37%22S)_|_Request_PDF)

Dessanti, R. N. (1973). *Descripción Geológica de la Hoja 29b, Bardas Blancas*. Obtenido de [Descripción Geológica de la Hoja 29b, Bardas Blancas \(segemar.gov.ar\)](http://segemar.gov.ar)

Garrido, A. (2010). Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina (Argentina): nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 12, 121-177. Obtenido de [\[PDF\] Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina \(Argentina\): nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/235910387/El Grupo Cuyo (Jurásico Temprano - Medio) en la Cuenca Neuquina (Argentina): nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico)

Kietzmann, D. A., Palma, R. M., & Ferreyra, T. M. (2016). Análisis de facies y asignación estratigráfica de los depósitos fluviales innombrados del Jurásico Medio de la Cuenca Neuquina Surmendocina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 73(1), 104-116. Obtenido de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/20393/CONICET_Digital_Nro.24757.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Nullo, F. E., Stephens, G., Combina, A., & Dimieri, L. (2005). *Hoja Geológica 3569-III/3572-IV; Malargüe*. Obtenido de SegemAR: [Hoja Geológica 3569-III/3572-IV Malargüe \(segemar.gob.ar\)](http://segemar.gob.ar)

Ponce, J. J., Montagna, A. O., & Carmona, N. (2015). *Geología de la Cuenca Neuquina y sus sistemas petroleros. Una mirada integradora desde los afloramientos al subsuelo*. Obtenido de Fundación YPF: <https://fundacionypf.org/Documents/Publicaciones/GEOLOGIA-CUENCA-NEUQUINA.pdf>

Ramos, V. A. (1999). Las provincias geológicas del territorio argentino. En R. L. Caminos, J. L. Panza, N. E. Pezzutti, D. C. Rastelli, & M. P. Etcheverría, *Geología Argentina* (Vol. 29, págs. 41-96). Buenos

Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 29.

Obtenido de [Geología Argentina \(segemar.gob.ar\)](http://segemar.gob.ar)

Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales . (s.f.). Obtenido de Glosario de Geología:

[RACEFN Glosario de Geología \(ugr.es\)](http://RACEFN Glosario de Geología (ugr.es))

Tarbuk, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física*.

Madrid: Pearson Prentice Hall.

Anexos

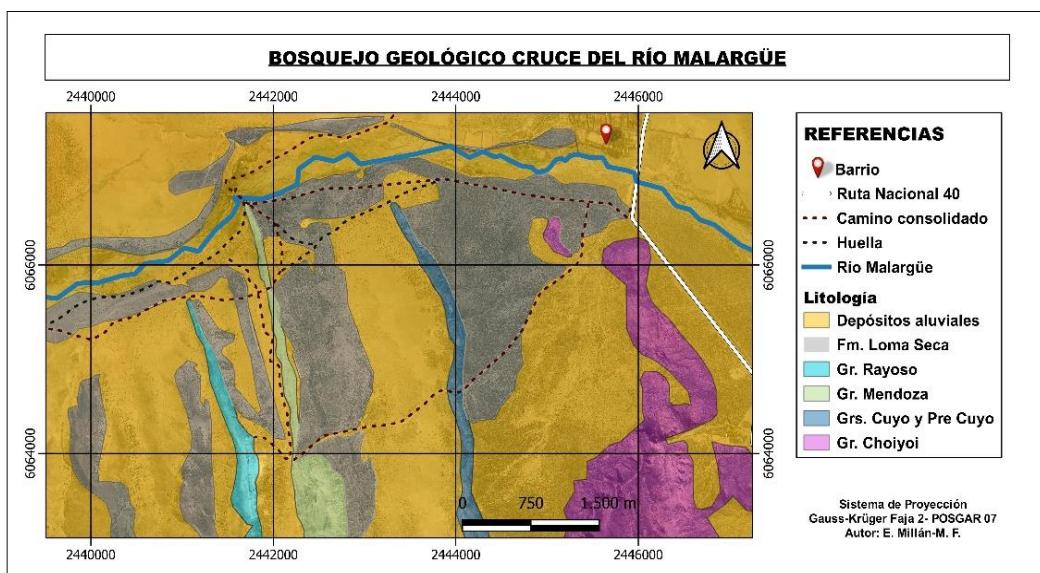


Fig. 14: Mapa geológico sobre el río Malargüe y sus alrededores.



Fig. 15: Vista satelital e indicaciones geomorfológicas de Malargüe.



Fig. 16: Mapa de la cuenca neuquina (Ponce et al., 2015).



Fig. 17 y 18: Salida al Río Malargüe con guías turísticos.

Glosario

Anticlinal: Pliegue cuyo núcleo está constituido por las rocas estratigráficamente más antiguas. En general, es antiforme, aunque a veces puede ser sinforme.

Afanítica: Los cristales que constituyen las rocas afaníticas son demasiado pequeños para que los minerales individuales se distingan a simple vista.

Antiforma: Pliegue con la concavidad hacia abajo. Var.: antiforme.

Arenisca: Roca terrígena consolidada, en la que el tamaño de grano varía entre 0.062 y 2 mm. Al ser la sílice el material más perdurable por su resistencia mecánica y química, la mayor parte de ellas están mayoritariamente compuestas por granos silíceos.

Astenosfera: Subdivisión del manto situado debajo de la litosfera. Esta zona de material dúctil se encuentra a una profundidad de unos 100 kilómetros y en algunas regiones se extiende hasta los 700 kilómetros. Las rocas que hay dentro de esta zona se deforman con facilidad.

Basalto: Roca ígnea de grano fino y composición máfica.

Basamento: 1. Conjunto de rocas que se sitúa bajo una cobertura sedimentaria y se comporta de manera competente durante la deformación cortical. || 2. Corteza continental generada durante un ciclo anterior al de la secuencia estratigráfica suprayacente, denominada cobertura.

Brecha: 1. Roca clástica compuesta por elementos de diversos tamaños de forma angulosa, dispuestos irregularmente y cementados por una masa microcristalina o amorfa. o una matriz detritica fina. || 2.

Roca sedimentaria constituida, en más de un 50 %, por elementos detriticos angulosos de más de 2 mm de diámetro y trabados por un cemento o una matriz detritica fina.

Calcáreo, a: Que contiene carbonato cálcico.

Calcita: Mineral de la clase de los carbonatos, de fórmula CaCO₃, que cristaliza en el sistema trigonal, que unas veces se encuentra formando romboedros o escalenoedros y otras, agregados cristalinos masivos, fibrosos o fibroso-radiados. Es polimorfo del aragonito y de la vaterita y da nombre a un grupo que incluye a diversos carbonatos isoestructurales como la rodocrosita, la magnesita y la smithsonita. Tiene una dureza de 3 (es el tercer término de la escala de Mohs) y un peso específico de 2.7. Es incolora o presenta color blanco con tonalidades diversas (blanco, amarillo, rojizo, gris, etc.), raya blanca y brillo vítreo, y es de transparente a opaco. Es un componente esencial de algunas rocas sedimentarias (calizas) y carbonáticas metamorfizadas (mármoles). Se forma por precipitación química en soluciones sobresaturadas en diferentes medios acuosos y a partir de caparazones de organismos. También se encuentra en filones hidrotermales y en pegmatitas. Se utiliza en la fabricación de cementos y de fertilizantes y también como piedra ornamental.

Caliza: Roca sedimentaria cuyo origen puede ser predominantemente biológico, químico o mixto. La variedad pura tiene, al menos, un 95% de CaCO₃; la corriente, por lo menos un 50%; de los componentes restantes, el más frecuente y dominante es el carbonato de magnesio, y los accesorios son silicatos o productos de su alteración, como arcillas, sílice, y también pirita y siderita.

Colada piroclástica: 1. Flujo denso de material volcánico originado en una erupción volcánica y constituido esencialmente por fragmentos calientes de vidrio volcánico, pómez, fragmentos de rocas y gas, que se desplaza rasante sobre la ladera de un volcán y tiende a acumularse en las zonas más bajas del mismo || 2. Depósito originado en el proceso descrito.

Composición félscica: Véase composición granítica.

Composición granítica: Grupo composicional de rocas ígneas que indica que la roca está compuesta casi en su totalidad por silicatos claros.

Conglomerado: Roca sedimentaria constituida, en más de un 50%, por elementos detriticos redondeados de más de 2 mm de diámetro y trabados por un cemento o una matriz detritica fina.

Coquina: Sinón. de lumaquela.

Cratón: Sector extenso de un continente constituido por corteza continental potente y antigua, que ha permanecido estable durante un prolongado intervalo de tiempo y que no suele verse afectado por actividad orogénica.

Cuenca de antepaís: Cuenca sedimentaria subsidente, situada entre el frente de una cordillera de plegamiento y el cratón adyacente.

Cuenca de retro-arco: Cuenca sedimentaria relacionada con la subducción, situada entre un arco de islas y el continente. Está formada por corteza oceánica y puede acumular una potente secuencia sedimentaria.

Cuenca sedimentaria: Área de la superficie terrestre en la que, durante un prolongado intervalo de tiempo geológico, se han acumulado grandes espesores de sedimentos.

Deformación (deformation): Término general para describir los procesos de plegamiento, fracturación, cizallamiento, compresión o extensión de las rocas como consecuencia de la actuación de fuerzas naturales.

Deformación (strain): Cambio irreversible en la forma y el tamaño de un cuerpo de roca provocado por el esfuerzo.

Dolomita: Mineral de la clase de los carbonatos, de fórmula $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, que cristaliza en el sistema trigonal con formas romboédricas. Es frecuente la sustitución parcial del ión magnesio por ión ferroso y, más raramente, por manganeso. Tiene una dureza de 3.5 a 4 y un peso específico de 2.8 a 2.9. Es incoloro o presenta color blanco, gris o amarillento, raya blanca y brillo vítreo, y de transparente a translúcido. Se puede formar directamente por precipitación a partir del agua del mar en ambientes sedimentarios hipersalinos. Sin embargo, mayoritariamente se forma por la transformación de la calcita en procesos diagenéticos o metasomáticos. Se encuentra también en filones hidrotermales y en rocas metamórficas.

Era: División principal en la escala de tiempo geológico; las eras se dividen en unidades más cortas denominadas períodos.

Era Cenozoica: Lapso temporal en la escala de tiempo geológico que empieza hace aproximadamente 65 millones de años, después del Mesozoico.

Era Mesozoica: Lapso temporal en la escala de tiempo geológico que transcurre entre las eras Paleozoica y Cenozoica: desde hace unos 248 millones de años hasta hace 65 millones de años.

Era Paleozoica: Lapso temporal en la escala de tiempo geológico comprendido entre las eras Precámbrica y Mesozoica: desde hace unos 540 millones de años hasta hace 248 millones de años.

Erosión: Incorporación y transporte de material por un agente dinámico, como el agua, el viento y el hielo.

Estratos: Capas paralelas de rocas sedimentarias.

Fenocristal: Cristal de gran tamaño incluido en una matriz de cristales de grano más fino.

Flujo piroclástico: Sinón. de colada piroclástica.

Graben: Valle formado por el hundimiento de un bloque limitado por fallas.

Ignimbritas: Rocas producidas por los flujos piroclásticos.

Lava: Magma que alcanza la superficie terrestre.

Limo: Sedimento detrítico fino cuyas partículas tienen un tamaño medio comprendido entre 4 y 62 μm .

Limolita: Roca sedimentaria formada por la compactación de un limo.

Litosfera: Capa externa rígida de la Tierra, que comprende la corteza y parte del manto superior.

Lumaquela: Roca clástica formada por aglomeración de conchas de moluscos o braquiópodos, o por fragmentos de las mismas, de tamaño superior a 2 mm. Sinón.: caliza lumaquélica, coquina.

Lutita: Roca sedimentaria constituida por granos muy finos, de menos de 0.062 mm. Sinón.: pelita.

Magma: Volumen de roca fundida situada en profundidad, que incluye gases disueltos y cristales.

Metamorfismo: Cambios en la composición mineral y textura de una roca sometida a elevadas temperaturas y presiones en el interior de la Tierra.

Placa: Una de las numerosas secciones rígidas de la litosfera que se mueve como una unidad sobre el material de la astenosfera.

Riolita: Roca volcánica, subalcalina o alcalina, ácida, rica en vidrio y con cristales de cuarzo, feldespato alcalino y biotita y con textura fluidal. Además, con frecuencia tiene plagioclasa y anfíbol.

Roca: Mezcla consolidada de minerales.

Roca ígnea: Roca formada por la cristalización del magma.

Roca intrusiva: Roca ígnea que se formó bajo la superficie terrestre.

Roca metamórfica: Roca formada por la modificación de otras preexistentes en el interior de la Tierra (pero todavía en estado sólido) mediante calor, presión y/o fluidos químicamente activos.

Roca plutónica: Roca ígnea que se forma en la profundidad. Recibe el nombre de Plutón, el dios del mundo inferior de la mitología clásica.

Roca sedimentaria: Roca formada a partir de los productos de meteorización de rocas preexistentes que han sido transportadas, depositadas y litificadas.

Sedimento: Partículas no consolidadas creadas por la meteorización y la erosión de rocas, por precipitación química de soluciones acuosas o por secreciones de organismos, y transportadas por el agua, el viento o los glaciares.

Silicato: Cualquiera de los numerosos minerales que tienen el tetraedro silicio-oxígeno como su estructura básica.

Sinclinal: Pliegue con disposición cóncava de los estratos sedimentarios; o encontrándose las rocas más modernas en el centro.

Sinforma: Pliegue cuya concavidad se dirige hacia arriba. Var.: sinforme.

Subducción: Proceso por medio del cual la litosfera oceánica se sumerge en el manto a lo largo de una zona convergente.

Toba: 1. Roca piroclástica consolidada. Según sea el tamaño medio de los granos se denomina toba de lapilli (2 a 64 mm) o toba cinerítica (menor de 2 mm) || 2. Depósito de cenizas volcánicas litificado.

Toba soldada: Depósito piroclástico formado por partículas fundidas por la combinación del calor retenido en el depósito en reposo y el peso del material suprayacente.

Zona de subducción: Zona larga y estrecha donde una placa litosférica desciende por debajo de otra.

English version

Geology in Route 40: FCEN's contribution to Malargüe

Cruce del Río Malargüe

Elías Millán

Universidad Nacional de Cuyo

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Geology Area

Malargüe

2021

Abstract

This paper reports on and explains the geology on the banks of Malargüe River, taking the river bridge over the NR40 as a sightseeing point.

In this site, ancient formations were uplifted or exposed by the deformation of the continental crust as a result of the Andean orogeny outcrop. The aforementioned movements form Malargüe's **fold-and-thrust belt**, where one of the most interesting features is the **anticline**. The main units that make up the site of interest are: Choiyoi Gr, Tronquimalal Gr, Cuyo Gr, Lotena Gr, Mendoza Gr, Rayoso Gr, Neuquén Gr and Malargüe Gr.

Malargüe's river crossing is located approximately 7.8Km away from the city of Malargüe at an altitude of 1470 m.a.s.l. at 35°32' S and 69°35' W.

Objectives

In conjunction with the Direction of Tourism Promotion and Policies of Malargüe, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN) belonging to UNCuyo give rise to the Jorge Alberto Sábato 2020 Extension Project called "The Geology in Route 40, FCEN's Contribution to Malargüe" with the following objectives:

- To identify and describe geological content in eight (8) touristic sites in Malargüe located on RN40 (or its surroundings).
- To carry out research activities aimed at obtaining a perceptive familiarization with the geological phenomena of the areas of interest.
- To understand the studied area.
- To explain why the landscape looks the way it does.

To have a better appreciation of the physical world, and a first-hand experience of physical, chemical, geological and biological phenomena, which are essential for later theoretical understanding of these facts.

Hypothesis

The work area has a high potential for the geological history of Malargüe, as well as the other sites of this project. Its geodiversity highlights touristic, cultural, industrial and scientific values in addition to the particular characteristics of the site. Its formation process shows the terrestrial changes that occurred in the geological past and continue today, which provide information to be able to recognize, interpret and communicate about these aspects in order to understand the evolution of the current landscape and the history of Malargüe. This work aims at using the geological data provided by the site dissemination to inform tourists visiting the area.

Methodology

- Research and analysis of field related literature to construct a theoretical framework.
- Surveys to estimate how much society knows about geotourism and regional geology.
- Field trips for recognition.
- Reports elaboration and posters, leaflets design.

Malargüe

Malargüe is a city located in the south of the province of Mendoza. The city is known for its striking landscapes and for its goat cattle activity.



Fig. 1: Location of Malargüe city.

Details of Malargüe River

Malargüe River is located towards the south of the city, it has a turbulent water flow due to the current speed that transports very large and small **sediments**. Its respective crossing is located on National Route 40.



Fig. 2 & 3: On the left (Fig. 2) map of Malargüe River and its distribution for irrigation; on the right (Fig. 3) photograph taken from the bridge of the same river over RN 40.

Malargüe River's **basin** covers a total surface of 11,146 km² and includes the department under the same name and a small part of San Rafael. It is approximately 73 km long, from its source in Torrecillas River to Llancanelo Lagoon. The Blas Bríson's dam is the main hydraulic work built on Malargüe River. This work is intended to meet the demand for irrigation and population supply. The intake work originates in Cañada Colorada main canal which allows irrigation of a large part of the area of influence ([Aquabook \(aqua.gob.ar\)](#)).

Malargüe River's crossing is located approximately 7.8Km from the city of Malargüe at an altitude of 1470 m.a.s.l. at 35°32' S and 69°35' W.

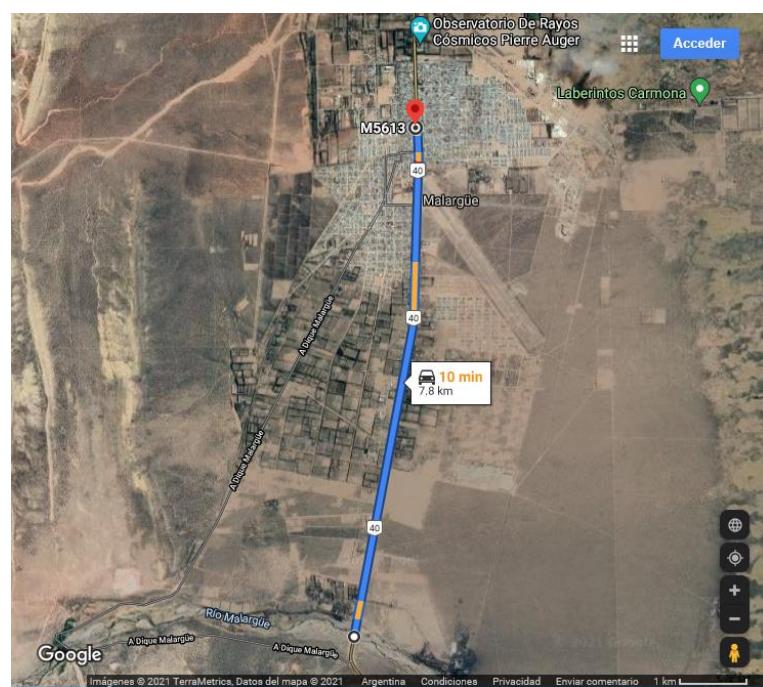


Fig. 4: Distance from Malargüe River to the city of Malargüe.

Geology on Malargüe River's Bridge

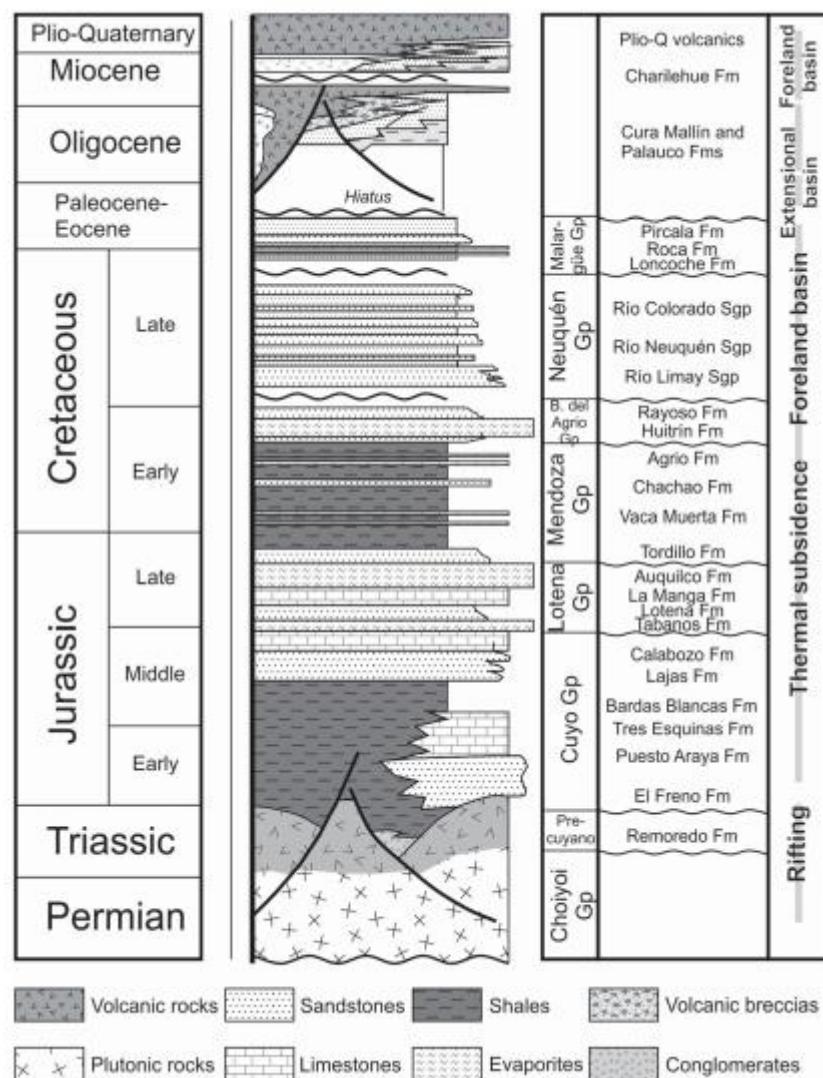


Fig. 5: Stratigraphic column of the pre-orogenic units (Borghi et al., 2019).

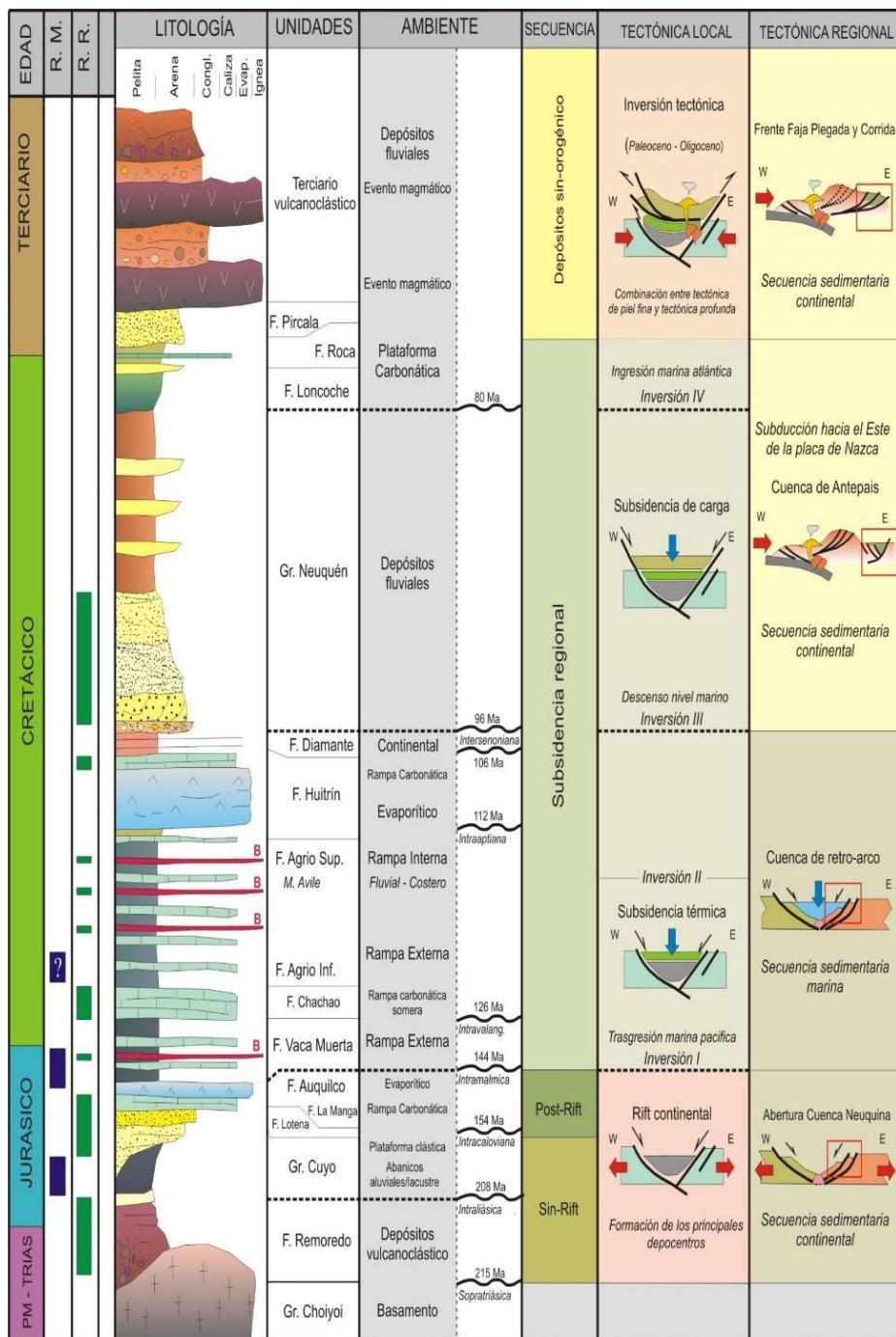


Fig. 6: Malargüe stratigraphic column.

From the bridge (Fig. 7) the **rhyolites** of the Choiyoi Group can be observed to the south, all the filling in the area of the Pacific and Atlantic marine inflows was made on this **rock**, which was later uplifted. The rocks found here are some of the oldest ones observed (approximately 265 and 275 Ma according to Nullo *et al.*, 2005). These form what is called Ceferino Hill and other mountain formations and even the **basement** of Neuquina Basin (see Fig. 16), a **sedimentary** basin originated in the Upper Triassic

and developed mostly in the Jurassic and Cretaceous, whose thickness is approximately 6000 m and includes marine and continental rocks (Ponce *et al.*, 2015).

According to Kietzmann *et al.* (2016) the evolution process of Neuquina Basin was controlled by different tectonic regimes: 1) extensional regime (Upper Triassic - Lower Jurassic), 2) thermal subsidence regime (Middle Jurassic - Upper Cretaceous), 3) compressional deformation and tectonic inversion regime (Upper Cretaceous - Paleogene); see Fig. 5:

- 1) The thermo-mechanical collapse that occurred during the Late Triassic - Early Jurassic at this site over the Choiyoi Group caused the development of a series of isolated hemigrabbens (see **graben**) with variable polarity. Each of these depocenters was filled by continental and marine sedimentary deposits, as well as volcanioclastic and volcanioclastic deposits, related to the extensional cycle known as Precuyano cycle, the predominant formation in southern Mendoza is Remoredo.
- 2) A thermal subsidence regime prevailed, with localized tectonic events. This configuration remained until the Early Cretaceous and allowed the Pacific Ocean to enter through narrow passages between the volcanic islands that made up the arc, leading to the deposition of thick and widely distributed marine, transitional and continental sedimentary successions. In the study area the predominating groups are: Cuyo, Lotena, Mendoza and Bajo del Agrio or Rayoso.
- 3) Changes in the expansion rate of the South Atlantic caused the development of a compressional tectonic regime that caused the inversion of the old structures generated during the extensional stage. This new regime established during the Late Cretaceous ended the **back-arc basin** and originated a **foreland** basin dominated by continental and transitional deposits assigned to Neuquén and Malargüe Groups.

It is worth noting that there were three marine inflows corresponding to each regime: the first two inflows correspond to the Pacific Ocean and the last one corresponds to the Atlantic Ocean, the only Atlantic inflow.

Also, from the bridge you can see in the distance the Chihuido Chico mountain range (Fig. 8) whose predominant rocks are **intrusive igneous** and rocks of the Choiyoi Group. The hill belongs to the formation of the same name and to Remoredo Formation.

Chihuido Formation consists of a succession of sediments of continental origin, in which thick clastics such as agglomerates and conglomerates, predominate accompanied by **sandstones, tuffs** and **shales**, in a subordinate proportion. Its outcrops occur in the Chihuido's anticline located south of Malargüe River, where these **strata** are quite dislocated and metamorphosed (see **metamorphism**) in contact with Triassic and Cretaceous-Tertiary plutonites (Dessanti, 1973). This formation belongs to the Tronchimal Group.

The Remoredo Formation is characterized by a sequence of clastic and subordinately pyroclastic rocks (sandstones, **pelites**, conglomerates, limestones, tuffs). The thickness is variable, depending on the place where it is exposed. Its coloration is reddish to dark purple or reddish brown. It is considered that this unit was generated in relatively isolated depocenters, independent of marine influences, corresponding to a continental sedimentation environment characterized by fluvial sedimentation and development of alluvial fans at the base and lacustrine environments carrying freshwater ostracods in the depocentral parts (Nullo *et al.*, 2005). The latter belongs to Tronquimalal Group and is the predominant formation after the first ingress of the Pacific Ocean.



Fig. 7 & 8: Left (Fig. 7) Ceferino Hill; right (Fig. 8) Chihuido Chico mountain range.

To the southwest (Fig. 9) is Tronquimalal Hill whose basement is the Tronquimalal Group, made up of conglomerates with angular and fine to medium-sized red to reddish-brown clasts; the clasts of the

conglomerates come from volcanic rocks of the Choiyoi Group, also composed of green to grey siltstones. The sedimentation environment of this unit characterizes a fluvio-deltaic model that progressively changes to a lacustrine system (Nullo *et al.*, 2005); this group contains Chiuhidó, Llantenes (in this formation it is possible to find fossil vegetation) and Remoredó formations. Mendoza Group predominantly outcrops above it.

After Tronquimalal Group, to the west, Cuyo Group is exposed, which includes Puesto Araya (sandstones, **conglomerates**), Lajas (sandstones, siltstones, shales, calcareous shales) and Calabozo (**limestones, siltstones, dolomites**, calcareous **breccias**) formations shaped in alluvial and lacustrine environments.



Fig. 10: Formations of the Lotena Group, Mendoza Group and Rayoso Group.

Fig. 9: Tronquimalal hill in the background, Mendoza Group in the front.

To the west of the bridge (Fig. 10) limestones and white gypsum strata of Auquilco Formation of the Lotena Group and the Huitrín Formation of the Rayoso Group outcrop; and between these groups Mendoza Group is exposed; in these groups it is also possible to find marine fossils. These groups are formed after the second ingress of the Pacific Ocean.

Auquilco Formation consists almost entirely of gypsum deposits, whitish in color, in some cases laminated, in others massive. On other occasions, light grey to yellowish limestone banks are interspersed. This unit corresponds to a shallow and very restricted marine environment with high salinity (Nullo *et al.*, 2005).

Huitrín Formation consists of gypsum deposits, mudstones and thin limestone banks, followed by strong red sandstone and siltstone banks. The evaporite layers are almost exclusively composed of gypsum in

large crystals. It has been estimated that these deposits correspond to a panda water environment, periodically subject to subaerial exposure that allowed the access of water from the continent and, sometimes, from the sea (Nullo *et al.*, 2005).

In the Mendoza Group, deposits such as **pelites**, calcareous pelites, siltstones, fine sandstones, limestones and **coquinas** outcrop, corresponding to Vaca Muerta, Chachao and Agrio formations. (Nullo *et al.*, 2005).

Further to the west, past Blas Brísoli dam, Neuquén Group is exposed, lithologically constituted by brown and reddish mudstones interposed with fine sandstones of fluvial, alluvial, aeolian and lacustrine origin (Borghi *et al.*, 2019). The unit is about 96 Ma old. It has a sequence of approximately 1,200 m of maximum thickness, integrated by a succession of red layers composed mainly of sandstones, mudstones and greywackes (another type of sandstone); with a reduced participation of conglomerate horizons. Genetically, these deposits are linked to a dominantly fluvial origin, with intercalations of aeolian and shallow lacustrine episodes (Garrido, 2010).

Neuquén Group is followed by Malargüe Group, which is made up as follows Nullo *et al.* (2005): deposits of sandstones, siltstones, limestones and evaporites corresponding to Loncoche Formation, formed in a continental environment, and to Roca Formation, formed in a marine environment when there was marine ingressions from the Atlantic Ocean and it is possible to find marine fossils.

To the east (Fig. 12) the Huarpes depression can be found, where Llancanelo lagoon is located and exposes a basaltic field and volcanic rocks.



Fig. 11: View to the Malargüe's anticline.



Fig. 12: Further east is the Huarpes depression.

Towards the mountain range, the whole sequence of Malargüe anticline can be seen (Fig. 11). This anticline constitutes the following sequence: Permo-Triassic (Choiyoi Group), Tronquimalal Group, Cuyo Group, Lotena Group, Mendoza Group, Rayoso Group, Neuquén Group and Malargüe Group. The last event observed is the Tertiary magmatism where Malargüe's **ignimbrites** formed by the **pyroclastic flow** over which the river carved its bed.

The bridge is located at the limit of Malargüe's fold-and-thrust belt, which is a set of folds and faults caused by the interaction between the tectonic **plates** of the Earth's crust. The Andean deformation in this sector originates Malargüe's folded and rift belt (Fig. 13), which through tectonic inversion of the extensional system makes the Permo-Triassic basement and even older rocks participate in the structure, making it possible for the Choiyoi group to outcrop at the margin of the NR40. Neopalaeozoic deposits and volcanites outcrop in this mountain range, a stratigraphic sequence characteristic of the Cordillera Frontal, exposed in this important basement. The structure of the mountain range in this sector is complex, given the imbrications involving the permo-Triassic basement and the structural control of previous extensional faulting (Ramos, 1999).

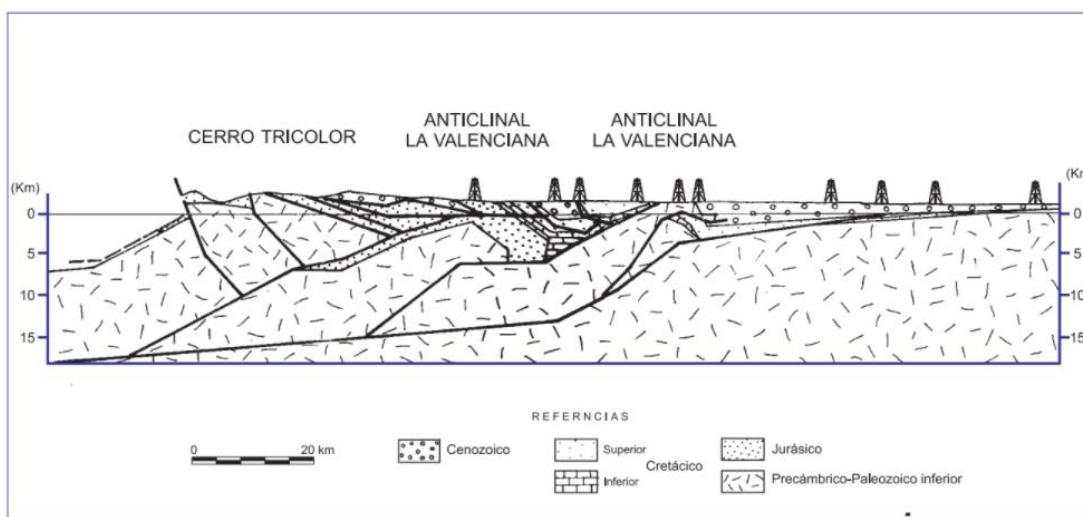


Fig. 13: Structural section of Malargüe's fold-and-thrust belt (Ramos, 1999).

Conclusion

In conclusion, it can be said that the area studied is of great scientific, tourist and cultural interest, which makes Malargüe an important place in the Province of Mendoza, and that it has been possible to recognize and study the strata and geomorphological features that make it up. These aspects are important to understand the place's relief, its colors, its flora and fauna, and also, how the landscape has been shaped, the geological time it took to form and the events that occurred for its conformation. It is worth mentioning that the groups that make up Malargüe's anticline include other groups and the Neuquina Basin, which is important for oil development. This project also brings interest to the selected sites as they are related to the processes and characteristics that shaped the department of Malargüe.

The signage is in place and is available for a future presentation.

Acknowledgments

We are grateful to Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNCuyo for financing the project and to the Dirección de Promoción y Políticas Turísticas for their collaboration in the work.

References

- Allaby, M. (Ed.). (2008). *Dictionary of Earth Sciences* (3 ed.). Oxford University Press. Obtenido de ([\(2\) \(PDF\) \[ALLABY\] Oxford Dictionary of Earth Sciences | Mario Neto - Academia.edu](#))
- Aquabook. (s.f.). Obtenido de [Aquabook \(agua.gob.ar\)](#)
- Arregui, C., Carbone, O., & Martínez, R. (2011). *El Grupo Cuyo (Jurásico Temprano-Medio) en la Cuenca Neuquina*. Obtenido de ResearchGate: ([\(PDF\) El Grupo Cuyo \(Jurásico Temprano - Medio\) en la Cuenca Neuquina \(researchgate.net\)](#))
- Borghi, P., Fennell, L., Gomez Omil, R., Naipauer, M., Acevedo, E., & Folguera, A. (2019). The Neuquén group: The reconstruction of a Late Cretaceous foreland basin in the southern Central Andes (35–37°S). *Tectonophysics*, 767. Obtenido de [The Neuquén group: The reconstruction of a Late Cretaceous foreland basin in the southern Central Andes \(35–37°S\) | Request PDF \(researchgate.net\)](#)
- Dessanti, R. N. (1973). *Descripción Geológica de la Hoja 29b, Bardas Blancas*. Obtenido de SegemAR: [Descripción Geológica de la Hoja 29b, Bardas Blancas \(segemar.gov.ar\)](#)
- Dictionary of Geology & Mineralogy* (2 ed.). (2003). McGraw-Hill. Obtenido de ([\(2\) \(PDF\) Dictionary of Geology and Mineralogy | NAIYAR IMAM - Academia.edu](#))
- Garrido, A. (2010). Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina (Argentina): nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 12, 121-177. Obtenido de ([\(PDF\) Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina \(Argentina\): nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico \(researchgate.net\)](#))
- Kietzmann, D. A., Palma, R. M., & Ferreyra, T. M. (2016). Análisis de facies y asignación estratigráfica de los depósitos fluviales innominados del Jurásico Medio de la Cuenca Neuquina Surmendocina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 73(1), 104-116. Obtenido de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/20393/CONICET_Digital_Nro.24757.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Nullo, F. E., Stephens, G., Combina, A., & Dimieri, L. (2005). *Hoja Geológica 3569-III/3572-IV; Malargüe*. Obtenido de SegemAR: [Hoja Geológica 3569-III/3572-IV Malargüe \(segemar.gov.ar\)](#)
- Ponce, J. J., Montagna, A. O., & Carmona, N. (2015). *Geología de la Cuenca Neuquina y sus sistemas petroleros. Una mirada integradora desde los afloramientos al substituto*. Obtenido de Fundación YPF: <https://fundacionypf.org/Documents/Publicaciones/GEOLOGIA-CUENCA-NEUQUINA.pdf>
- Ramos, V. A. (1999). Las provincias geológicas del territorio argentino. En R. L. Caminos, J. L. Panza, N. E. Pezzutti, D. C. Rastelli, & M. P. Etcheverría, *Geología Argentina* (Vol. 29, págs. 41-96). Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 29. Obtenido de <https://repositorio.segemar.gob.ar/bitstream/handle/308849217/81/Anales%20XXIX%20-20Geolog%c3%ada%20Argentina.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

*Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales . (s.f.). Obtenido de Glosario de Geología:
[RACEFN Glosario de Geología \(ugr.es\)](http://RACEFN Glosario de Geología (ugr.es))*

Tarbuk, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física.* Madrid: Pearson Prentice Hall.

Appendix

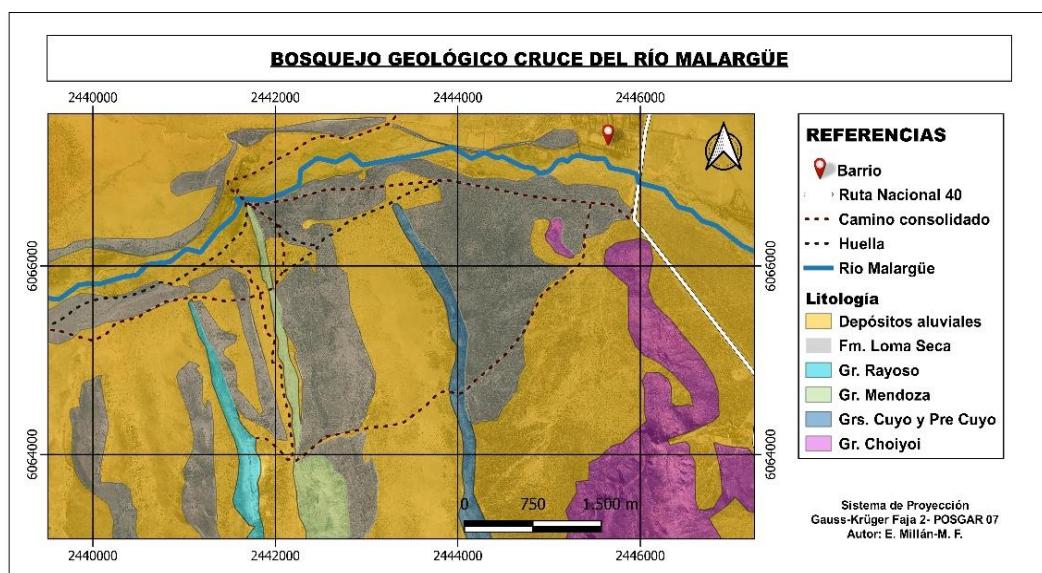


Fig. 14: Geological map of Malargüe River and its surroundings.



Fig. 15: Satellite view and geomorphologic indications of Malargüe.

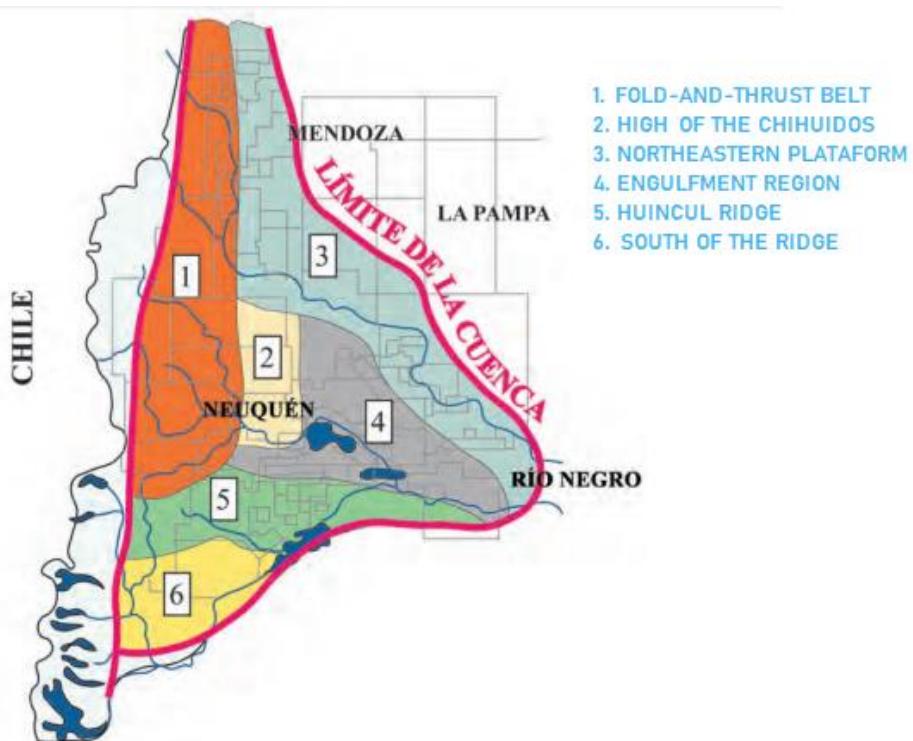


Fig. 16: Map of the neuquén basin (Ponce et al., 2015).



Fig. 17 and 18: Outing to the Malargüe River with tourist guides.

Glossary

Anticline: Arch-shaped fold in rocks, closing upwards, with the oldest rocks in the core.

Aphanitic: An igneous rock texture characterized by mineral grains which are too small to be identified without a petrological microscope. These extremely fine-grained, crystalline fabrics are formed when a magma solidifies in response to a very rapid loss of heat and dissolved gases. Emplacement in high-level dykes or eruption on to the surface can result in the development of aphanitic fabrics.

Asthenosphere: The weak zone within the upper mantle, underlying the lithosphere, where the mantle rocks deform by plastic flow in response to applied stresses of the order of 100 MPa. It is commonly considered to be coincident with the upper-mantle seismic low-velocity zone, but this is probably valid only for the oceanic sectors of the mantle. Viscosity is of the order of 10²¹–22 poise, i.e. the same as the underlying mantle, but it is much more ‘fluid’ than the overlying lithosphere. Originally it was recognized as a possible explanation for isostatic behaviour, and it is generally recognized as a mantle zone within which convective motions take place. The depth of earthquake foci in subduction zones suggests that descending convection limbs penetrate to 700 km, just above the upper mantle–lower mantle boundary. Rising limbs of asthenospheric mantle convection are located under surface spreading centres (mid-oceanic ridges).

Back-arc basin: The region (small ocean basin) between an island arc and the continental mainland formed during oceanic plate subduction, containing sediment eroded from both.

Basalt: An aphanitic crystalline rock of volcanic origin, composed largely of plagioclase feldspar (labradorite or bytownite) and dark minerals such as pyroxene and olivine; the extrusive equivalent of gabbro.

Basement: 1. Highly folded, metamorphic or plutonic rocks, often unconformably overlain by relatively undeformed sedimentary beds (or cover). In this sense, basement is often, though not necessarily, Precambrian. || 2. The crust below rocks of interest. In this sense, to a petroleum geologist ‘basement’ means non-prospective rocks which lie below prospective strata.

Basin: 1. A low-lying area, wholly or largely surrounded by higher land, that varies from a small, nearly enclosed valley to an extensive, mountain-rimmed depression. || 2. An entire area drained by a given stream and its tributaries. || 3. An area in which the rock strata are inclined downward from all sides toward the center. || 4. An area in which sediments accumulate

Breccia: Coarse, clastic, sedimentary rock, the constituent clasts of which are angular. ‘Breccia’ literally means ‘rubble’ and implies a rock deposited very close to the source area. The term may also be applied to angular volcanic rocks from a volcanic vent (vent breccia).

Calcite: CaCO₃. One of the commonest minerals, the principal constituent of limestone; hexagonal-rhombohedral crystal structure, dimorphous with aragonite. Also known as calc spar.

Cenozoic Era: Era of geologic time extending from about 65.5 million years ago to the present. It includes the Tertiary and Quaternary Periods: the so-called ages of mammals and man. Molluscs and microfossils are used in the stratigraphic subdivision of the era. The Alpine–Himalayan orogeny reached its climax during this period of geologic time.

Conglomerate: Coarse grained rudaceous) rock with rounded clasts that are greater than 2 mm in size. Conglomerates may be termed ‘intraformational’ if formed of local, recently deposited clasts, or ‘extraformational’ if the clasts are derived from outside the area of deposition. The term ‘polygenetic’ is used to describe a conglomerate rock that has been produced under a variety of conditions or processes.

Coquina: Clastic or detrital limestone that contains a high proportion of coarse shell debris cemented by calcium carbonate.

Craton: Area of the Earth’s crust, invariably part of a continent, which is no longer affected by orogenic activity. This stability has existed for approximately 1000 Ma. A classic example is the Canadian Shield.

Deformation: See “strain”.

Dolomite: CaMg(CO₃)₂. The carbonate mineral; white or colorless with hexagonal symmetry and a structure similar to that of calcite, but with alternate layers of calcium ions being completely replaced by magnesium.

Era: First-order geologic time unit composed of several periods. The Mesozoic Era, for example, is composed of the Triassic, Jurassic, and Cretaceous Periods. When used formally, as above, the initial letter of the term is often capitalized.

Erosion: 1. The part of the overall process of denudation that includes the physical breaking down, chemical solution and transportation of material. || 2. Movement of soil and rock material by agents such as running water, wind, moving ice, and gravitational creep (or mass movement). See boulders unit

Felsic: A term applied to light-coloured igneous minerals and igneous rocks rich in, these minerals. Typical felsic minerals are quartz, feldspar, feldspathoids, muscovite, and corundum. The term felsic derives from the two common minerals, feldspar and silica.

Fold-and-thrust belt: A linear or arcuate belt in which compression has produced a combination of thrusts and folds. The dip of the thrust planes decreases with depth, and the belt normally lies against the foreland of an orogenic belt.

Foreland: A stable area on the edge of an orogenic belt; a foreland is usually on the margin of a craton and is underlain by continental crust. Many forelands have suffered warping during orogeny and also carry a superficial fold-and-thrust belt. The major direction of movement in an orogenic belt is towards the foreland. Where the orogenic belt lies between two stable areas, the other is called the hinterland.

Graben: A downthrown, linear, crustal block, bordered lengthways by normal faults. The upstanding blocks on either side may have been lowered by erosion. It is a structural feature, which may be of considerable length, caused by the relative lowering of a block between two faults or fault zones. The faults are commonly high-angle, normal faults which are parallel in their strike direction. Half-graben are bounded on only one side by one or more faults and are associated mainly with tilt-block tectonics. Graben with a regional extent and topographic expression can also be called rift valleys.

Granite: A visibly crystalline plutonic rock with granular texture; composed of quartz and alkali feldspar with subordinate plagioclase and biotite and hornblende.

Igneous: igneous Applied to one of the three maingroups of rock types (igneous, metamorphic, and sedimentary), to describe those rocks that have crystallized from a magma.

Ignimbrite: A rock deposit (welded or not) resulting from one or more groundhugging flows of hot volcanic fragments and particles commonly produced during explosive eruptions (pyroclastic flows and tephra fall). Most ignimbrites have a sheet-like shape, cover many thousands of square kilometers, and have chemical compositions that span the range commonly exhibited by igneous rocks (basaltic to rhyolitic). Also known as ash-flow tuff; pyroclastic-flow deposit; welded tuff.

Intrusive: Applied to a body of rock, usually igneous, that is emplaced within pre-existing rocks. Intrusions are classified according to their size, their shape, and their geometrical relationship to the enclosing rocks.

Lava: 1. Molten extrusive material that reaches the earth's surface through volcanic vents and fissures. || 2. The rock mass formed by consolidation of molten rock issuing from volcanic vents and fissures, consisting chiefly of magnesium silicate; used for insulators.

Limestone: 1. A sedimentary rock composed dominantly (more than 95) of calcium carbonate, principally in the form of calcite; examples include chalk and travertine. || 2. Any rock containing 80% or more of calcium carbonate or magnesium carbonate

Lithosphere: 1. The rigid outer crust of rock on the earth about 50 miles (80 kilometers) thick, above the asthenosphere. Also known as oxysphere. || 2. Since the development of plate tectonics theory, a term referring to the rigid, upper 60 miles (100 kilometers) of the crust and upper mantle, above the asthenosphere.

Lutite: A consolidated rock or sediment formed principally of clay or clay-sized particles.

Magma: The molten rock material from which igneous rocks are formed.

Mesozoic: The middle of three eras that constitute the Phanerozoic period of time. The Mesozoic (literally 'middle life') was preceded by the Palaeozoic Era and followed by the Cenozoic Era. It began with the Triassic approximately 251 Ma ago and ended around 65.5 Ma at the start of the Cenozoic. The Mesozoic comprises the Triassic, Jurassic, and Cretaceous Periods.

Metamorphic rock: An aggregate of minerals formed by the recrystallization of pre-existing rocks in response to a change of pressure, temperature, or volatile content. Metamorphic rocks can generally be divided into four types: (a) regional metamorphic rocks, formed in response to changes leading to high temperature and high pressure (shearing stress and hydrostatic pressure) accompanying orogenic events; (b) contact metamorphic rocks, formed in response to changes leading to high temperature (with low pressure) around an igneous intrusion; (c) cataclastic or dynamic metamorphic rocks, formed in response to an increase in directed pressure (shearing stress) particularly in fault and thrust zones; and

(d) burial metamorphism, formed in response to changes leading to high pressure (with low temperature).

Metamorphism: The mineralogical and structural changes of solid rock in response to environmental conditions at depth in the earth's crust.

Palaeozoic: The first (542–251 Ma) of the three eras of the Phanerozoic. The Cambrian, Ordovician, and Silurian Periods together form the Lower Palaeozoic sub-era; the Devonian, Carboniferous, and Permian the Upper Palaeozoic sub-era. During the Palaeozoic, two major orogenies occurred: the Caledonian during the Lower Palaeozoic, and the Variscan in late Palaeozoic times. The faunas of the Palaeozoic are noted for the presence of many invertebrate organisms, including trilobites (Trilobita), graptolites (Graptolithina), brachiopods (Brachiopoda), cephalopods (Cephalopoda), and corals. By the end of the era, amphibians and reptiles were major components of various communities and giant tree-ferns, horsetails, and cycads gave rise to extensive forests.

Phenocrystal: Large and often well-formed crystals set in a finer groundmass or matrix. Rocks containing phenocrysts are said to be porphyritic.

Plate: 1. A smooth, thin, flat fragment of rock, such as a flagstone. || 2. A large rigid, but mobile, block involved in plate tectonics; thickness ranges from 30 to 150 miles (50 to 250 kilometers) and includes both crust and a portion of the upper mantle.

Plutonic: Pertaining to rocks formed at a great depth. Also known as abyssal; deep-seated; plutonian.

Pyroclastic flow: General term for a hot, high-concentration flow of pumice or lithic clasts, entrained and transported in a fluidized ash matrix. Pyroclastic flows include a wide range of phenomena, from ignimbrites (large volume, pumiceous) to block-and-ash flows (small volume, lithic). The flow originates by the gravitational collapse of a dense, turbulent, eruption column at the source vent and moves downslope as a coherent flow. Fluidization of the ash matrix, which contributes to the high mobility of such avalanches, is achieved by (a) the diffusion and release of gas during breakage and the attribution of ash and pumice particles entrained within the flow and (b) air ingested and compressed at the front of the advancing flow margin. Where the ash matrix is the dominant component, the term 'ash-flow' is applied by American authors, although British authors prefer to use the term 'pyroclastic flow'.

Rhyolite: A light-colored, aphanitic volcanic rock composed largely of alkali feldspar and free silica with minor amounts of mafic minerals; the extrusive equivalent of granite.

Rock: 1. A consolidated or unconsolidated aggregate of mineral grains consisting of one or more mineral species and having some degree of chemical and mineralogic constancy. || 2. In the popular sense, a hard, compact material with some coherence, derived from the earth.

Sandstone: Sedimentary rock type, formed of a lithified sand, comprising grains between 63 µm and 1000µm in size, bound together with a mud matrix and a mineral cement formed during burial diagenesis. The main constituents are quartz, feldspar, mica, and general rock particles, although the proportions of these may vary widely.

Sediment: Material derived from pre-existing rock, from biogenic sources, or precipitated by chemical processes, and deposited at, or near, the Earth's surface.

Sedimentary basin: A subsiding area of the Earth's crust which permits the net accumulation of sediment.

Sedimentary rock: Rock formed by the deposition and compression of mineral and rock particles, but often including material of organic origin and exposed by various agencies of denudation. Sedimentary rocks may be classified as terrigenous (i.e. derived from the breakdown of pre-existing rocks exposed on the land), organic (i.e. produced either directly or indirectly by organic processes such as shell production or peat formation), chemical (i.e. produced by precipitation from water, e.g. some carbonates and all evaporites), or volcanogenic (pyroclastic, e.g. tuffs and bentonites). They may also be described according to their chemical properties and behaviour and their environmental deposition, and each scheme complements the others.

Silicate: Any of a large group of minerals whose crystal lattice contains SiO_4 tetrahedra, either isolated or joined through one or more of the oxygen atoms.

Silt: 1. A rock fragment or a mineral or detrital particle in the soil having a diameter of 0.002–0.05 millimeter that is, smaller than fine sand and larger than coarse clay. || 2. Sediment carried or deposited by water. || 3. Soil containing at least 80% silt and less than 12% clay.

Siltstones: A lithified silt, comprising grains between 4 µm and 62.5 µm in size.

Author: Elías Millán

Strain: The dimensional change in the shape or volume of a body as a result of an applied stress or stresses. Strain is the ratio of the altered length, area, or volume to its original value, and may be homogeneous or inhomogeneous, and involve distortion, dilation, and rotation.

Strata: See “stratum”.

Stratum: Lithological term applied to rocks that form layers or beds. Unlike ‘bed’, ‘stratum’ has no connotation of thickness or extent and although the terms are sometimes used interchangeably they are not synonymous.

Subduction: The process of consumption of a lithospheric plate at convergent plate margins.

Subduction zones: Regions where portions of the earth’s tectonic plates are diving beneath other plates, into the earth’s interior. They are defined by deep oceanic trenches, lines of volcanoes parallel to the trenches, and zones of large earthquakes that extend from the trenches landward.

Syncline: A basin or trough-shaped fold whose upper component strata are younger than those below.

Tuff: The compacted (lithified) equivalent of a volcanic ash deposit, which has been generated and emplaced by pyroclastic processes or was water lain, and in which the grain size of the pyroclasts is less than 2 mm. Where the proportion of lapilli-sized pyroclasts exceeds 10% the term ‘lapilli-tuff’ is used.

Welded tuff: A pyroclastic deposit hardened by the action of heat, pressure from overlying material, and hot gases. Also known as tuff lava. See “ignimbrite”.