

La geología de la Ruta 40, un aporte de la FCEyN para Malargüe



Zona: Castillos de Pincheira

Proyecto Jorge A. Sabato

Universidad Nacional de Cuyo-FCEyN

Arroyo Ivana estudiante Lic. en Geología

Malargüe 2021

Tabla de contenido

Introducción	2
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	4
Marco teórico	5
Desarrollo.....	10
Ciclo eruptivo Molle.....	10
Fm. Agua de la Piedra.....	10
Fm. Molle.....	10
Ciclo eruptivo Huincán.....	11
Fm. Pincheira	11
Fm. Loma Seca	17
Metodología o estrategia de trabajo	18
Conclusión	19
Agradecimientos	20
Glosario	21
Bibliografía	23

Introducción

El sitio de estudio está al sur de la Provincia de Mendoza, en el Departamento Malargüe a unos 27 kilómetros de la ciudad, se accede al desde RN40 llamada Av. Gral. San Martín por la calle Fortín Malargüe siguiéndola en dirección oeste. Es de fácil acceso por un camino consolidado, sus coordenadas geográficas son 35°31'13"S y 69°47'46"O. Está a una altura de 1860 m.s.n.m. aproximadamente.



Imagen obtenida a través de google maps.

Es un área protegida de unas 650 hectáreas, cuyas formaciones geológicas, conocidas como “castillos”, fueron declarados Monumentos Naturales por su gran belleza escénica y su valor geomorfológico. Se declaró así bajo el nombre de reserva de paisaje protegido el 22 de junio de 1999, por esta declaración es importante su protección y preservación. Se encuentra en la **provincia geológica** de Cordillera Principal con los rasgos característicos del estructuramiento de la **Faja Plegada y Corrida de Malargüe** (FPyC) que está relacionada geográficamente y en parte genéticamente con la actividad del arco magmático andino.

Se visitó el sitio y se tomaron datos e imágenes del mismo para complementar la visión antropomórfica del sitio con la geología.

Objetivos

El objetivo principal es divulgar el conocimiento científico geológico de sitios de interés en el departamento, seleccionándolos a lo largo de la RN 40 y cercanos a la misma. De esta forma promocionamos el aprovechamiento turístico-científico de los sitios escogidos y fortalecemos el mérito geológico del lugar, así como su geoconservación, generando un enriquecimiento a las distintas miradas desde el punto de vista geológico. Recopilamos información preexistente y la analizamos en busca de las características más destacables, luego visitamos el sitio para tomar fotografías y visualizar los detalles de interés in situ. Por último trabajamos en generar material informativo con todo lo recopilado; que quedara a disposición del público en formato de cartelería e informes.

Hipótesis

Este lugar tiene el potencial de utilizar la geodiversidad que posee con la cual se le resalta el valor turístico, científico, y cultural. Además de las características geográficas singulares que lo representan y lo diferencian del entorno. Desde el punto de vista geológico podemos reconocer, interpretar y comunicar sobre diversos aspectos acontecidos a lo largo de la historia de nuestro planeta, de los procesos que lo han modelado, de sus paisajes actuales y pasados, del origen y evolución de la vida en cada sitio elegido. En este trabajo se tiene el objetivo que el guía pueda aprovechar la información geológica aportada por el mismo para complementar la información que se da al turista.

Marco teórico

El área analizada Fig. 1 ocupa los faldeos orientales de la cordillera Principal, y se destaca por una formación rocosa de origen volcánico-sedimentario, ubicada sobre la margen derecha del río Malargüe y en las vertientes del Cerro Algodón, de 2163 m.s.n.m.

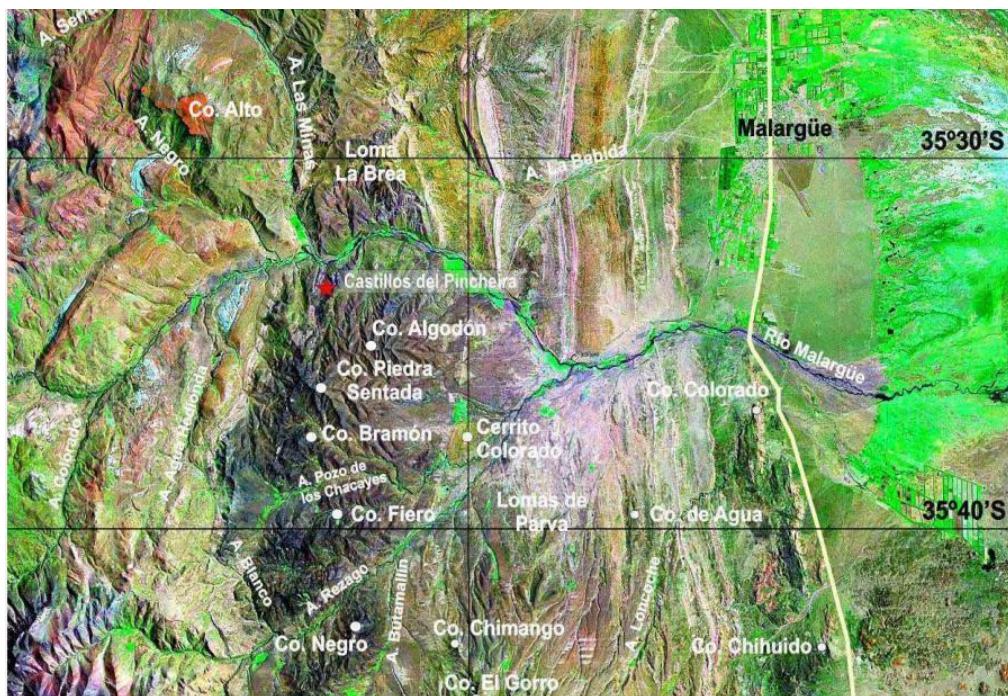


Fig. 1: Imagen satelital Landsat TM con elementos geográficos. Escala 1:200.000. Sacado de una imagen de la tesis doctoral de Arcila Gallego, Paula Alexandra

Se los llama “castillos” por las geoformas que elaboró la erosión que le otorgan similitud con este tipo de construcciones humanas. En el área abundan las bardas, que son formaciones rocosas con pendientes abruptas de escasa altura y que pueden considerarse como sectores de la meseta patagónica que resistieron la acción de los agentes erosivos. Al pie de estos se observa una gran variedad de conos de derrubio, es decir acumulaciones de fragmentos de roca que proceden de lugares más elevados, generalmente desplazados de su sitio originario. La acción combinada de los agentes erosivos, principalmente agua y viento, y la diferente resistencia de los materiales que le componen, provocaron esta multiplicidad de formas características del paisaje. Si bien el lugar ha sido reconocido como una reserva paisajística por su geomorfología, este estatus no es muy conocido ni aplicado en cuanto a la conservación que supone dicho nombre.

La constitución geológica-estructural de la cordillera es compleja y está asociada estrechamente a su pasado geológico, que originó distintas unidades de relieve sobre las que

actuaron los agentes climáticos. En el sector oeste de los macizos montañosos, se ve el producto de ingresiones marinas, en el cual ocurrieron ciclos de sedimentación que, junto con mantos de rocas eruptivas, fueron plegados y fallados para luego elevarse durante la **orogenia andina** formando la Cordillera Principal, proceso que aún está desarrollándose (Atlas Físico, 1982). En la Fig. 2 se pueden observar las distribuciones de las provincias geológicas en Argentina y en la Fig. 3 la ubicación de la faja corrida y plegada de Malargüe.

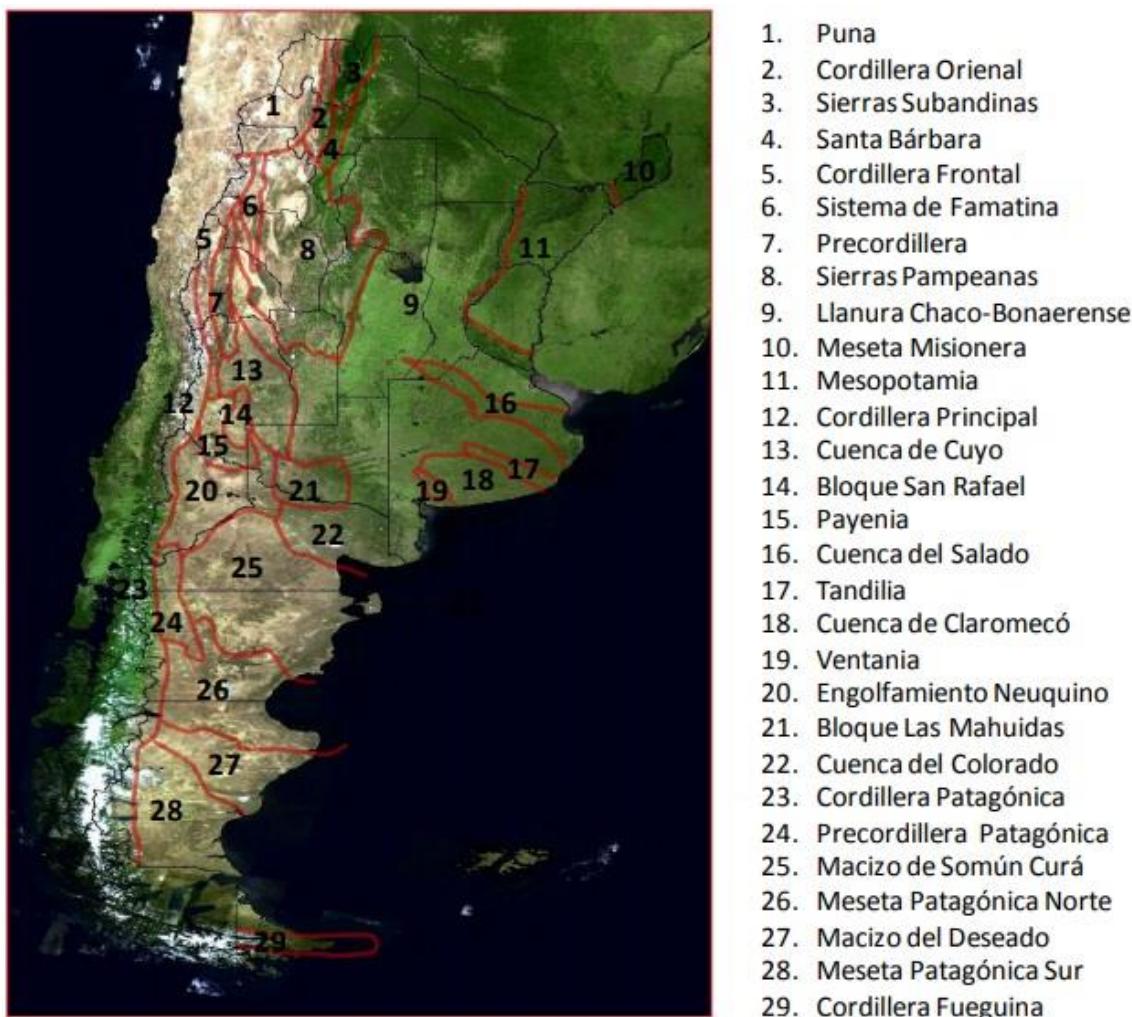


Fig. 2: Ubicación de las provincias geológicas en argentina. Imagen tomada del trabajo de Nuccetelli G., y Deluchi M., en el capítulo v: Provincias Geológicas del trabajo “Cuaternario y geomorfología de Argentina: Distribución y características de los principales depósitos y rasgos geomorfológicos”

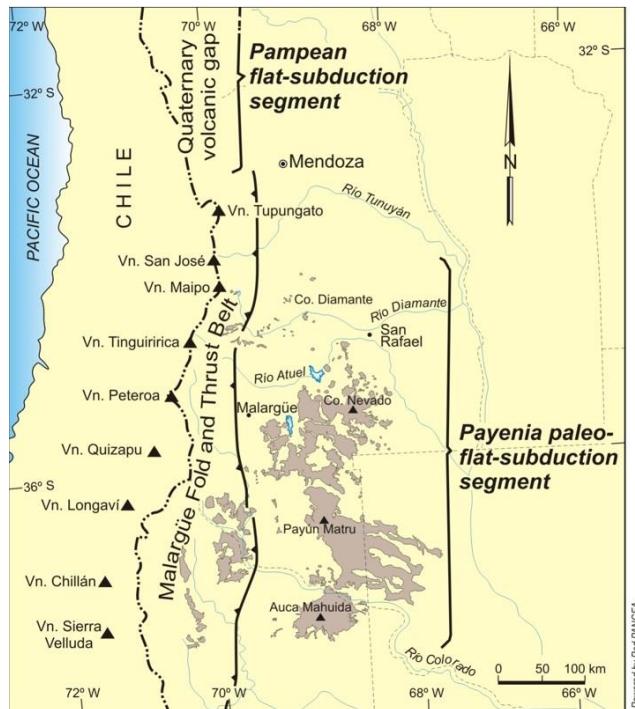


Fig. 3: Ubicación de la faja corrida y plegada de Malargüe. Imagen tomada del trabajo de Ramos, V.A., Litvak, V., Folguera, A. y Spagnuolo, M. 2014. An Andean tectonic cycle: from crustal thickening to extension in a thin crust (34°-37°SL). Geoscience Frontiers 5: 351-367.

Las secuencias sinorogénicas en los depocentros Horqueta, Pincheira y Ventana, alcanzan los 1.200 metros de espesor con depósitos de naturaleza volcánica, volcanoclástica, epiclástica, y en menor medida de fluvial a lacustre, representados en las unidades litoestratigráficas de las Formaciones Molle, Agua de la Piedra, Butaló, Loma Fiera, Pincheira, Bramón y Coyocho. La cuenca Pincheira-Ventana, está rellena por dos secuencias volcanoclásticas cubiertas por basaltos. En el sector occidental de esta cuenca, las secuencias se adelgazan hacia los anticlinales de La Valenciana y Torrecillas en el oeste y hacia los retrocorrimientos de La Brea en el este, desarrollando discordancias progresivas observadas en el campo. En el sector oriental de la cuenca, el arreglo de facies, la composición de los clastos y la presencia de discordancias sugieren una proveniencia desde el **anticlinal** Bardas Blancas en el oeste.

La cuenca Pincheira-Ventana se desarrolla enteramente al oeste del anticlinal Malargüe. La existencia de dos depocentros principales separados por altos internos, divide a esta cuenca en dos sectores. El sector oeste (CP-CB) que es la zona de interés Fig. 4, se desarrolla entre los cerros LB-DJ y al este de los anticlinales TLV-BB. Los afloramientos más representativos de este sector se encuentran en las proximidades de los Castillos de Pincheira, en las márgenes del río Malargüe.

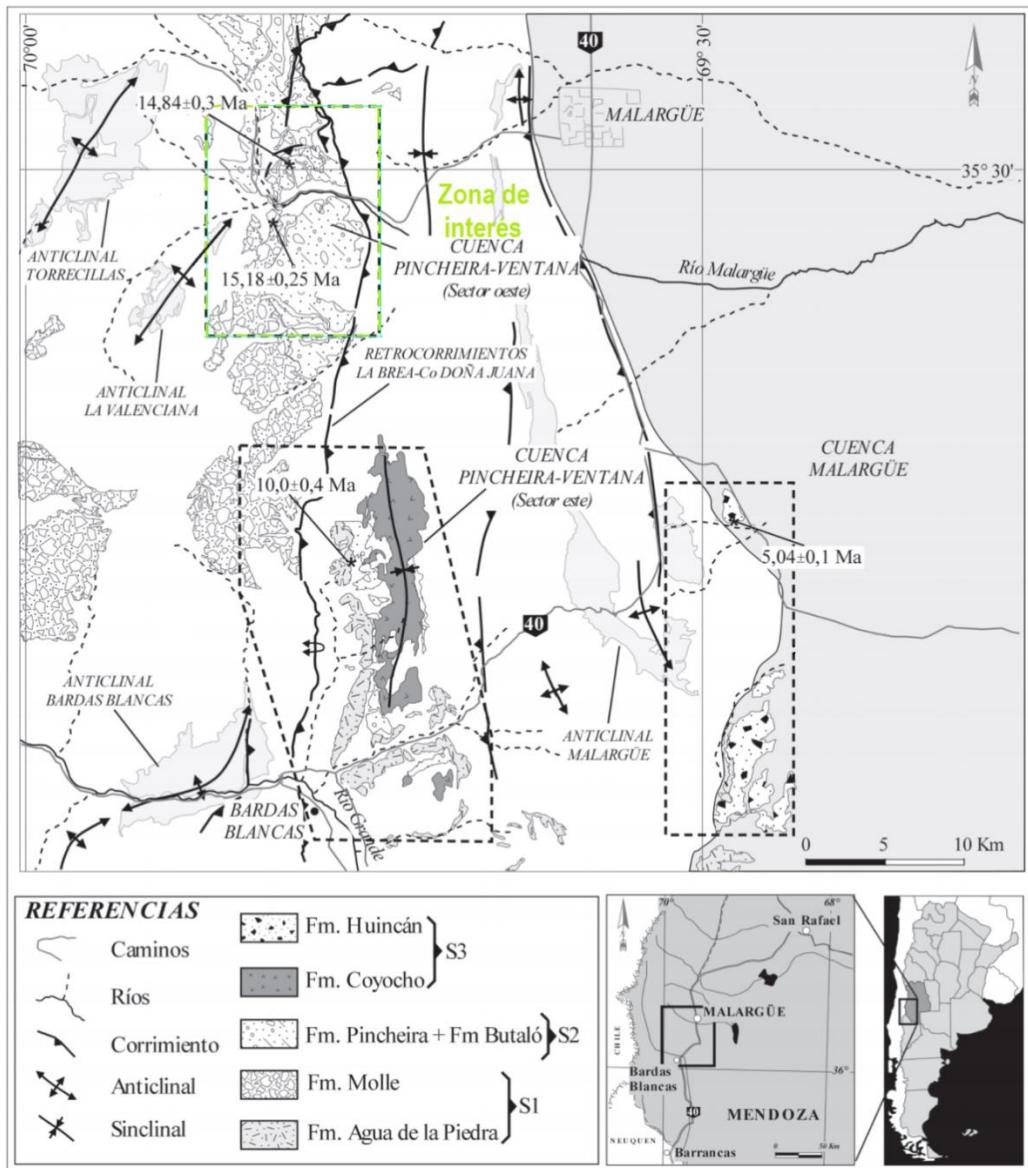


Fig. 4: Ubicación de las cuencas terciarias sinorogénicas: en el sector oeste la cuenca del Mioceno medio-superior de Pincheira-Ventana y en el sector este la cuenca Malargüe del Mioceno superior-Plioceno, con las principales secuencias reconocidas. Se muestra también la ubicación de los niveles datados y las edades obtenidas. Imagen tomada del trabajo de Silvestro, J., Kraemer, P., Achilli, F. y Brinkworth, W.,

La parte inferior de esta secuencia está constituida por brechas piroclásticas andesíticas con intercalaciones en los niveles superiores de areniscas y paraconglomerados tobáceos, que llegan a desarrollar hasta 300m de espesor en la zona central de la cuenca. En este caso las **dataciones radiométricas** $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ de mantos de basaltos presentes en la parte inferior de la secuencia arrojan edades de 15.18 ± 0.25 Ma, 14.38 ± 0.10 Ma, 14.78 ± 0.24 Ma y 14.84 ± 0.3 Ma por Silvestro et al. (2005). También se han reconocido restos de plantas con delgadas intercalaciones de areniscas, restringidas a la zona central de la cuenca. Las paleocorrientes indican una dirección de aporte desde el S-SW. Por encima se observa

una abrupta aparición de paraconglomerados con bloques del Gr. Neuquén y depósitos caóticos de deslizamiento procedentes desde el este. Cabe mencionar que el orden estratigráfico ideal sería el que se ve en la Fig. 5, sin embargo, no es así ya que existen discordancias.

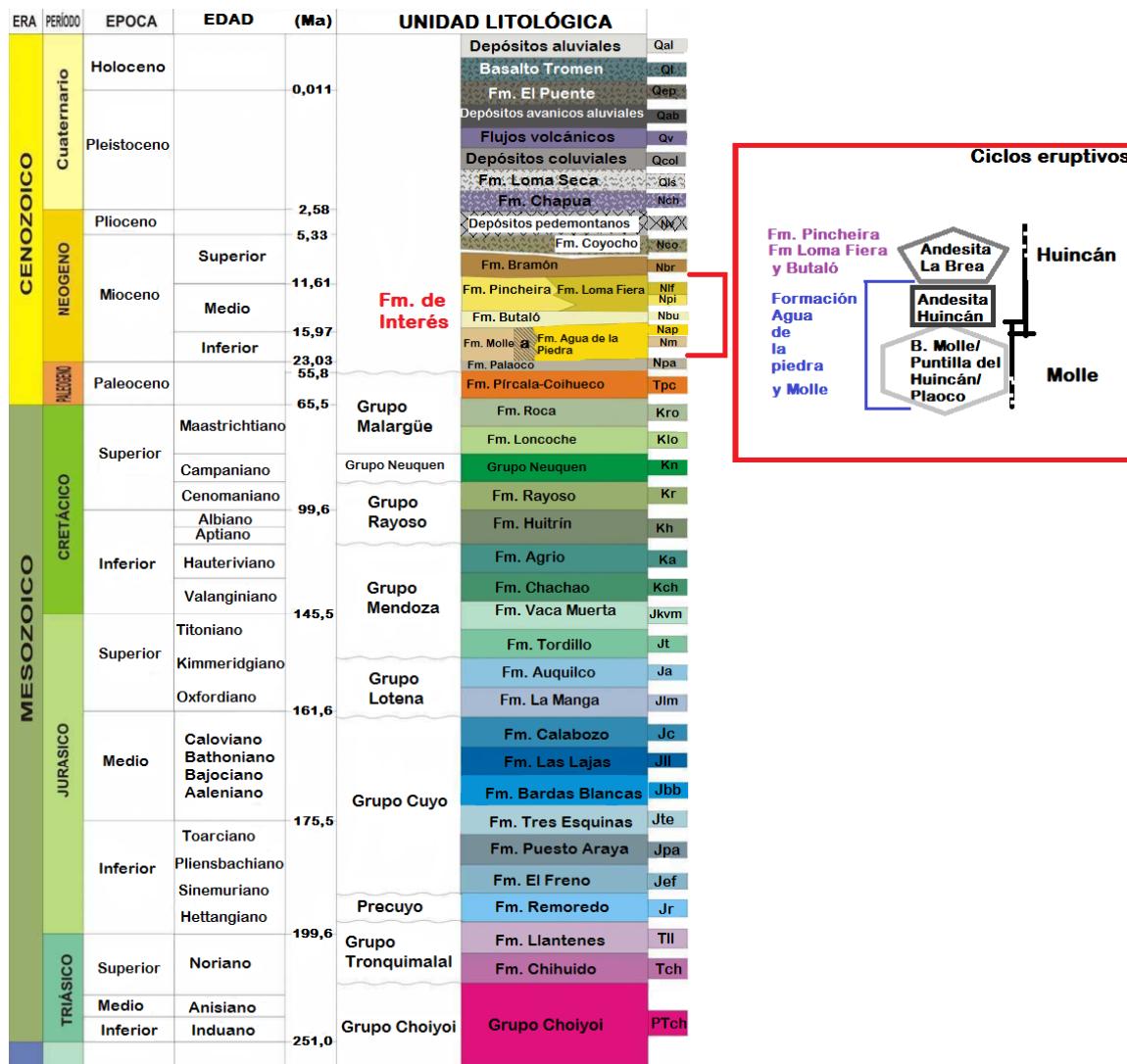


Fig. 5: Columna estratigráfica tomada de la tesis doctoral de Arcila Gallego, Paula Alexandra

Desarrollo

Para ponernos en contexto separaremos en los dos ciclos eruptivos las formaciones del lugar por antigüedad, además de mencionar un poco la litología e interpretación de cada una de ser posible. Se puede destacar lo interesante que resulta verse inmerso en cada acontecimiento y la interpretación de los sucesos que han ido moldeando el paisaje, no solo aplicables a este sitio sino a todos los que posean las formaciones caracterizadas a continuación.

Ciclo Eruptivo Molle (Del Oligoceno al Mioceno Temprano)

Las volcanitas reconocidas del Ciclo Eruptivo Molle en esta región están formadas de modo preponderante por coladas basálticas mantiformes y subordinadamente andesitas y riolitas. Lo integran en este sector, el Basalto Molle, Basalto Puntilla de Huincán, Basalto Palaoco, el Complejo Volcánico Cordón del Burrero y basaltos del Cajón de los Caballos nominados de acuerdo a las localidades de sus afloramientos.

La formación Agua de la Piedra: está caracterizada por una sucesión de areniscas tobáceas, tobas, conglomerados en alternancia regular y pelitas intercaladas con tobas. En la base incluye los “Rodados Lustrosos”, los que la separan del Grupo Malargüe, o, más comúnmente, de las formaciones Pircala y Coihueco (Criado Roque, 1950; Dessanti, 1973, 1978; Gorroño et al., 1979; Volkheimer, 1978; Bettini, 1982; Kozlowski, 1984; Yrigoyen, 1993; Combina, 1996), y se nota la presencia de fósiles típicos como *Pyrotherium Ameghino, 1888* y *Proborhyaena gigantea Ameghino, 1897* (Gorroño et al., 1978).

La distribución de las diferentes litofacies de la Formación Agua de la Piedra descritas dentro de un esquema de **abanco aluvial**, permite distinguir que éstas se encuentran comprendidas dentro de un abanco medio a distal. El material aportado a este sistema aluvial, provino del “Huincanlitense” y de las sedimentitas de edad mesozoica, las cuales fueron elevadas por la acción de los primeros pulsos de levantamiento de la faja corrida y plegada (Combina et al., 1997).

La formación Molle: corresponde a una secuencia que varía su espesor de 550m a 50m, acuñándose de forma lateral hacia el norte. Está conformada por capas muy gruesas a

gruesas de brechas líticas monomícticas a polimícticas, andesíticas a andesíticas basálticas con intercalaciones de tobas líticas a lapillíticas masivas andesíticas.

Ciclo Eruptivo Huincán (Del Mioceno Temprano al Mioceno Tardío-Plioceno)

Este desarrolla un volcanismo de composición principalmente andesítica posterior al Ciclo Eruptivo Molle, su actividad comenzó aproximadamente a los 20 Ma con la intrusión de diques. Sus períodos de mayor actividad ocurrieron en dos pulsos, uno comenzó aproximadamente a los 12,5 y el otro aproximadamente a 5,9 Ma. La actividad magmática más antigua tuvo lugar con el Complejo Intrusivo Puchenque- Atravesada, con un rango de edad entre 20 y $12,5 \pm 1$ Ma, determinado por $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ sobre roca total. También dentro de este ciclo se ubica Andesita Huincán. Litología: andesitas, basaltos, basandesitas, dacitas y cuerpos porfídicos.

La Formación Pincheira: fue definida por Criado Roque (1950) para los afloramientos que se ubican sobre el río Malargüe, con espesores superiores a los 400 m. Este potente paquete volcanoclástico está integrado por una sucesión de tobas, tobas aglomerádicas, aglomerados volcánicos de composición andesítica a basandesítica y conglomerados de coloración pardo amarillento a blanquecino, interpretada como depósitos de ignimbritas, oleadas piroclásticas, sistemas fluviales y **lahares**. Cabe destacar la presencia de carbonatos sinsedimentarios de origen hidrotermal, en la formación Pincheira lo que se relaciona con fenómenos de hidrotermalismo contemporáneos al volcanismo. El espesor de la Formación Pincheira es de aproximadamente 500 metros. Los depósitos de carbonatos sinsedimentarios (**travertinos**), intercalados en la sección basal de la Formación Pincheiras (Combina *et al.*, 2006; Combina y Nullo, 2010), señalan la presencia de '**hot springs**', con aguas termales subterráneas enriquecidas en CO_2 durante este tiempo, que probablemente generaron pequeños cuerpos ácueos de baja energía. En la localidad del mismo nombre la unidad tiene su mejor exposición, presentándose una transición hacia litofacies sedimentarias en comparación con las litofacies previamente descritas en la región sur con afinidad volcanoclástica.

La geología de la Ruta 40, un aporte de la FCEyN para Malargüe.

Autor: Arroyo Ivana.



Imagen tomada del afloramiento de la brecha volcánica correspondiente a base de la Formación Pincheira, en un arroyo cercano en el camino a los Castillos.



Imagen tomada del afloramiento de la base de la Formación Pincheira, en un arroyo cercano en el camino a los Castillos, se puede observar un dique.



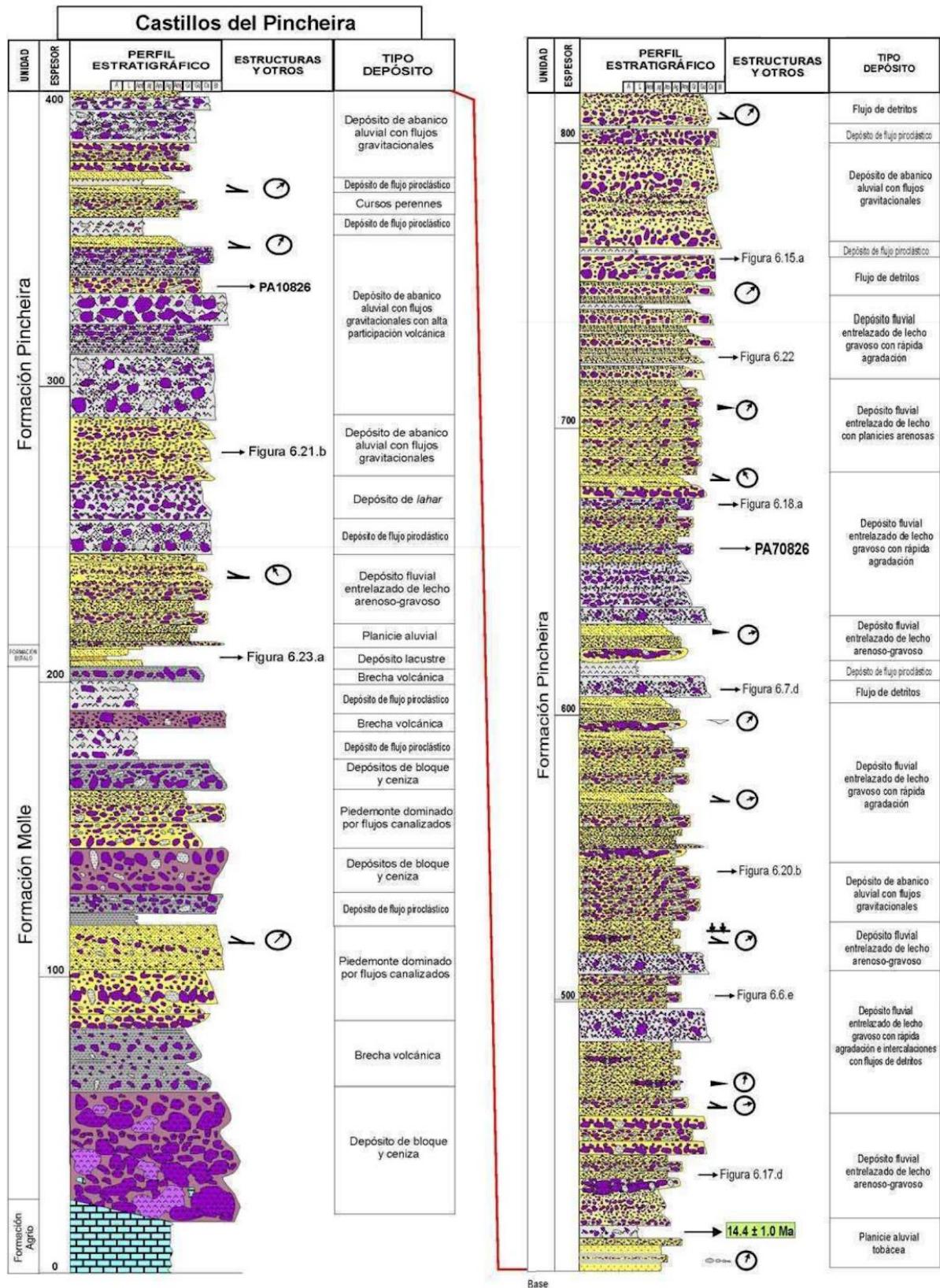
Imagen tomada de la formación Pincheira en lo que se conocería como barda.

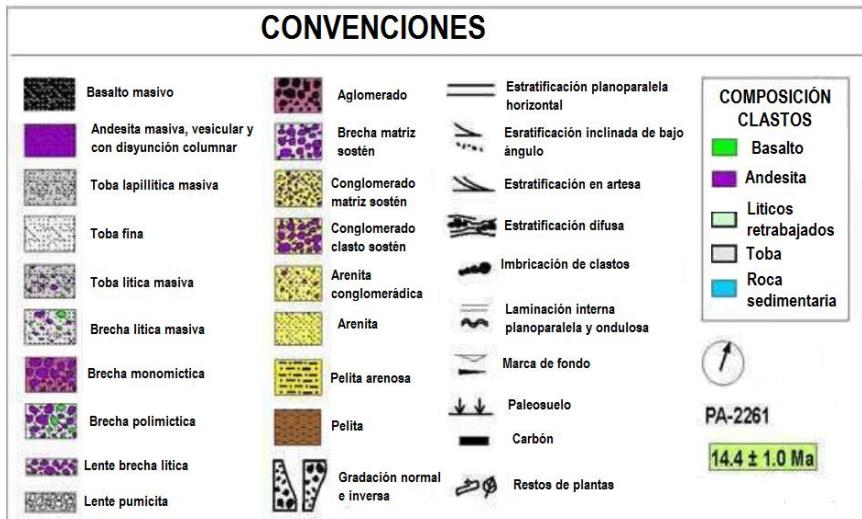


Imagen tomada de la parte media de la formación Pincheira.



Imagen tomada de los Castillos, donde se puede apreciar completa la formación Pincheira. Desde su base hasta su techo.





Perfil estratigráfico sección Castillos de Pincheira unidades sinorogénicas en la cuenca Pincheira, obtenido de la tesis doctoral de Arcila Gallego, Paula Alexandra

Interpretación paleoambiental: En la región sur las asociaciones de litofacies pueden ser interpretadas como depósitos de brechas volcánicas, bloque y ceniza, flujos piroclásticos densos proximales a distales y coladas volcánicas con desarrollo de depósitos de abanicos aluviales dominados por flujos gravitacionales. Las asociaciones de litofacies indican un mayor establecimiento de los depósitos de abanico aluvial, e instalación de depósitos fluviales entrelazados de lecho gravoso con el desarrollo de fajas de canales incipiente, con un permanente aporte de material volcánico, interpretado a partir de la presencia de las asociaciones de litofacies volcanoclásticas como depósitos de lahar, bloques y cenizas y flujos piroclásticos densos. En algunos sectores, hay presencia de brechas líticas monomicticas andesíticas que alcanzan 50 m de espesor, asociadas a coladas y brechas volcánicas, en una posición proximal a centros eruptivos. Las direcciones de paleocorrientes (N50E – N10E) indican la posición del área de aporte al suroeste – sur. La secuencia en la sección inferior presenta litofacies que pueden representar depósitos de abanicos aluviales dominados por flujos gravitacionales, con una marcada influencia de actividad volcánica, vinculada a la presencia de depósitos de lahar y depósitos de flujos piroclásticos densos. En algunos sectores las asociaciones de litofacies son interpretadas como depósitos fluviales entrelazados de lecho gravoso-arenoso. La sección media presenta asociaciones de litofacies interpretadas como el establecimiento de depósitos fluviales entrelazados, lecho gravoso-arenoso con desarrollo de canales con paleosuelos preservados y presencia de flujos gravitacionales con una transición en algunos sectores, a condiciones de planicie aluvial en condiciones de rápida agraciación. Los sistemas fluviales entrelazados continúan en la zona favoreciendo la instalación de

planicies arenosas y fajas de canales. Hacia el tope se encuentran depósitos de abanicos aluviales con flujos gravitacionales y cursos perennes, donde la participación de clastos de origen sedimentario aumenta a un 30%. Coetáneamente, la actividad volcánica en la zona se intensifica asociado a las intercalaciones de depósitos de flujos piroclásticos.

Fm. Loma Seca: Combina y Nullo (2000) describieron la unidad conformada por tobas de lapilli, arenitas tobáceas y conglomerados en tonalidades rosa, gris y blanco pálido, que fueron generadas por una secuencia de flujos piroclásticos secos y lahares relacionados entre sí. Se le asigna una edad miocena superior y consideran que la unidad fue depositada en un ambiente compresivo, durante la evolución de la cuenca de antepaís y es contemporánea al volcanismo presente en esa área Combina y Nullo (2005). La unidad se encuentra aflorando en la cuenca Sierra de La ventana.

Interpretación paleoambiental: Las litofacies descritas en la sección basal pueden interpretarse como depósitos aluviales de piedemonte dominado por flujos gravitacionales con variación a depósitos de abanicos aluviales dominados por corrientes fluviales y canales efímeros con pulsos volcanoclásticos proximales. En la sección media hay un cambio en las asociaciones de litofacies interpretados como depósitos fluviales entrelazados con variaciones laterales a depósitos de abanicos aluviales dominados por flujos gravitacionales con una alta participación de pulsos volcanoclásticos proximales a distales, vinculados a actividad volcánica coetánea. Las asociaciones de litofacies en la parte cuspidal pueden ser interpretadas como depósitos de abanicos aluviales dominados por flujos gravitacionales, depósitos fluviales entrelazados con lecho arenoso-gravoso y variaciones laterales a depósitos de abanicos aluviales con cursos perennes y flujos gravitacionales. El área fuente se asocia a diferentes centros efusivos ubicados al oeste y suroeste, de acuerdo a las direcciones de paleocorrientes (N70E – N30E) con gran actividad volcánica asociado a los espesores de los flujos piroclásticos densos (Branney y Kokelaar, 2002).

Metodología o estrategia de trabajo

El trabajo fue realizado en dos etapas que se llevaron a cabo tanto en gabinete como en campo. En el trabajo de gabinete se recopilaron y analizan los antecedentes de trabajos científicos relacionados al sitio acompañado de un profundo análisis bibliográfico, como también se realizaron algunas encuestas y entrevistas a habitantes cercanos que otorguen conocimientos sobre la historia del lugar. También se realizaron entrevistas a personal de informes de la entidad coparticipante, y a guías de turismo intentando conocer las consultas que suelen recibir. Luego se realizó una visita de campo relevando el contexto geológico del lugar elegido, identificando rasgos de interés *in situ* y tomando fotografías representativas de los mismos y otra información complementaria. Posteriormente se integró toda la información para diseñar un informe y cartelería para su difusión *in situ*, y en redes sociales. La presentación de las provincias geológicas donde se centra el lugar de trabajo, mapa geológico de Mendoza, variedad de rocas, procesos geológicos desarrollados en distintos períodos de su historia evolutiva, secuencias sedimentarias vinculados a mares someros, cuencas asociadas a un arco magmático y todo aquello que da lugar a la actual configuración geológica de la provincia.

Conclusión

Se pudo establecer que el sitio presenta una importancia geomorfológica muy destacable e interesante, además de la historia que esta tiene en la formación Pincheira que es la más destacada. Se recopilo información de varias autorías muy congruentes con el sitio de interés, y se resaltó el valor geológico que no había sido tenido en cuenta hasta la fecha. Pudimos realizar una buena presentación del mismo hacia el público que quedara plasmada en cartelería, a la cual se le adjunta el presente documento como extra informativo.

Agradecimientos

Quiero agradecer a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Cuyo que aporto la financiación del proyecto, y a la Dirección de Promoción y Políticas Turísticas de la Municipalidad de Malargüe por su colaboración en el mismo.

También a las profesoras Sandra Sánchez por su ayuda técnica con el informe y Fernanda Olivier en correcciones de la traducción.

Por último, quiero agradecer nuestros profesores Diego Cattaneo y Martín Flores quienes con sus conocimientos, paciencia y apoyo nos guiaron a través de cada una de las etapas de este proyecto.

Muchas gracias a todos.

Glosario

Abanico aluvial: es un depósito de sedimentos en forma de abanico que se crea cuando la pendiente de una corriente fluvial disminuye abruptamente.

Arco volcánico continental: montañas formadas en parte por la actividad ígnea asociada con la subducción de la litosfera oceánica por debajo de un continente. Son ejemplos los Andes y la cordillera Cascade.

Brecha: roca sedimentaria compuesta de fragmentos angulosos.

Conglomerado: roca sedimentaria compuesta de granos redondeados del tamaño de la grava.

Datación radiométrica: procedimiento de cálculo de la edad absoluta de las rocas y de los minerales que contienen ciertos isótopos radiactivos.

Datación relativa: ordenación de las rocas y de las estructuras geológicas según una secuencia u orden adecuado. Sólo se determina el orden cronológico de los acontecimientos.

Euxínico: término que se aplica para describir un medio caracterizado por la presencia de grandes volúmenes de agua estancada, desoxigenada y en condiciones reductoras. Los sedimentos característicos son fangos piríticos, carbonosos, de color negro.

Faja plegada y corrida de Malargüe: este es un cinturón orogénico de piel gruesa desarrollado principalmente en el Mioceno- Plioceno durante la orogenia andina.

Hot spring: ambiente resultante de la expresión subaérea de un sistema hidrotermal asociado a un ambiente volcánico, en el que las aguas subterráneas interceptan la superficie.

Lahar: coladas de derrubios originadas en las pendientes de los volcanes que se producen cuando capas inestables de ceniza y derrubios se saturan en agua y fluyen pendiente abajo, siguiendo normalmente los cauces de los ríos.

Orogénesis: los procesos que, en conjunto, tienen como consecuencia la formación de montañas.

Paleocorriente: corriente que existió durante la deposición de un sedimento en algún período determinado de la historia geológica, es la evidencia de la dirección del flujo en el momento en el que el sedimento fue depositado.

Pilotáxica: textura compuesta de cristales afiltrados de forma acicular y alargada, que a veces presenta una estructura fluidal (Cf. traquítica, -co, Traquita). La textura hialopilitica es una variedad de la pilotáxica en la que el fieltrillo de los cristales o cristalitos se dispone sobre una base vítreas.

Provincia geológica: una región caracterizada por una determinada sucesión estratigráfica, un estilo estructural propio y rasgos geomorfológicos peculiares, siendo el conjunto expresión de

una particular historia geológica (Rolleri, 1976). Los límites entre las diferentes provincias pueden ser transicionales.

Retro arco: es el área detrás de un arco volcánico en una zona de subducción. El retroarco puede alternativamente estar bajo extensión y desarrollar una cuenca rift, o bajo compresión y originar una faja plegada y corrida, con sucesivas fallas que amontonan láminas tectónicas dirigidas hacia el interior del continente.

Rift: zona de la corteza terrestre en la que, a consecuencia de la divergencia de placas tectónicas aparecen fallas y fisuras.

Travertino: forma de caliza (CaCO_3) que es depositada por manantiales calientes o como un depósito cárstico.

Bibliografía

Gallego, P. A., 2010. Los depósitos sinorogénicos del sur de Mendoza y su relación con la faja plegada y corrida de Malargüe (35° -36°S), Mendoza, Argentina. Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires.

Silvestro, J. and Kraemer, P., 2005. Evolución tecto- sedimentaria de la cordillera principal en el sector sur mendocino a los 35° 30'S. Faja plegada de Malargüe. República Argentina.

Combina, A. and Nullo, F., 2011. Ciclos tectónicos, volcánicos y sedimentarios del Cenozoico del sur de Mendoza-Argentina (35°-37°S y 69°30'W).

Silvestro, J., Kraemer, P., Achilli, F. and Brinkworth, W., 2005. Evolución de las cuencas sinorogénicas de la Cordillera Principal entre 35°- 36° S, Malargüe.

Nullo, F., Stephens, G., Combina, A., Dimieri, L., Baldauf, P., Bouza, P., Zanettini, J. and Leanza, H., 2005. Hoja Geológica 3569-III/3572-IV Malargüe. [online]
Repositorio.segeman.gob.ar. Disponible en:
<https://repositorio.segeman.gob.ar/handle/308849217/157>

Table of contents

Introduction	25
Objectives.....	26
Hypothesis	27
Theoretical framework.....	28
Background and discussion	33
Molle Eruptive Cycle	33
Agua de la Piedra Fm.....	33
Molle Fm.	33
Huincán Eruptive Cycle.....	34
Pincheira Fm.....	34
Loma Seca Fm.	40
Methodology or work strategy.....	41
Conclusion.....	42
Acknowledgments	43
Glossary	44
Bibliography.....	46

Introduction

The studied site is located in the south of the Province of Mendoza, in the Department of Malargüe. It is about 27 kilometers away from the city, you can access it from RN40 called Av. Gral. San Martín through Fortín Malargüe Street following it in a westerly direction. It is easily accessible by a consolidated road; its geographical coordinates are 35°31'13"S and 69°47'46"W. With a height of 1860 m.a.s.l.m. approximately.



Image obtained from google maps.

It is a protected area of about 650 hectares approximately, whose geological formations, known as castles, were declared Natural Monuments for their scenic beauty and geomorphological value. The site was declared as a protected landscape reserve on 22 June 1999, although such protection is not present to the extent that the designation of this category would entail. Its located in the **geological province** of Cordillera Principal with the characteristical features of the structuring of **Malargüe fold-and-thrust belt** (FTB) which is geographically and partly genetically related to the activity of the Andean magmatic arc.

We visited the site and took data and images of it to complement the anthropomorphic view of the site with the geology.

Objectives

The main objective is to disseminate the geological scientific knowledge of sites of interest in the department, choosing them along RN40 and nearby. In this way, we promote the tourist-scientific interest, strengthen the geological merit of the site and geoconservation, generating an enrichment of the stakeholders from the geological point of view. We researched previous information and analyzed it finding the most outstanding characteristics, and then we visited the place to take pictures and visualize in situ those interesting details. Lastly we worked to generate informative material with all the things we found; it will be available to general public in posters and reports.

Hypothesis

This place has the potential to use its geodiversity with which the touristic, scientific, and cultural value is highlighted. That in addition to the unique geographical features that represent it and differentiate it from other environments. From the geological point of view, we can recognize, interpret and communicate about various aspects that have occurred throughout the history of our planet, the processes that have shaped it, its current and past landscapes, the origin, and evolution of life in each chosen site. This work aims to enable the guide to take advantage of the geological information provided to complement the information given to the tourist.

Theoretical framework

The analyzed area Fig. 1 occupies the eastern slopes of the Main Mountain Range and stands out for a rock formation of volcanic-sedimentary origin, located on the right bank of the Malargüe River and the sheds of Cerro Algodón, of 2163 m.a.s.l.m.

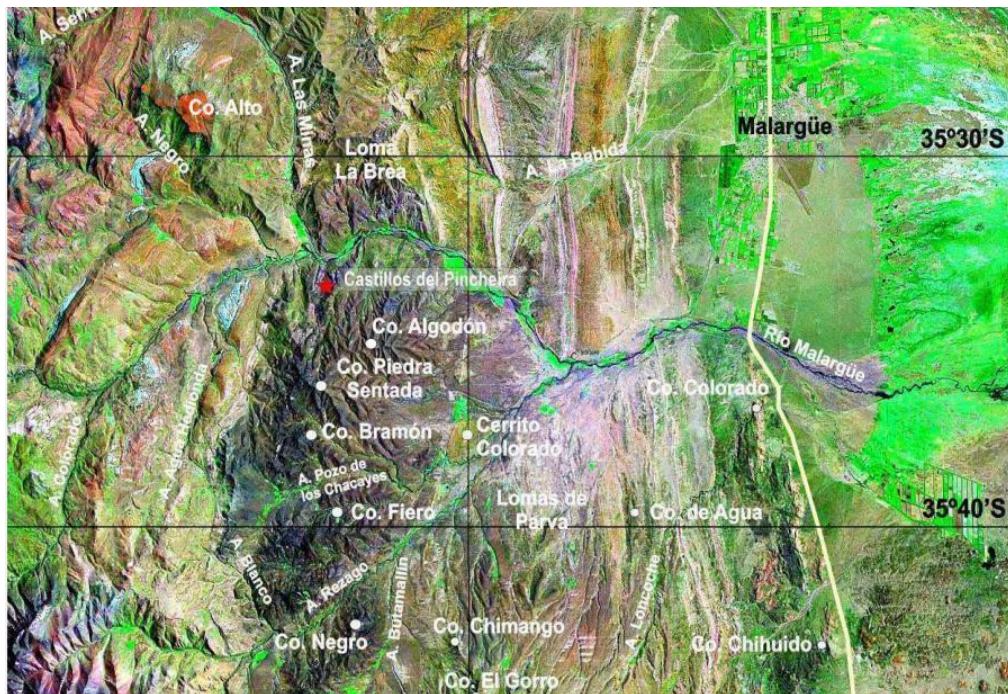


Fig. 1: Landsat TM satellite image with geographic elements. Scale 1:200,000. Taken from an image of the doctoral thesis of Arcila Gallego, Paula Alexandra

They are called "castles" because of the geoforms that resulted from the erosion that give it similarity with this type of human constructions. In the area there are abundant bards, which are rock formations with steep short slopes that can be considered as sectors of the Patagonian plateau that resisted the action of erosive agents. At the foot of these, there is a great variety of washout cones that are accumulations of rock fragments that come from higher places, usually displaced from their original site. The combined action of the erosive agents, mainly water and wind, and the different resistance of the materials that compose it, caused this multiplicity of forms characteristic of the landscape. Although the place has been recognized as a landscape reserve for its geomorphology, this status is not well known or applied in terms of the conservation that it should imply. While it is easily accessible, there is a lack of deeper knowledge about formational details to enhance its appeal.

The geological-structural constitution of the mountain range is complex and is closely associated with its geological past, which originated different relief units on which the

climatic agents acted. In the western sector of the mountain massifs, the product of marine ingressions is observed, in which sedimentation cycles occurred that, together with mantles of eruptive rocks, were folded and failed to then rise during the Andean **orogeny** forming the Main Mountain Range, a process that is still developing (Atlas Físico, 1982). In Fig. 2 shows the distributions of the geological provinces in Argentina and Fig. 3 shows the location of the Malargüe thrust and fold belt.

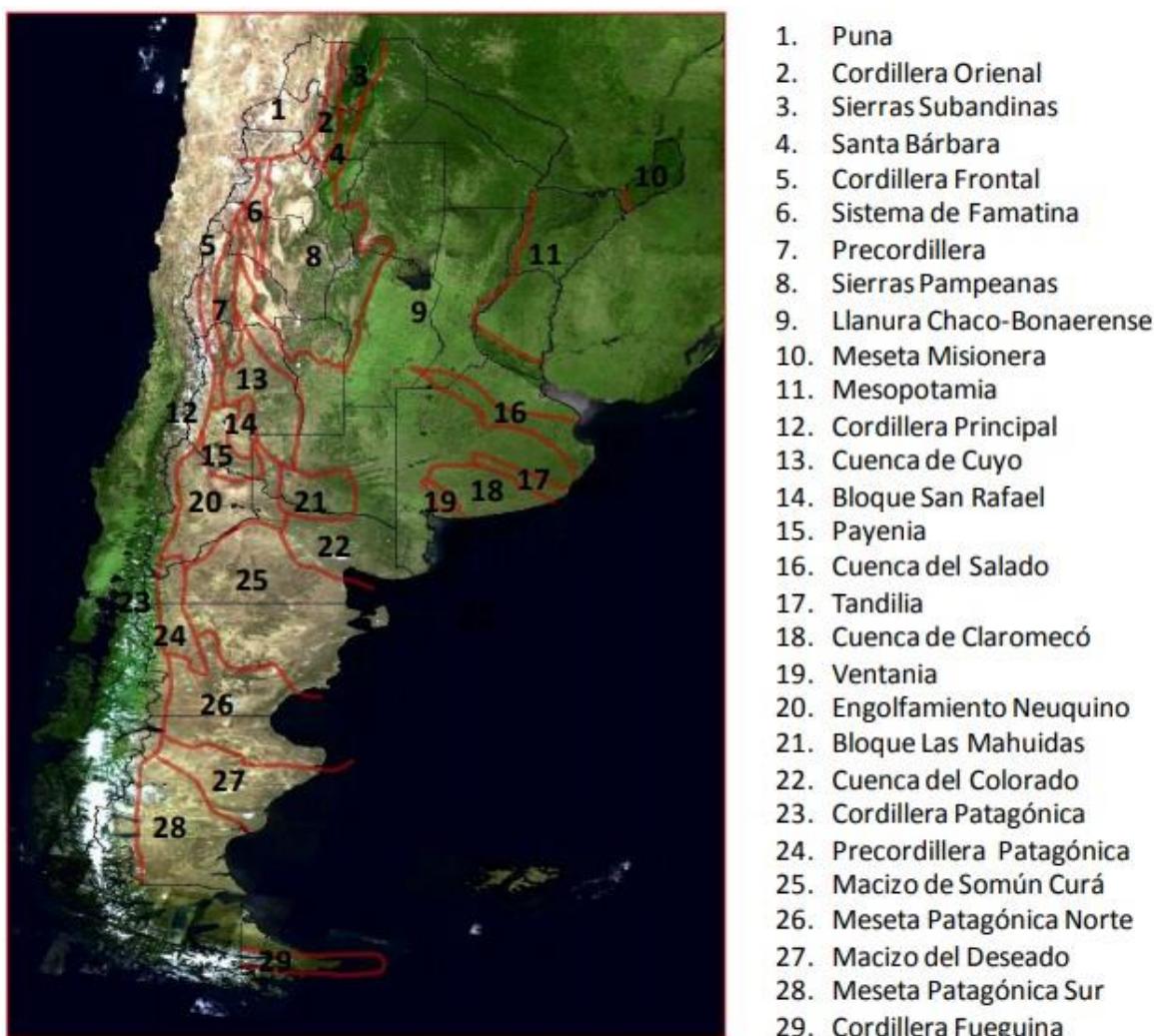


Fig. 2: Location of the geological provinces in Argentina. Image taken from the work by Nuccetelli G., and Deluchi M., in chapter v: Geological Provinces of the work "Quaternary and geomorphology of Argentina: Distribution and characteristics of the main deposits and geomorphological features"

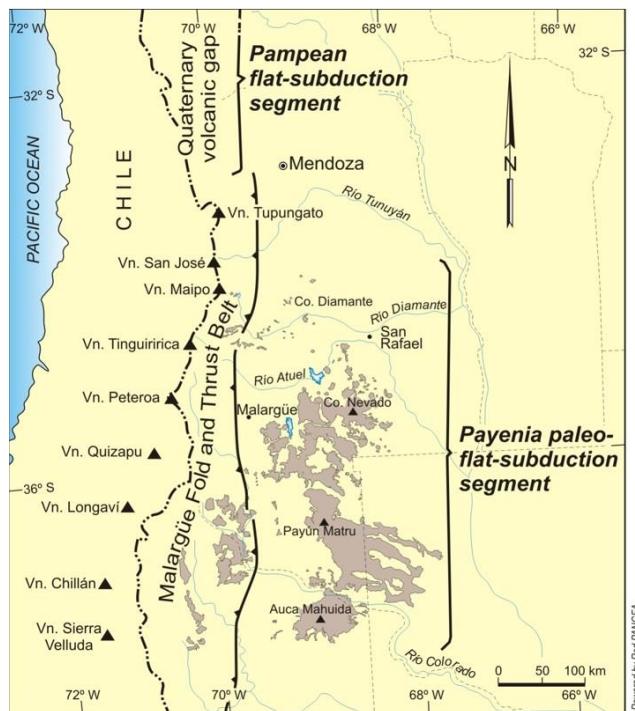


Fig. 3: Location of the Malargüe thrust and fold belt. Image taken from the work of Ramos, V.A., Litvak, V., Folguera, A., and Spagnuolo, M. 2014. An Andean tectonic cycle: from crustal thickening to extension in a thin crust (34°-37°SL). Geoscience Frontiers 5: 351-367.

The synorogenic sequences in the Horqueta, Pincheira and Ventana depocenters reach 1,200 meters thick with deposits of volcanic, volcanoclastic, epiclastic nature, and to a lesser extent from fluvial to lacustrine, represented in the lithostratigraphic units of the Molle, Agua de la Piedra, Butaló, Loma Fiera, Pincheira, Bramón and Coyocho Formations. The Pincheira-Ventana basin is filled with two volcanoclastic sequences covered by basalt. In the western sector of this basin, the thin sequences towards the anticlines of La Valenciana and Torrecillas in the west and towards the retro-landslides of La Brea in the east, developing progressive discordances observed in the field. In the eastern sector of the basin, the arrangement of facies, the composition of the clasts, and the presence of discordances suggest a derivation from the **anticline Bardas Blancas** in the west.

The Pincheira-Ventana basin develops entirely to the west of the Malargüe anticline. The existence of two main depocenters separated by high internal divides this basin into two sectors. The western sector (CP-CB) Fig. 4 which is the area of interest develops between the LB-DJ hills and east of the TLV-BB anticlines. The most representative outcrops of this sector are located in the vicinity of the Castles of Pincheira, on the banks of the Malargüe River.

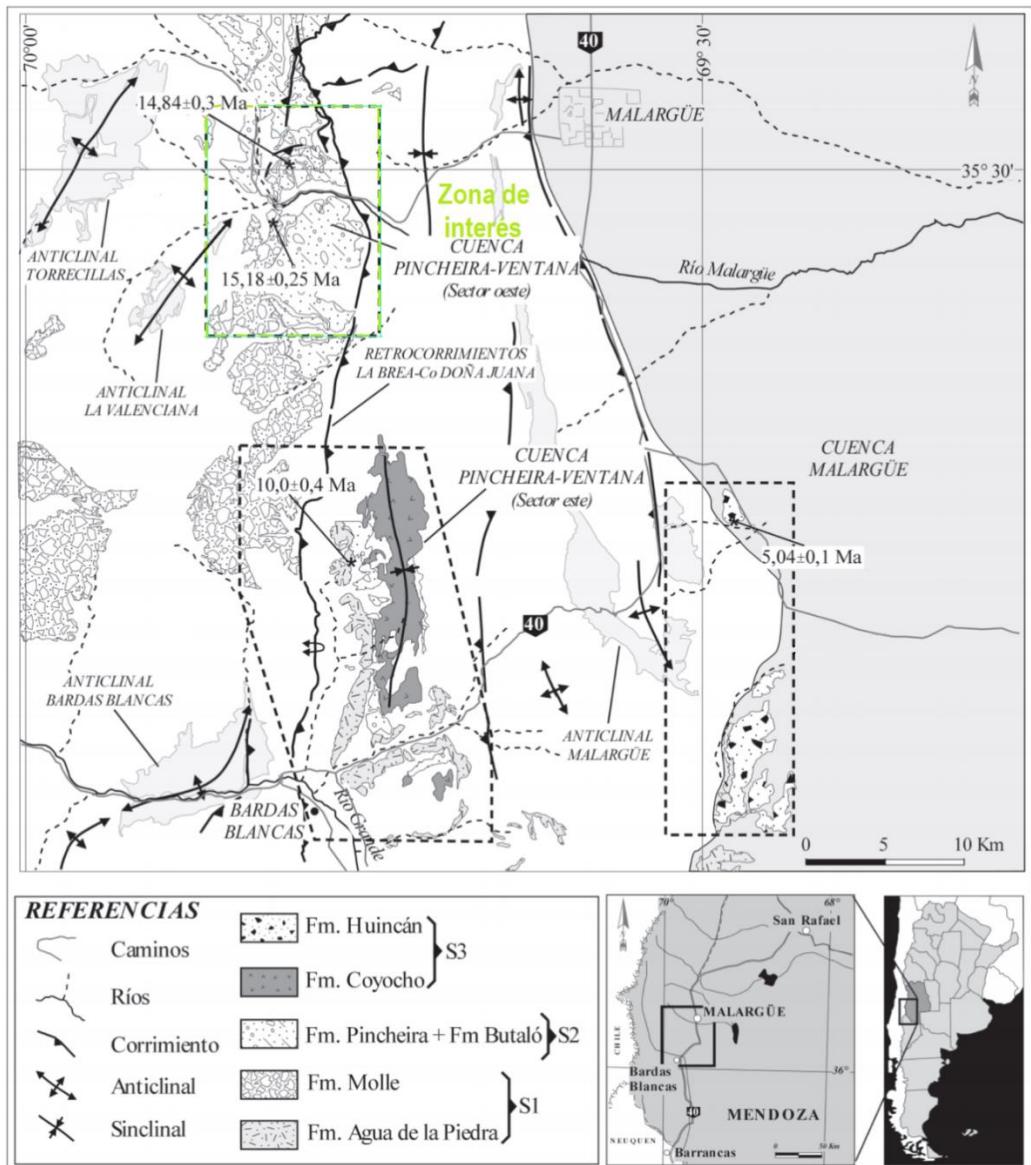


Fig. 4: Location of the tertiary synogenic basins: in the western sector the middle-upper Miocene basin of Pincheira-Ventana and in the eastern sector the Malargüe basin of the upper Miocene-Pliocene, with the main sequences recognized. It also shows the location of the levels dated and the ages obtained. Image from the work of Silvestro, J., Kraemer, P., Achilli, F. y Brinkworth, W..

The lower part of this sequence consists of andesitic pyroclastic breams with intercalations in the upper levels of sandstones and tobaceous paraconglomerates, which develop up to 300m thick in the central area of the basin. In this case the $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ **radiometric dating** of basalt mantles present at the bottom of the sequence yield ages of 15.18 - 0.25 Ma, 14.38 - 0.10 Ma, 14.78 - 0.24 Ma and 14.84 - 0.3 Ma by Silvestro et al. (2005). Plant remains with thin intercalations of sandstones, restricted to the central area of the basin, have also been identified. Paleocurrents indicate a direction of contribution from the S-SW. Above there is an abrupt appearance of paraconglomerates with blocks of Gr. Neuquén

and chaotic sliding deposits from the east. It should be mentioned that the ideal stratigraphic order would be the one seen in the Fig.5, however, this is not the case as there are discordances.

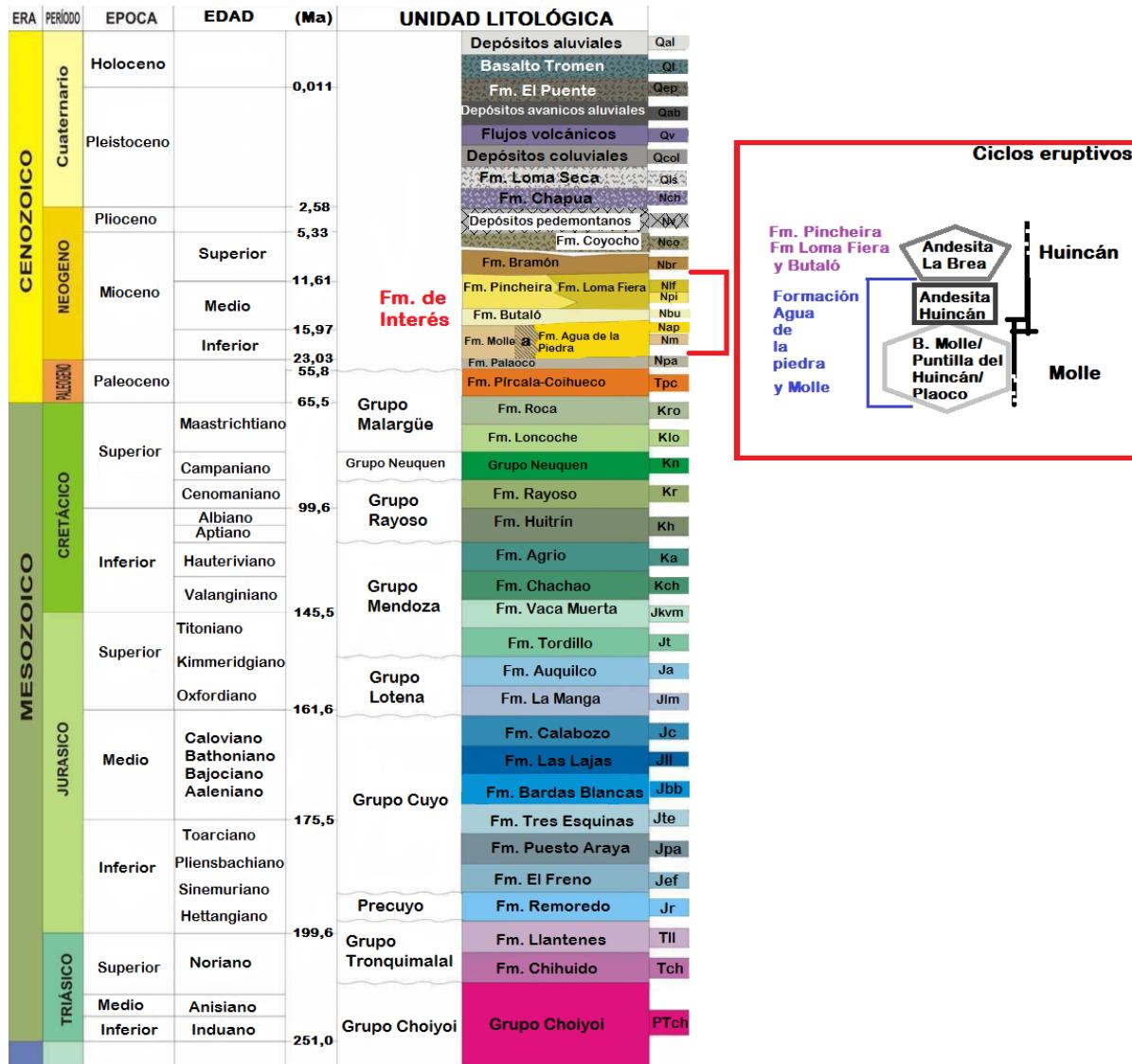


Fig.5: The stratigraphic column that was taken from the doctoral thesis of Arcila Gallego, Paula Alexandra

Background and discussion

To put ourselves in context, we will discuss the two eruptive cycles in the terms the formations of the place by antiquity, in addition to mention a little the lithology and interpretation of each one if possible. It is possible to highlight how interesting it is to be immersed in each event and the interpretation of those that have been shaping the landscape, not only in this site but in all those who possess the formations below.

Molle Eruptive Cycle (From the Oligocene to the Early Miocene)

The recognized volcanites of the Molle Eruptive Cycle in this region are predominantly formed by mantiform basaltic flow and subordinately andesites and rhyolites. It is integrated into this sector, the Molle Basalt, Puntilla de Huincán Basalt, Palaoco Basalt, the Cordón del Burrero Volcanic Complex and basalts of the Cajon de los Caballos are part of this sector, named after the locations of their outcrops.

Agua de la Piedra formation: it is characterized by a succession of tobaceous sandstones, tuffs, conglomerates in regular alternation, and pelites interspersed with tuffs. At the base it includes the "Rodados Lustrosos", those that separate it from the Malargüe Group, or, more commonly, from the Pircala and Coihueco formations (Criado Roque, 1950; Dessanti, 1973, 1978; Gorroño et al., 1979; Volkheimer, 1978; Bettini, 1982; Kozlowski, 1984; Yrigoyen, 1993; Combina, 1996), and is noted the presence of typical fossils such as Pyrotherium Ameghino, 1888 and Proborhyaena gigantea Ameghino, 1897 (Cap et al., 1978).

The distribution of the different lithofacies of the Agua de la Piedra Formation described within an **alluvial fan** scheme, allows us to distinguish that these are included within a medium to distal range. The material contributed to this alluvial system came from the "Huincanlitense" and the sedimentites of Mesozoic age, which were elevated by the action of the first lifting pulses of the thrust and folded belt (Combina et al., 1997).

Molle formation: it corresponds to a sequence that varies its thickness from 550m to 50m, wedging laterally to the north. It is made up of very thick to thick layers of monomictic to polymictic lithic breccias, andesitic to basaltic andesitic with intercalations of lithic tuffs to massive andesitic lapillitistics.

Huincán Eruptive Cycle (From the Early Miocene to Late Miocene-Pliocene)

This develops volcanism of mainly andesitic composition after the Molle Eruptive Cycle, its activity began at approximately 20 Ma with the intrusion of dikes. Its periods of greatest activity occurred in two pulses, one began at approximately 12.5 and the other at approximately 5.9 Ma. The oldest magmatic activity took place with the Puchenque-Atravesada Intrusive Complex, with an age ranging between 20 and 12.5 ± 1 Ma, determined by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ on total rock. Also within this cycle is Located Andesita Huincán. Lithology: andesites, basalts, basandesites, dacites and porphytic bodies.

Pincheira formation: it was defined by Criado Roque (1950) for the outcrops that are located in Malargüe River, with thicknesses greater than 400 m. This powerful volcanoclastic package is made up of a succession of tuffs, agglomeral tuffs, volcanic agglomerates of andesitic to basandesitic composition and conglomerates of yellowish to light brown coloration, interpreted as deposits of ignimbrites, pyroclastic waves, river systems and **lahars**. It is worth noting the presence of synsedimentary carbonates of hydrothermal origin, in the Pincheiras formation which is related to hydrothermalism phenomena contemporaneous to volcanism. The thickness of the Pincheira Formation is approximately 500 meters large. Deposits of synsedimentary carbonates (**travertines**), interspersed in the basal section of the Pincheiras Formation (Combina et al., 2006; Combina and Nullo, 2010), point out the presence of 'hot springs' with underground hydrothermal waters enriched in CO₂ during this time, which probably generated small low-energy watery bodies. In the location of the same name, the unit has its best exposure, presenting a transition to sedimentary lithofacies compared to the previously described in the southern region with volcanoclastic affinity.



Image taken of the outcrop of volcanic breccias corresponding to the base of the Pincheira Formation, in a nearby stream on the way to the Castles.



Image taken of the outcrop of the base of the Pincheira Formation, in a nearby stream on the way to the Castles.
A dike can be seen.



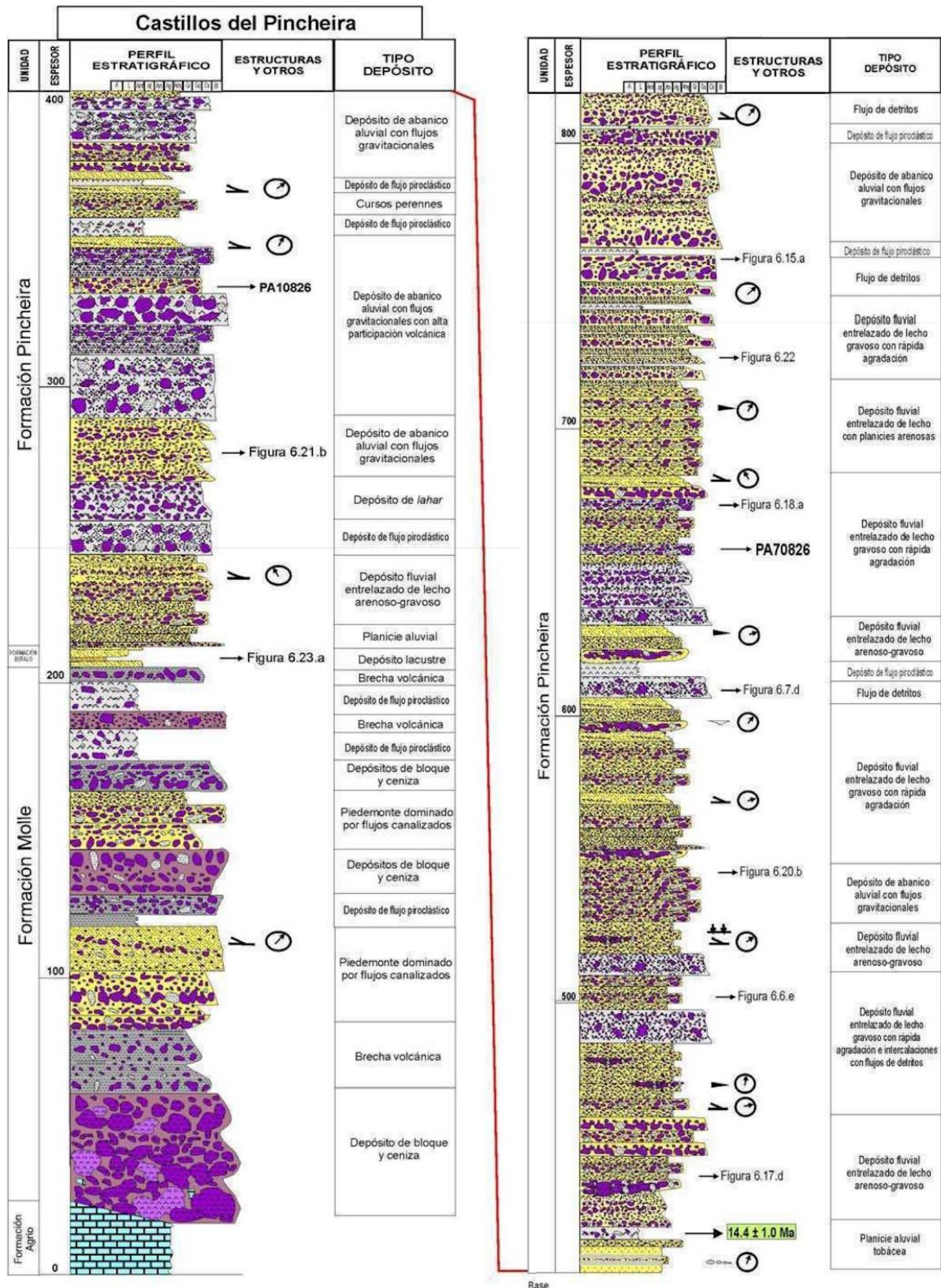
Image taken of the Pincheira formation in what would be known as a bard.

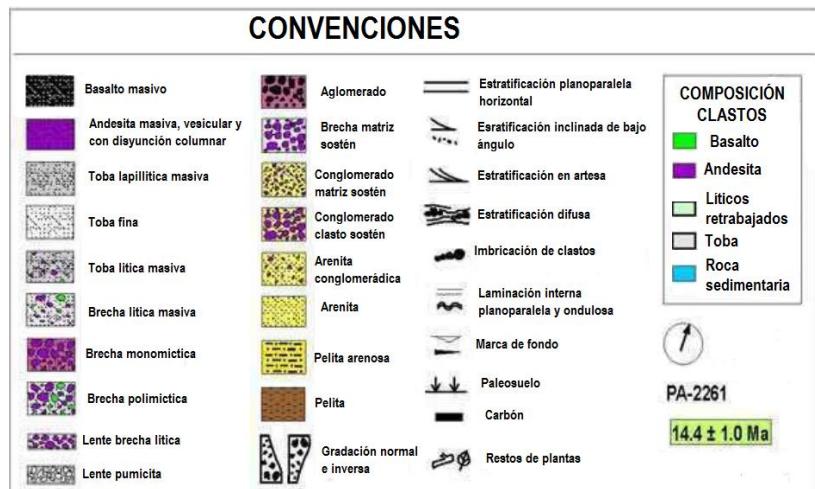


Image taken of the middle part of the Pincheira formation.



Image taken of the Castillos, the Pincheira formation can be appreciated completely. From its base to its roof.





Stratigraphic profile section of the Castillos de Pincheira synorogenic units in the Pincheira basin, obtained from the doctoral thesis of Arcila Gallego, Paula Alexandra

Paleoenvironmental interpretation: In the southern region, the associations of lithofacies can be interpreted as deposits of volcanic gaps, block and ash, proximal to distal dense pyroclastic flows and volcanic flows with development of alluvial fan deposits dominated by gravitational flows. The associations of lithofacies indicate a greater establishment of alluvial fan deposits, and installation of intertwined river deposits of gravel bed with the development of incipient channel strips, with a permanent contribution of volcanic material, interpreted from the presence of the associations of volcanoclastic lithofacies as deposits of lahar, blocks and ashes, and strong pyroclastic flows. In some sectors, there is the presence of andesitic monomictic lithic breccias reaching 50 m thick, associated with volcanic flows and gaps, in a position proximal to eruptive centers. The directions of paleocurrents (N50E – N10E) indicate the position of the contribution area to the southwest – south. The sequence in the lower section presents lithofacies that can represent alluvial fan deposits dominated by gravitational flows, with a marked influence of volcanic activity, linked to the presence of lahar deposits and deposits of strong pyroclastic flows. In some sectors, the associations of lithofacies are interpreted as intertwined river deposits of gravey-sandy bed. The middle section presents associations of lithofacies interpreted as the establishment of intertwined fluvial deposits, gravel-sandy bed with development of channels with preserved paleosol, and presence of gravitational flows with a transition in some sectors, to conditions of alluvial plain in conditions of rapid aggradation. The intertwined river systems continue in the area favoring the instalment of sandy plains and strips of canals. Towards the top, there are deposits of alluvial fans with gravitational flows and perennial courses, where the participation of clasts of sedimentary origin increases to 30%.

Contemporary, volcanic activity in the area intensifies associated with insertions of pyroclastic flow deposits.

Loma Seca formation: Combina and Nullo (2000) described the unit as made up of lapilli tuffs, tobaceous sandstones, and conglomerates in pink, gray, and pale white hues, which were generated by a sequence of dry pyroclastic flows and related lahars. It is assigned to an upper Miocene age and the unit is considered to have been deposited in a compressive environment, during the evolution of the foreland basin and is contemporary to the volcanism present in that area Combina and Nullo (2005). The unit is located in the Sierra de La Ventana basin.

Paleoenvironmental interpretation: The lithofacies described in the basal section can be interpreted as alluvial deposits of mountain foot dominated by gravitational flows with variation to alluvial fan deposits dominated by fluvial currents and ephemeral channels with proximal volcanoclastic pulses. In the middle section, there is a change in the associations of lithofacies interpreted as fluvial deposits intertwined with lateral variations to deposits of alluvial fans dominated by gravitational flows with high participation of proximal to distal volcanoclastic pulses, linked to contemporary volcanic activity. The associations of lithofacies in the cuspidal part can be interpreted as alluvial fan deposits dominated by gravitational flows, river deposits intertwined with sandy-burdensome bed, and lateral variations to alluvial fan deposits with perennial courses and gravitational flows. The source area is associated with different effusive centers located to the west and southwest, according to the directions of paleocurrents (N70E – N30E) with great volcanic activity associated with the thicknesses of the dense pyroclastic flows (Branney and Kokelaar, 2002).

Methodology or work strategy

The work was carried out in two stages that were carried out both in office and in the field. In the office work, the scientific background related to the site was collected and analyzed, accompanied by deep bibliographic analysis, as well as some surveys and interviews were conducted with nearby inhabitants that give knowledge about the history of the place. Interviews were also conducted to professional staff of the co-participating entity, as well as tourist guides trying to find out about the queries they usually receive. Then a field visit was carried out to survey the geological context of the chosen area, identifying features of interest in situ, and taking representative photographs of them and other complementary information. Subsequently, all the information was put together to design a report and leaflets for publicity and information in situ and on social networks, that includes: the presentation of the geological province where the place of work is focused, a geological map of Mendoza (variety of rocks, geological processes developed in different periods of its evolutionary history, sedimentary sequences linked to shallow seas, basins associated with a magmatic arc and everything that gives rise to the current geological configuration of the province.

Conclusion

It could be established that the site has a very remarkable and interesting geomorphological importance, in addition to the history of the outstanding Pincheira formation. Congruent information was collected from several authors and the geological value of the site was highlighted after not being taken in account until now. We were able to make a strong presentation to the public that was reflected on the final productions attached to this document.

Acknowledgments

I would like to thank the Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, which provided the financing for the project and to the Dirección de Promoción y Políticas Turísticas de Malargüe for their collaboration in it.

I would also like to thank the professors Sandra Sánchez for her technical help with the report and Fernanda Olivier for her translation corrections.

Finally, I would like to thank our professors Diego Cattaneo and Martín Flores whose knowledge, patience and support guided us through each of the stages of this project.

Thank you all very much.

Glossary

Alluvial fan: it is a fan-shaped sediment deposit that is created when the slope of a river current decreases abruptly.

Breccia: sedimentary rock composed of angular fragments.

Conglomerate: sedimentary rock composed of rounded grains the size of gravel.

Continental volcanic arc: mountains formed in part by the igneous activity associated with the subduction of the oceanic lithosphere below a continent. Examples are the Andes and the Cascade Range.

Euxinic: a term that is applied to describe a medium characterized by the presence of large volumes of stagnant water, deoxygenated and under reducing conditions. The characteristic sediments are pyritic, carbonaceous, black sludge.

Geological province: a region characterized by a certain stratigraphic succession, its own structural style and peculiar geomorphological features, the whole being the expression of a particular geological history (Rolleri, 1976). The boundaries between the different provinces can be transitional.

Hot spring: environment resulting from the underwater expression of a hydrothermal system associated with a volcanic environment, in which groundwater intercepts the surface.

Malargüe fold and thrust belt: this is a thick-skinned belt developed in the Miocene-Pliocene times during the Andean orogeny.

Lahar: washes of washouts originated on the slopes of volcanoes that occur when unstable layers of ash and washouts are saturated in water and flow downhill, usually following the channels of rivers.

Orogenesis: the processes that, together, result in the formation of mountains.

Paleocurrent: the current that existed during the deposition of sediment at some given period of geological history, is evidence of the direction of flow at the time the sediment was deposited.

Pilotaxic: texture composed of sharpened crystals of acicular and elongated shape, which sometimes presents a fluidal structure (Cf. trachytic, -co, Trachyte). Hyalopilitic texture is a variety of the pilotaxic in which the felt of crystals or crystallites is arranged on a vitreous base.

Radiometric dating: procedure for calculating the absolute age of rocks and minerals containing certain radioactive isotopes.

Relative dating: management of rocks and geological structures according to an appropriate sequence or order. Only the chronological order of events is determined.

Retro arc: is the area behind a volcanic arc in a subduction zone. The retro arch can alternatively be under extension and develop a rift basin, or under compression and originate a folded and run belt, with successive faults that pile tectonic sheets directed towards the interior of the continent.

Rift: an area of the Earth's crust in which, as a result of the divergence of tectonic plates, faults and fissures appear.

Travertine: a form of limestone (CaCO_3) that is deposited by hot springs or as a karst deposit.

Bibliography

Gallego, P. A., 2010. Los depósitos sinorogénicos del sur de Mendoza y su relación con la faja plegada y corrida de Malargüe (35° -36°S), Mendoza, Argentina. Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires.

Silvestro, J. and Kraemer, P., 2005. Evolución tecto- sedimentaria de la cordillera principal en el sector sur mendocino a los 35° 30'S. Faja plegada de Malargüe. República Argentina.

Combina, A. and Nullo, F., 2011. Ciclos tectónicos, volcánicos y sedimentarios del Cenozoico del sur de Mendoza-Argentina (35°-37°S y 69°30'W).

Silvestro, J., Kraemer, P., Achilli, F. and Brinkworth, W., 2005. Evolución de las cuencas sinorogénicas de la Cordillera Principal entre 35°- 36° S, Malargüe.

Nullo, F., Stephens, G., Combina, A., Dimieri, L., Baldauf, P., Bouza, P., Zanettini, J. and Leanza, H., 2005. Hoja Geológica 3569-III/3572-IV Malargüe. [online]
Repositorio.segeman.gob.ar. Disponible en:

<https://repositorio.segeman.gob.ar/handle/308849217/157>