

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

2021

CUENCA DEL RÍO SALADO



Malena Soledad Blanco
Universidad Nacional de Cuyo
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Licenciatura en Geología
Malargüe

Tabla de Contenido

Introducción.....	3
Objetivos.....	3
Metodología.....	3
Resumen.....	4
Cuenca del Río Salado.....	5
Estructura de la cuenca del Río Salado.....	5
Geomorfología de la cuenca. Características generales	6
Formas tectogénicas.....	7
Modelado kárstico.....	8
Formas climatogénicas.....	11
Conclusión.....	21
Agradecimientos.....	21
Glosario.....	22
Bibliografía.....	24

Table of Contents

Introduction.....	3
Objectives.....	3
Methodology.....	4
Summary.....	4
Salt River Basin.....	5
Structure of the Salado River basin.....	13
Geomorphology of the basin. General characteristics.	14
Tectogenetic forms.....	15
Karst modeling.....	16
Climatogenic forms.....	18
Conclusion.....	21
Acknowledgments.....	21
Glossary.....	23
Bibliography.....	24

Introducción

Este informe forma parte del proyecto Jorge A. Sabato, desde la extensión áulica Malargüe se decidió aplicar con la presente propuesta que lleva por título “La geología de la ruta 40”, un aporte de la FCEN para Malargüe.

Introduction

This report is part of the Jorge A. Sabato project, from the Malargüe extension, and it was decided to apply this proposal entitled "The Geology of Route 40", a contribution from FCEN to Malargüe.

Objetivos:

Malargüe posee una riqueza ambiental, mineral y un potencial de desarrollo muy importante debido a su ubicación geográfica y a la diversidad de paisajes de la zona.

Desde la FCEN creemos que se puede aprovechar el turismo para promocionar la presencia de la facultad y el dictado de la carrera de Licenciado en Geología en Malargüe, divulgando los contenidos generados por los estudiantes no solo en los sitios de interés y sitios web sino también en puntos específicos de la ciudad. Integrando y fortaleciendo los lazos de la Facultad con la sociedad.

Objectives:

Malargüe has an environmental, mineral wealth and a very important development potential due to its geographical location and the diversity of landscapes in the area.

From FCEN we believe that tourism can be used to promote the presence of the faculty and the Bachelor's Degree in Geology in Malargüe, spreading the contents generated by the students not only in sites of interest and websites but also in specific points of the city. Integrating and strengthening the links between the Faculty and society.

Metodología

El trabajo comprendió de dos etapas principales que se llevaron a cabo tanto en gabinete como en campo. En el trabajo de gabinete se recopiló y analizó los antecedentes de trabajos científicos relacionados a los sitios propuestos. Se realizaron entrevistas a personal de informes de la entidad co-participante, así como también a guías de turismo intentando conocer las consultas que suelen recibir. Luego se realizaron las visitas de campo relevando el contexto geológico de los lugares elegidos, identificando rasgos de interés in situ, tomando fotografías representativas de los mismos. Además, se registraron distancias, accesos, alturas respecto al nivel del mar, coordenadas GPS y demás información complementaria.

Methodology:

The work consisted of two main stages that were carried out both in the office and in the field. In the field work, the background of scientific works related to the proposed sites was compiled and analyzed. Interviews were conducted with the reporting staff of the co-participating entity, as well as with tour guides in an attempt to learn about the queries they usually receive. Afterwards, field visits were made to survey the geological context of the selected sites, identifying features of interest in situ and taking representative photographs of them. In addition, distances, accesses, heights above sea level, GPS coordinates and other complementary information were recorded.

Resumen:

Desde la ruta nacional 40 hacia el oeste, se dispone el río Salado. Sobre este corte estructural tan importante se destaca el anticlinal volcado entre las unidades jurásicas, seguido de una secuencia tithono-neocomiana marina que muestra la evolución vertical de la cuenca. El frente de esta estructura resuelve el sector externo de la faja plegada y corrida de Malargüe que corresponde al norte y al sur con la faja plegada cordillerana, que se extiende con diferentes características y ancho por toda la Cordillera de los Andes.

La interpretación estructural de la sección transversal del río Salado comienza en Portezuelo Ancho y de allí continúa hacia el este hasta el frente de sierra. La cuenca es recorrida por la Ruta Provincial N° 222 que parte de la Ruta Nacional N° 40 hacia el oeste. Se observan paisajes kársticos y volcánicos como el Pozo de las Ánimas y la colada de lava conocida como El Infiernillo que crean paisajes de indudable interés turístico y científico.

Summary:

From National Route 40 to the west, the Salado River is disposed. On this important structural cut, the overturned anticline between Jurassic units stands out, followed by a marine tithono-neocomian sequence that shows the vertical evolution of the basin. The front of this structure resolves the external sector of the Malargüe folded and rift belt that corresponds to the north and south with the Cordilleran folded belt, which extends with different characteristics and width throughout the Andes Mountain Range.

The structural interpretation of the cross section of the Salado River starts at Portezuelo Ancho and from there continues eastwards up to the mountain range front. The basin is crossed by Provincial Route No. 222, which leaves National Route No. 40 to the west. There are karstic and volcanic landscapes such as Pozo de las Ánimas and the lava flow known as El Infiernillo that create landscapes of undoubted tourist and scientific interest.

Cuenca del Río Salado

El río Salado constituye una subcuenca del río Atuel, con la particularidad de ubicarse íntegramente en la ciudad de Malargüe, a 421 km de la capital provincial Mendoza, a 1198 km de la ciudad de Buenos Aires. Éste río se forma por la confluencia de los arroyos El Deshecho y Las Leñas que tienen sus nacientes sobre los 3.000 m de altitud.



La cuenca del río Salado presenta una superficie de 690 km². El 70% de la cuenca se desarrolla dentro del ambiente de la Cordillera Principal de Malargüe y, a partir de los 1.700 m.s.n.m. aproximadamente, comienza a formar parte del piedemonte malargüino. Se encuentra rodeada por el resto de la cuenca del río Atuel y por las cuencas de los ríos Grande y Malargüe.

La cuenca es recorrida por la Ruta Provincial N° 222 que parte de la Ruta Nacional N° 40 hacia el oeste. Se observan paisajes kársticos y volcánicos como el Pozo de las Ánimas y la colada de lava conocida como El Infiernillo que crean paisajes de indudable interés turístico y científico.

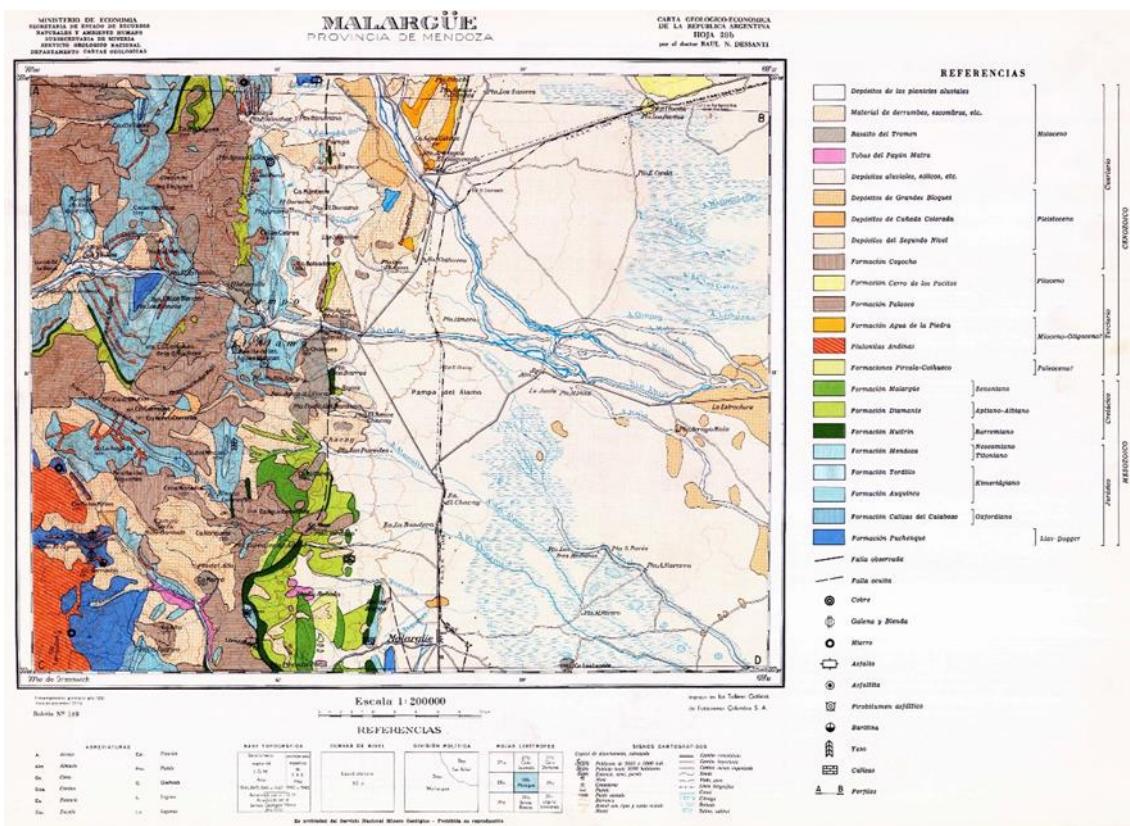


Estructura de la cuenca del río Salado

La cuenca del río Salado se desarrolla principalmente dentro del ámbito de la Cordillera Principal formando parte de la faja plegada y corrida de Malargüe que ha sido interpretada como una faja de piel gruesa, dando lugar a plegamientos y a retrocorrimientos (Giambiagi, L. et. al., 2009) muy evidentes en la denominada Cañada Ancha donde se observa un fuerte replegamiento de secuencias sedimentarias mesozoicas. Los primeros depósitos sedimentarios de la cuenca datan del Paleozoico superior (Devónico) con la presencia de esquistos, pizarras y cuarcitas poco metamorfizadas. Luego, durante el Pérmico-Triásico, se producen efusiones volcánicas con brechas, lavas y tobas (Grupo Choiyoi) que en el Triásico medio a superior se traducen en intrusiones granodioríticas posiblemente vinculadas al magmatismo Variscico. En el Jurásico inferior se produce una transgresión marina desde el oeste la cual afectó a toda la cuenca con arenisca, lutitas, calizas y margas fosilíferas con aporte de material piroclástico. En el resto del Jurásico continúa la sedimentación generándose evaporitas que indicaría una fase regresiva del mar que al terminar de retirarse depositó sedimentos continentales (areniscas y conglomerados), indicadores de un sistema fluvial.

Posteriormente se origina desde el Pacífico un nuevo evento transgresivo que se inicia a fines del Jurásico, con sedimentos muy fosilíferos (pelitas, pelitas calcáreas, calizas, limolitas, areniscas) y finaliza durante el Cratácico inferior dando lugar al retiro definitivo del mar y originando una fase de depositación en cuencas cerradas de evaporitas (Fm Huitrín). A partir de aquí comienza una secuencia clástica y continental. A fines del Cretácico, o comienzos del Terciario, tendrá lugar una importante tectónica que afecta a toda la secuencia mesozoica poniendo en contacto al basamento de la cuenca con las sedimentitas preexistentes que resultan falladas y plegadas. Posteriormente en el Mioceno se produce un ciclo eruptivo (ciclo Huincán), originando intrusivos, derrames lávicos (andesitas, basaltos), como también cuerpos volcánicos y sub-volcánicos.

En el límite Terciario – Cuaternario nuevamente coladas andesíticas y basálticas cubren amplias zonas de la cuenca. Durante el Pleistoceno se da la erosión glaciar en los sectores oeste de la cuenca y en el Holoceno se reanuda el vulcanismo basáltico y andesítico.



Hoja Geológica 3569-III/3572-IV. Malargüe

Geomorfología de la cuenca.

Características generales.

Como se expresó la mayor parte de la cuenca se desarrolla en el ámbito de la Cordillera Principal con alturas principales cercanas a los 5.000 m.s.n.m. lo que permite el desarrollo de pequeños cuerpos de hielo en las partes superiores de la misma. La faja plegada y corrida en el Terciario a causa de la orogenia Andina a través de sucesivos

movimientos que han dado forma a los cordones que la componen. En la cabecera de algunos valles son identificables circos glaciares heredados y glaciares rocosos activos dentro de un ambiente morfogenético periglaciado. Fuera del ámbito montañoso la cuenca se desarrolla en un piedemonte caracterizado por planos inclinados generados por erosión (glacis) que han afectado sustratos sedimentarios de diferente composición. En este sector se destaca también el importante cono aluvial depositado por el río Salado. Dentro de la morfología fluvial se observan restos de una terraza fluvioglaciada en cercanías de la localidad Los Molles y otros puntos del valle, y sedimentos aluviales modernos que ocupan el cauce principal del Salado y de tributarios. Se observa además la presencia de relieves volcánicos a través de conos y coladas basálticas terciarias y cuaternarias como la del Infiernillo y de relieves kársticos como el Pozo de las Ánimas.

Formas tectogénicas.

Cordillera Principal.

La cuenca del río Salado se desarrolla aproximadamente en un 70 % dentro del ámbito de la Cordillera Principal que se presenta como un relieve joven, elevado durante la orogenia Andina acontecida principalmente durante el Terciario.



Foto 1: Pliegues en la Cordillera Principal

Los materiales de diversa composición litológica se encuentran fuertemente plegados y en algunos casos corridos, dando origen a paisajes de gran interés científico y turístico (Foto 1). La cordillera alcanza alturas de más de 4.000 m.s.n.m. como en el cerro Las Leñas (4.351m) cuya silueta corona el valle homónimo por el



Foto 2: Cerro Las Leñas cerrando el valle del mismo nombre con depósitos morénicos en primer plano

norte (Foto 2). Los cordones montañosos se encuentran erosionados por un gran número de ríos permanentes tributarios del Salado y de cursos temporarios que se ponen en funcionamiento durante la época de deshielo en la parte alta de la cuenca y por lluvias torrenciales de verano en sectores de menor altitud. El valle del río Salado corta la montaña con dirección oeste – este y se forma por la unión de los valles longitudinales de los ríos Las Leñas por el norte y El Deshecho por el sur que presentan en sus laderas y fondos evidencias de la actividad glaciar del Pleistoceno a través, por ejemplo, de morrenas laterales (Foto 2). En la confluencia del Salado con el Aº Pedrero, en la parte central de

la cuenca, se encuentra el llamado Valle de Los Molles ubicado a 1.900 m.s.n.m. con evidentes síntomas de un rápido crecimiento urbano – turístico por las bondades de las aguas termales allí presentes y que sería, a su vez, el límite oriental hasta donde llegaron los cuerpos de hielo pleistocénicos según las evidencias allí encontradas (morrenas). Este valle se desarrolla a la vera de la ruta N° 222 mayormente sobre depósitos aluvionales antiguos,



Foto 3: Llanura de inundación del río Salado en Los Molles

en terrazas aluviales del río Salado y del arroyo Pedrero y sobre el cono inactivo de este último. También son observables algunas formas de origen kárstico que serán detalladas más adelante y el río en este punto presenta una extendida llanura de inundación por la amplitud del mismo, característica que no se repite en ningún otro lugar del valle (Foto 3). Recorriendo los valles de la Cordillera Principal se puede apreciar la intensa dinámica de laderas que, especialmente en los valles de Las Leñas y Salado, representan en muchos casos una verdadera amenaza para quienes transitan la ruta N° 222 o para las infraestructuras presentes como el centro de sky Las Leñas. Las morfologías más

difundidas producidas por procesos de laderas son los cortes por erosión lineal, canales de avalanchas, morfologías de reptación, derrubios por gravedad, debris flow que acompañan en algunos casos antiguos depósitos de remoción en masa.



Foto 4: Sill andesítico en cercanías de Los Molles

Las laderas en cercanías de Los Molles, muestran algunos aspectos interesantes como la presencia de un sill andesítico sub-horizontal en la margen derecha del río Salado (Foto 4) y, en la misma localidad, un lacolito granodiorítico que intruye areniscas y conglomerados jurásicos y reconocible por su forma redondeada también sobre la margen derecha del Salado con evidencias de metamorfismo térmico.

Anticlinal de Cañada Ancha

Formando parte de los contrafuertes orientales de la Cordillera Principal, se encuentra un área cuya singularidad está dada por los modelados derivados de un intenso tectonismo y formando parte del límite oriental de la Faja Plegada y Corrida de Malargüe. En este sector, crestas, pliegues y hog back son reconocibles debido a la presencia de un anticlinal nucleado en yesos y calizas del Jurásico con flancos erosionados conocido como Cañada Ancha (Foto 5).



Foto 5: Crestas elaboradas por la tectónica

Modelado kárstico

Dolinas

El afloramiento de importantes acumulaciones de yesos en la cuenca del río Salado y la presencia de éstos bajo acumulaciones fluviales, ha permitido la conformación de magníficos exponentes de dolinas de colapsos y aluviales, no observables en otros lugares de la provincia de Mendoza. Se presentan de manera individual o agrupada y responden a diferentes génesis y morfologías. Dentro de las de colapso se puede citar, en primer término, el famoso Pozo de las Ánimas



Foto 6: Dolina menor del Pozo de las Ánimas

ubicado junto a la ruta provincial N° 222 y a 6 km al oeste de Los Molles. El nombre de Pozo de las Ánimas proviene de leyendas, mitos y viejas creencias lugareñas relacionadas con el notable efecto que produce el silbido del viento en el lugar. Este pozo, también llamado Trolope-Co (agua de los muertos en lengua mapuche), se trata en realidad de dos depresiones separadas entre sí por una delgada acumulación de materiales. La primera de ellas y de menor tamaño (Foto 6), presenta su fondo con agua pudiéndose observar los constantes cambios de nivel del líquido por las marcas impresas en las rocas de los bordes de la laguna. Sus laderas están semi-estabilizadas por la vegetación a favor de una inclinación general no muy acusada de las paredes representando una típica dolina en caldero o artesa.

El segundo pozo (Foto 7) es de características impresionantes por su tamaño y por los constantes derrumbes que se producen en sus paredes verticales desprovistas de vegetación hacia las heladas aguas que cubren su fondo. El diámetro de este pozo es de

aproximadamente 900 m y la distancia hasta el agua es de unos 80 metros, siendo la profundidad desde el nivel de agua al fondo de alrededor de 21 m. Este segundo pozo se trata de una dolina en pozo o ventana, producto del colapso de una capa subyacente de yeso sobre la que descansaban sedimentos de un cono aluvial, por lo que también se la puede considerar como mixta colapso – aluvial. Otra dolina es la conocida como Las Animitas por tratarse también de dos depresiones de colapso con

diferentes dimensiones, separadas por un estrecho talud y ubicadas en la localidad de Los Molles. La dolina de mayor envergadura se trata de una dolina en embudo (Foto 8) originada por el hundimiento del yeso (karst subyacente). El subsuelo disuelto se encuentra cubierto por materiales pertenecientes al cono aluvial del arroyo Pedrero por lo que también se la puede considerar una dolina colapso – aluvial. Los materiales fluviales son reconocibles en las paredes de la geoforma al estar prácticamente sin cobertura vegetal y el acceso a esta forma de modelado es sencillo a través de un camino consolidado que parte hacia el norte desde la ruta N° 222 y permite al observador llegar a unos 25 m de la dolina a la que se accede finalmente a pie. A unos 6 km al este de Los Molles y rodeada de coladas de lava, se encuentra la dolina llamada La Niña Encantada (Foto 9) en un lugar de singular belleza que ha dado forma a leyendas de diversa índole. Su fondo contiene la conocida laguna homónima y la acumulación de lava que circunda la laguna proviene de volcanes que se encuentran hacia el norte y que en épocas recientes hicieron erupción derramando material incandescente sobre el curso de un arroyo que alimentaba la laguna. Aparentemente el mismo curso continúa corriendo por debajo de la colada de lava alimentando la laguna. Es una dolina de karst subyacente o capa rocosa producida por la disolución parcial del sustrato de yeso y desplome de la cubierta basáltica



Foto 7: Dolina mayor de colapso conocida como Pozo de Las Ánimas.



Foto 9: Dolina conocida como Laguna de la Niña Encantada



Foto 8: Dolina mayor de Las Animitas

dando origen a una dolina en caldero. Se encuentra en la margen izquierda del río Salado y su laguna posee una superficie de 80 m de diámetro y además de su valor escénico, ya cuenta con un cierto grado de protección mediante el cuidado de la vega circundante y de sus truchas exóticas que son un atractivo turístico.

Dentro de la morfología de dolinas hay que destacar un extenso campo de dolinas (Foto 10) que se desarrolla sobre una amplia bajada aluvial en el valle de Las Leñas, pocos kilómetros antes de arribar al centro de deportes invernales. Se presentan en gran número constituyendo un conjunto de dolinas aluviales o de cobertura. El agua generada por cursos que descienden del frente montañoso del oeste, se infiltra a través del material aluvial y produce la disolución en el contacto con el substrato rocoso. En superficie estas dolinas presentan morfologías suavizadas, con pendientes tendidas y profundidad no muy acusada, llegando a alcanzar diámetros de 130 m formando dolinas en cubeta. En algunos casos el agua de escorrentía arrastra partículas finas (limos, arcillas) hacia el fondo de las dolinas que de esta manera queda sellado. Este proceso permite la formación de lagunas cuya persistencia depende del grado de impermeabilización del fondo.



Foto 10: Dolina aluvial en cercanías de Las Leñas

Rinnenkarren

En yesos cordilleranos aflorantes dentro de la cuenca del Salado, los procesos de disolución y disección superficial han facilitado la formación de grandes rinnenkarren en las laderas, especialmente dentro del valle de Las Leñas, destacándose en el paisaje por sus “pináculos” blanquecinos sembrando la ladera (Foto 11).



Foto 11: Rinnenkarren en proximidades del centro deportivo invernal Las Leñas

Del vulcanismo más antiguo, sólo restos de coladas de lavas básicas sobreviven a la erosión formando “mesas” en sectores del sur de la cuenca como resultado de una inversión del relieve volcánico

Las coladas holocénicas basálticas están mejor conservadas, en conexión con el cono que las originó y pertenecen a los tipo aa y en bloques. Dos



Foto 13: Colada de lava que da origen a la Laguna de la Niña Encantada



Foto 12: Colada de lava denominada El Infiernillo

exponentes de esta última categoría son visibles desde la ruta N° 222 que recorre la cuenca. La primera forma la conocida colada del Infiernillo (Foto 12) mientras que la

segunda es la que ha permitido la formación de la legendaria laguna de la Niña Encantada como se explicó anteriormente (Foto 13). Para la colada del Infiernillo, que cubre sedimentos del Cretácico inferior, se le estima una edad radiocarbónica de $0,0123 \pm 0,00016$ Ma. (Folguera, et. al., 2009) según la datación de sedimentos orgánicos en depósitos lacustres generados por el embalse del río Salado a causa de la misma colada. Los conos volcánicos de la cuenca forman un campo en el sector norte de la misma que se caracteriza por contener conos monogenéticos basaltoandesíticos, edificados bajo condiciones de extensionalidad, con erupciones pleistocénicas - holocénicas, controlados por el sistema de falla directa de El Infiernillo de rumbo norte. Los volcanes Hoyada, Lagunitas y volcanes Pérez son los volcanes más prominentes y las edades de la totalidad de los conos están dentro del intervalo de 0,0123 y 0,0005 Ma. (Folguera, et. al., 2009).

Formas climatogénicas

Modelado glaciar

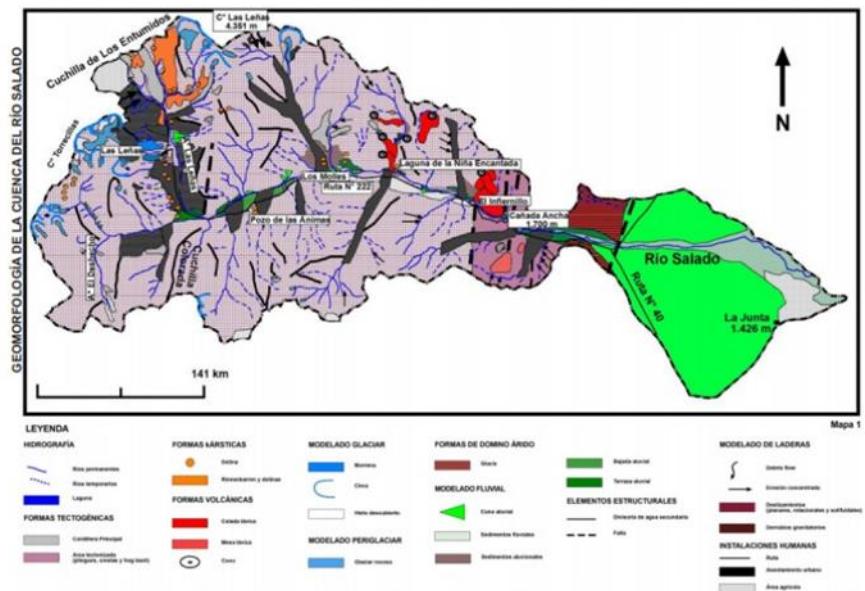
La presencia de hielo descubierto es muy escasa en la cuenca, solamente visibles en cotas superiores a los 4.000 m.s.n.m., ocupando el fondo de círcos glaciarios o en algunas laderas como ocurre en el macizo del C° Torrecillas al oeste de la cuenca. Sin embargo, la acción de glaciares fue intensa durante el Pleistoceno dejando su impronta en círcos que ocupan la parte superior de valles y en la acumulación de material formando morrenas como la que se encuentra en la localidad de Las Leñas y sirve de asiento a instalaciones del complejo deportivo. Otros restos morrénicos son visibles en inmediaciones del Pozo de las Ánimas, adosadas a ambas márgenes o en cercanías de Los Molles (2.012 m) que sería el límite inferior del avance glaciar coincidiendo con la forma de artesa que muestra el valle (Foto 14). También se localizan en las zonas más elevadas de los valles como es el caso del C° El Collar y el Cajón de Los Mendinos.



Foto 14: Restos de morenas en proximidades de Los Molles

Modelado periglaciar

El ambiente periglaciar está muy extendido ocupando laderas y valles por sobre los 2.600 m.s.n.m.. La actividad de los ciclos de congelamiento – descongelamiento permite una intensa dinámica de laderas siendo muy comunes los mecanismos de crioreptación, debris flow, lóbulos de solifluxión, criofracción que genera laderas con cobertura de bloques (taludes), terracitas y las acumulaciones como consecuencia de avalanchas nivo-detriticas. La presencia de estos procesos se encuentra asociado al clima y a la pendiente y litologías presentes alcanzando mayor intensidad en puntos donde afloran las vulcanitas permotriásicas del Grupo Choiyoi, más susceptibles a la erosión y por ocupar las partes altas de la topografía. Sin embargo las formas periglaciares más importantes son los numerosos glaciares rocosos glacigénicos que cierran, en la mayor parte de los casos, las cabeceras superiores de valles y son los de mayor extensión. Glaciares rocosos criogénicos se ubican en algunas laderas ocupando reducidas extensiones (Mapa 1). La importancia hidrológica de estos glaciares es grande ya que aportan casi la totalidad de los caudales que forman el río Salado y a sus tributarios.



Mapa 1

Glacis

Se destaca un reducido glacis al pie el frente oriental cordillerano. Es un plano inclinado generado por la erosión de diversas formaciones sedimentarias y se destaca en el paisaje por la regularización de su parte superior y la discordancia angular que guarda con respecto al sustrato integrado por sedimentitas inclinadas por la tectónica. En su ámbito se encuentran numerosas explotaciones petroleras.

Modelado fluvial

Sin duda los conos aluviales son las formas fluviales más numerosas y extendidas como en el caso del gran cono fluvioglaciado elaborado por el río Salado en su salida al piedemonte, elaborado posiblemente durante el máximo glaciar dentro de la cuenca y que sirve a asiento a la localidad de La Junta y toda el área agrícola adyacente.

El resto de los conos tiene su origen en los sedimentos arrastrados y depositados por los cursos de agua durante los deshielos o por las crecidas estivales producidas por lluvias a veces torrenciales. Éstas últimas transportan gran cantidad de materiales que dan origen a los conos o se acumulan dentro de los valles como depósitos aluvionales. Los conos a veces se disponen de manera coalescentes formando bajadas aluviales. Es también reconocible una terraza fluvioglaciada elaborada por el río Salado al inscribirse dentro de los sedimentos por él mismo depositados, lo que prueba un cambio en la dinámica del mismo a través del tiempo con una época de acumulación (máximo glaciar) y otra de disección generada por el derretimiento glaciar.

Depósitos aluviales

Se encuentran en planicies aluviales elaboradas por el río Salado así como también en los arroyos tributarios que presentan depósitos aluviales en sus cauces.

Salt River Basin

The Salado River is a sub-basin of the Atuel River, with the particularity of being entirely located in the city of Malargüe, 421 km from the provincial capital Mendoza, 1198 km from the city of Buenos Aires. This river is formed by the confluence of El Deshecho and Las Leñas streams, which have their headwaters over 3,000 m above sea level.



The Salado river basin covers an area of 690 km². Seventy percent of the basin develops within the environment of the Main Mountain Range of Malargüe and, as from approximately 1,700 m.a.s.l., it begins to form part of the Malargüe foothills. It is surrounded by the rest of the Atuel river basin and by the Grande and Malargüe river basins.

The basin is crossed by Provincial Route No. 222 that leaves from National Route No. 40 to the west. There are karstic and volcanic landscapes such as Pozo de las Ánimas and the lava flow known as El Infiernillo that create landscapes of undoubted tourist and scientific interest.



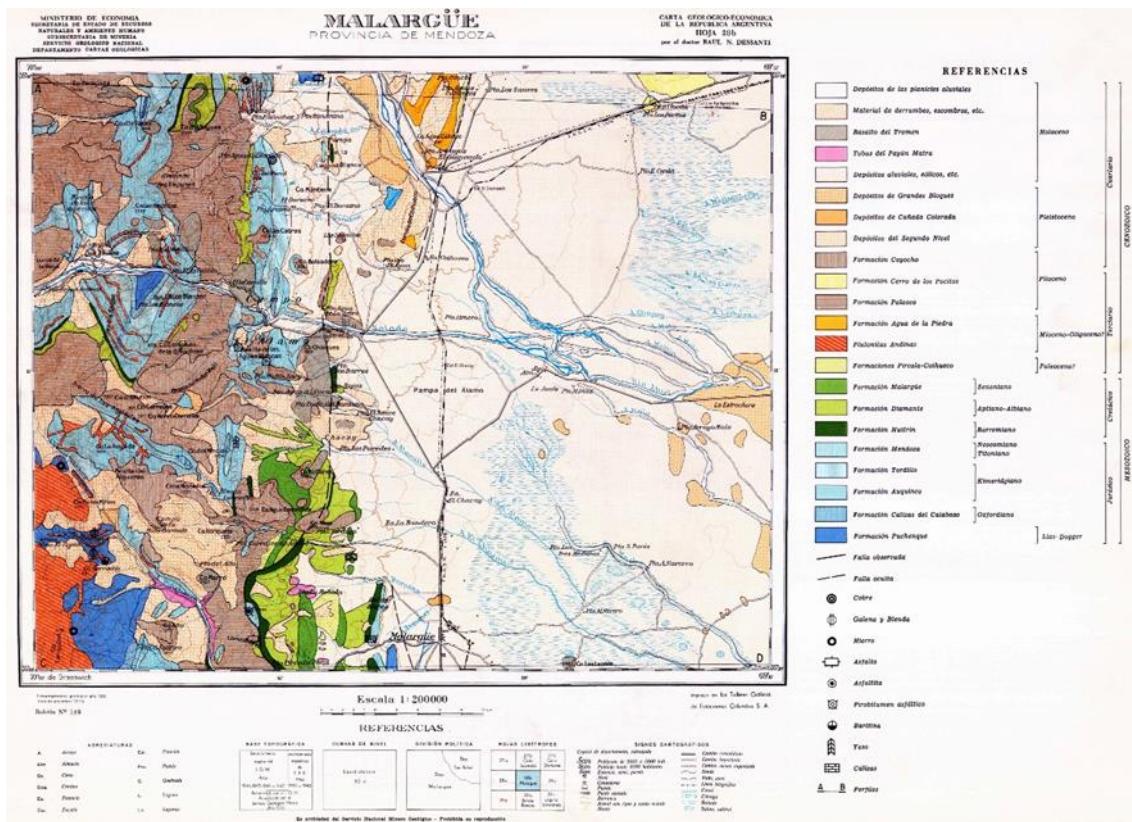
Perfil topográfico oeste – este de la cuenca del río Salado.

Structure of the Salado river basin

The Salado river basin develops mainly within the Main Mountain Range forming part of the Malargüe folded and rift belt which has been interpreted as a thick-skinned belt, giving rise to folding and retrocorrsion (Giambiagi, L. et. al., 2009) very evident in the so-called Cañada Ancha where a strong refolding of Mesozoic sedimentary sequences can be observed. The first sedimentary deposits of the basin date from the Upper Paleozoic (Devonian) with the presence of schists, slates and quartzites little metamorphosed. Then, during the Permian-Triassic, volcanic effusions occur with breccias, lavas and tuffs (Choiyoi Group) that in the middle to upper Triassic are translated into granodioritic intrusions possibly linked to Variscan magmatism. In the Lower Jurassic there is a marine transgression from the west which affected the whole basin with sandstone, shales, limestones and fossiliferous marls with pyroclastic material. In the rest of the Jurassic, sedimentation continues, generating evaporites that would indicate a regressive phase of the sea which, when it finished retreating, deposited continental sediments (sandstones and conglomerates), indicators of a fluvial system. Subsequently, a new transgressive event originates from the Pacific Ocean that begins at the end of the Jurassic, with very fossiliferous sediments (pelites, calcareous pelites,

limestones, siltstones, sandstones) and ends during the Lower Cratáctic, giving rise to the definitive retreat of the sea and originating a phase of deposition in closed evaporite basins (Huitrín Fm). From this point on, a clastic and continental sequence begins. At the end of the Cretaceous, or beginning of the Tertiary, an important tectonic event will take place, affecting the whole Mesozoic sequence, bringing the basin basement into contact with the pre-existing sediments, which are faulted and folded. Later in the Miocene, an eruptive cycle (Huincán cycle) takes place, originating intrusives, lava flows (andesites, basalts), as well as volcanic and sub-volcanic bodies.

In the Tertiary - Quaternary boundary andesitic and basaltic lava flows again cover large areas of the basin. During the Pleistocene glacial erosion occurs in the western sectors of the basin and in the Holocene basaltic and andesitic volcanism resumes.



Geological Sheet 3569-III/3572-IV. Malargüe

Geomorphology of the basin.

General characteristics.

As mentioned above, most of the basin is located in the area of the Main Mountain Range with main altitudes close to 5,000 m.a.s.l., which allows the development of small ice bodies in the upper parts of the basin. The Tertiary folded and corrugated belt due to the Andean orogeny through successive movements that have shaped the cords that compose it. At the head of some valleys are identifiable inherited glacial cirques and active rocky glaciers within a periglacial morphogenetic environment. Outside the mountainous area, the basin develops in a piedmont characterized by inclined planes

generated by erosion (glaciers) that have affected sedimentary substrates of different composition. In this sector there is also an important alluvial cone deposited by the Salado River. Within the fluvial morphology, there are remains of a fluvioglacial terrace near the town of Los Molles and other points in the valley, and modern alluvial sediments that occupy the main channel of the Salado and its tributaries. The presence of volcanic reliefs is also observed through tertiary and quaternary basaltic cones and lava flows such as the Infierillo and karstic reliefs such as the Pozo de las Ánimas.



Foto 1: Pliegues en la Cordillera Principal

Tectogenetic forms.

Main mountain range.

Approximately 70% of the Salado river basin is located within the Main Mountain Range, which is a young relief, elevated during the Andean orogeny that took place mainly during the Tertiary period.

The materials of diverse lithological composition are strongly folded and in some cases are corrugated, giving rise to landscapes of great scientific and tourist interest (Photo 1). The mountain range reaches heights of more than 4,000 m.a.s.l., as in the case of Cerro Las Leñas (4,351m) whose silhouette crowns the valley of the same name to the north (Photo 2). The mountain ranges are eroded by a large number of permanent rivers that are tributaries of the Salado and of temporary courses that come into operation during the thawing season in the upper part of the basin and by torrential summer rains in lower altitude sectors. The Salado river valley cuts the mountain in a west-east direction and is formed by the union of the longitudinal valleys of the Las Leñas river to the north and the El Deshecho river to the south, which have evidence of Pleistocene glacial activity on their slopes and bottoms, for example, in the form of lateral moraines (Photo 2).

At the confluence of the Salado with the Pedrero River, in the central part of the basin, is the so-called Los Molles Valley located at 1,900 m.a.s.l. with evident symptoms of rapid urban-tourist growth due to the benefits of the thermal waters present there and which would be, in turn, the eastern limit to where the Pleistocene ice bodies reached according to the evidence found there (moraines). This valley develops along Route 222 mostly on ancient alluvial deposits, on alluvial terraces of the Salado River and Pedrero Creek and on the inactive cone of the latter. There are also some forms of karstic origin that will be detailed later and the river at this point presents an extended flood plain due to its amplitude, a characteristic that is not repeated in any other place in the



Foto 2: C° Las Leñas cerrando el valle del mismo nombre con depósitos morénicos en primer plano



Foto 3: Llanura de inundación del río Salado en Los Molles

valley (Photo 3). The valleys of the Cordillera Principal show intense slope dynamics which, especially in the valleys of Las Leñas and Salado, represent in many cases a real threat to those who travel along Route 222 or to the infrastructure present, such as the Las Leñas sky center. The most common morphologies produced by slope processes are linear erosion cuts, avalanche channels, creeping morphologies, gravity landslides, and debris flow, which in some cases accompany old mass removal deposits.



Foto 4: Sill andesítico en cercanías de Los Molles

The slopes near Los Molles show some interesting aspects such as the presence of a sub-horizontal andesitic saddle on the right bank of the Salado River (Photo 4) and, in the same locality, a granodioritic laccolith intruding Jurassic sandstones and conglomerates and recognizable by its rounded shape also on the right bank of the Salado with evidence of thermal metamorphism.

Cañada Ancha Anticline

Forming part of the eastern buttresses of the Main Mountain Range, there is an area whose singularity is given by the modeling derived from an intense tectonism and forming part of the eastern limit of the Malargüe Folded and Corrida Belt. In this sector, ridges, folds and hog backs are recognizable due to the presence of an anticline nucleated in Jurassic gypsum and limestone with eroded flanks known as Cañada Ancha (Photo 5).



Foto 5: Crestas elaboradas por la tectónica

Karst modeling

Dolinas

The outcropping of important accumulations of gypsum in the Salado river basin and the presence of these under fluvial accumulations, has allowed the conformation of magnificent examples of collapse and alluvial dolines, not observable in other places of the province of Mendoza. They occur individually or grouped and respond to different genesis and morphologies. Among the collapsed ones, we can mention, in the first place, the famous Pozo de las Ánimas located next to provincial route N° 222 and 6 km west of Los Molles. The name Pozo de las Ánimas comes from legends, myths and old local beliefs related to the remarkable effect produced by the whistling of the wind in the place. This well, also called Trolope-Co (water of the dead in Mapuche language), is actually two depressions separated by a thin accumulation of materials. The first of them and of smaller size (Photo 6), presents its bottom with water



Foto 6: Dolina menor del Pozo de las Ánimas

being able to observe the constant changes of level of the liquid for the marks printed in the rocks of the edges of the lagoon. Its slopes are semi-stabilized by vegetation in favor of a not very steep general inclination of the walls representing a typical caldera or trough doline.

The second shaft (Photo 7) is of impressive characteristics due to its size and the constant landslides that occur in its vertical walls devoid of vegetation towards the icy waters that cover its bottom. The diameter of this shaft is approximately 900 m and the distance to the water is about 80 meters, being the depth from the water level to the bottom of about 21 m. This second shaft is a sinkhole or window doline, product of the collapse of an underlying layer of gypsum on which sediments of an alluvial cone rested, so it can also be considered as mixed collapse - alluvial. Another doline is known as Las Animitas because it is also two collapse depressions with different dimensions, separated by a narrow slope and located in the town of Los Molles.

The largest doline is a funnel doline (Photo 8) originated by the collapse of gypsum (underlying karst). The dissolved subsoil is covered by materials belonging to the alluvial cone of the Pedrero stream, so it can also be considered a collapse-alluvial doline. The fluvial materials are recognizable on the walls of the geoform as they are practically without vegetation cover and access to this form of modeling is easy through a consolidated road that starts to the north from Route No. 222 and allows the observer to

reach about 25 m from the doline which is finally accessed on foot. About 6 km east of Los Molles and surrounded by lava flows, is the doline called La Niña Encantada (Photo 9) in a place of unique beauty that has shaped legends of various kinds. Its bottom contains the well-known homonymous lagoon and the accumulation of lava that surrounds the lagoon comes from volcanoes that are to the north and that in recent times erupted spilling incandescent material on the course of a stream

that fed the lagoon. Apparently the same stream continues to run under the lava flow feeding the lagoon. It is an underlying karst doline or rocky layer produced by the partial dissolution of the gypsum substrate and collapse of the basaltic cover giving rise to a cauldron doline. It is located on the left bank of the Salado River and its lagoon has a surface of 80 m in diameter and in addition to its scenic value, it already has a certain degree of protection through the care of the surrounding meadow and its exotic trout that are a tourist attraction.



Foto 7: Dolina mayor de colapso conocida como Pozo de Las Ánimas



Foto 8: Dolina mayor de Las Animitas



Foto 9: Dolina conocida como Laguna de la Niña Encantada

Within the morphology of dolines we must highlight an extensive field of dolines (Photo 10) that develops on a wide alluvial descent in the valley of Las Leñas, a few kilometers before arriving at the winter sports center. They are present in great number constituting a set of alluvial dolines or of cover. The water generated by courses that descend from the mountainous front of the west, infiltrates through the alluvial material and produces the dissolution in contact with the rocky substrate. On the surface, these sinkholes have smooth morphologies, with steep slopes and not very deep, reaching diameters of 130 m, forming basin sinkholes. In some cases the runoff water carries fine particles (silts, clays) to the bottom of the sinkholes, which is thus sealed. This process allows the formation of lagoons whose persistence depends on the degree of waterproofing of the bottom.



Foto 10: Dolina aluvial en cercanías de Las Leñas

Rinnenkarren

In cordilleran gypsum outcrops within the Salado basin, the processes of dissolution and surface dissection have facilitated the formation of large rinnenkarren on the slopes, especially within the Las Leñas valley, standing out in the landscape with their whitish "pinnacles" sowing the slope (Photo 11).



Foto 11: Rinnenkarren en proximidades del centro deportivo invernal Las Leñas

Of the oldest volcanism, only remnants of basic lava flows survive erosion forming "mesas" in southern sectors of the basin as a result of an inversion of the volcanic relief.

Climatogenic forms

Glacial modeling

The Holocene basaltic lava flows are better preserved, in connection with the cone that originated them and belong to the aa and block types. Two exponents of the latter category are visible from Route 222 that runs through the



Foto 13: Colada de lava que da origen a la Laguna de la Niña Encantada

basin.
The
first
one
forms



Foto 12: Colada de lava denominada El Infiernillo

the well known Infiernillo Wash (Photo 12) while the second one is the one that has allowed the formation of the legendary Niña Encantada Lagoon as explained above (Photo 13). For the Infiernillo lava flow, which covers Lower

Cretaceous sediments, a radiocarbon age of 0.0123 ± 0.00016 Ma. is estimated (Folguera, et. al., 2009) according to the dating of organic sediments in lake deposits generated by the Salado River reservoir as a result of the same flow. The volcanic cones of the basin form a field in the northern sector of the basin that is characterized for containing basaltic-andesitic monogenetic cones, built under extensional conditions, with Pleistocene - Holocene eruptions, controlled by the direct fault system of El Infiernillo, which has a northern orientation. The Hoyada, Lagunitas and Perez volcanoes are the most prominent volcanoes and the ages of all the cones are within the interval of 0.0123 and 0.0005 Ma (Folguera, et. al., 2009).

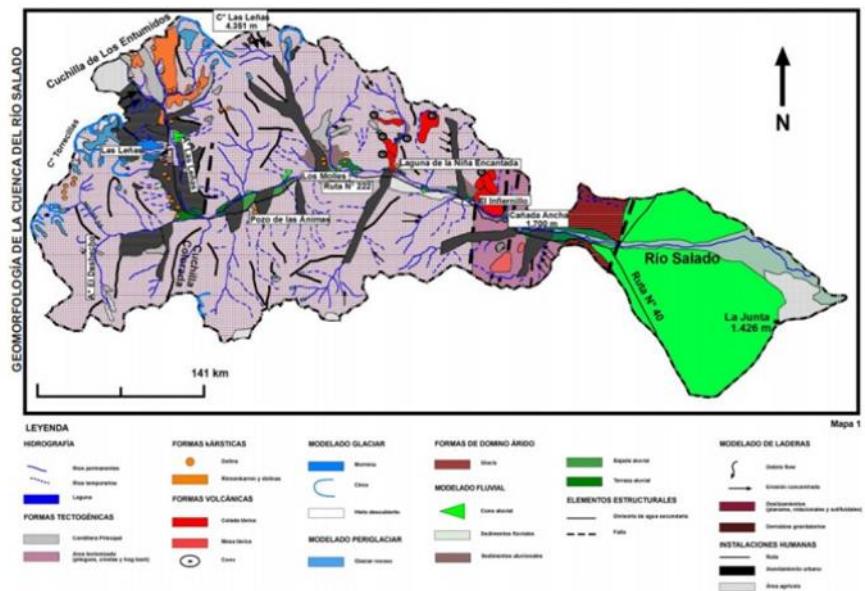
The presence of bare ice is very scarce in the basin, only visible at altitudes above 4,000 m.a.s.l., occupying the bottom of glacial cirques or on some slopes as occurs in the C° Torrecillas massif to the west of the basin. However, the action of glaciers was intense during the Pleistocene, leaving its mark in cirques that occupy the upper part of valleys and in the accumulation of material forming moraines such as the one found in the town of Las Leñas, which serves as a seat for the facilities of the sports complex. Other moraine remains are visible in the vicinity of Pozo de las Ánimas, attached to both margins or near Los Molles (2,012 m), which would be the lower limit of the glacial advance coinciding with the trough shape of the valley (Photo 14). They are also located in the highest areas of the valleys, as is the case of C° El Collar and Cajón de Los Mendinos.



Foto 14: Restos de morenas en proximidades de Los Molles

Periglacial modeling

The periglacial environment is widespread, occupying slopes and valleys above 2,600 m.a.s.l.. The activity of the freeze-thaw cycles allows intense slope dynamics, being very common the mechanisms of cryo-reptation, debris flow, solifluxion lobes, cryofraction that generates slopes covered with blocks (slopes), terracites and accumulations as a consequence of nivo-detritic avalanches. The presence of these processes is associated with the climate and the slope and lithologies present, reaching greater intensity at points where the permo-Triassic volcanites of the Choiyoi Group outcrop, which are more susceptible to erosion and occupy the higher parts of the topography. However, the most important periglacial forms are the numerous glacigenic rocky glaciers that close, in most cases, the upper headwaters of valleys and are the most extensive. Cryogenic rock glaciers are located on some slopes and occupy small areas (Map 1). The hydrological importance of these glaciers is great since they contribute almost all of the flows that form the Salado River and its tributaries.



Map 1

Glacis

There is a small glacis at the foot of the eastern front of the mountain range. It is an inclined plane generated by the erosion of various sedimentary formations and stands out in the landscape by the regularization of its upper part and the angular discordance that keeps with respect to the substrate composed of sedimentary sediments tilted by tectonics. In its area there are numerous oil exploitations.

Fluvial modeling

Alluvial cones are undoubtedly the most numerous and widespread fluvial forms, as in the case of the large fluvioglacial cone formed by the Salado River at its outlet to the foothills, possibly formed during the maximum glacial period in the basin and which serves as a seat for the town of La Junta and the entire adjacent agricultural area.

The rest of the cones have their origin in the sediments dragged and deposited by the water courses during the thaws or by the summer floods produced by sometimes torrential rains. The latter transport large quantities of materials that give rise to the cones or accumulate within the valleys as alluvial deposits. The cones are sometimes arranged in a coalescent manner forming alluvial bajadas. A fluvioglacial terrace elaborated by the Salado River is also recognizable as it is inscribed within the sediments deposited by it, which proves a change in its dynamics through time with a period of accumulation (glacial maximum) and another of dissection generated by glacial melting.

Alluvial deposits

They are found in alluvial plains elaborated by the Salado River as well as in the tributary streams that have alluvial deposits in their beds.

Conclusión

Este es un punto de gran importancia debido a los afloramientos mencionados que componen gran parte de la Cuenca Neuquina. A lo largo del valle del río pueden observarse afloramientos inclinados y deformados (Gr. Mendoza y Gr. Neuquén) producto de la tectónica andina y la formación de la FPyC. También son de interés los flujos lávicos con morfología de bloques que cubren estos depósitos y que pueden apreciarse en la zona del Infiernillo.

Conclusion

This is a point of great importance due to the mentioned outcrops that compose a great part of the Neuquén Basin. Along the river valley, inclined and deformed outcrops can be observed (Gr. Mendoza and Gr. Neuquén) as a result of Andean tectonics and the formation of the FPyC. Also of interest are the lava flows with block morphology that cover these deposits and that can be seen in the area of the Infiernillo.

Agradecimientos

Ante todo quiero agradecer los proyectos Jorge Alberto Sábato de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Cuyo, por el financiamiento para el desarrollo del mismo, a la Dirección de Promoción y Políticas Turísticas de la Municipalidad de Malargüe por proveer herramientas necesarias.

Muestro mis más sinceros agradecimientos al coordinador, Diego Cattaneo, y a Martín Flores quienes con sus conocimientos y su guía fueron una pieza clave para que pudiera desarrollar el informe y diseño de la cartelería, fueron imprescindibles para cada etapa de desarrollo del trabajo. También a los profesores involucrados en el proyecto que me orientaron para la presentación del mismo.

Acknowledgements

First of all, I would like to thank the Jorge Alberto Sábato project of the Faculty of Exact and Natural Sciences of the National University of Cuyo for financing the development of this project, and the Directorate of Tourism Promotion and Policies of the Municipality of Malargüe for providing the necessary tools.

My most sincere thanks to the coordinator, Diego Cattaneo, and to Martín Flores, whose knowledge and guidance were a key element for the development of the report and the design of the signage, which were essential for each stage of the work development. I would also like to thank the professors involved in the project who guided me in the presentation of the project.

Glosario

Anticlinales: Un anticlinal es un pliegue de la corteza terrestre que presenta los estratos más antiguos en su núcleo. Se forman por los efectos tectónicos de la dinámica terrestre.

Basaltos del Tromen: Basalto VI (Formación Tromen): Esta unidad constituye el cono superior del Tromen y consiste en depósitos de cenizas y eyectos basálticos de paredes muy empinadas.

Colada de lava: Las coladas de lava son las masas fundidas de magma emitidas por un volcán. Tienen un amplio rango de composiciones (desde basálticas a riolíticas y, en ocasiones tan raras como las carbonatitas) y sus propiedades físicas están muy condicionadas por su composición, su contenido en volátiles, en cristales o por su historia de enfriamiento.

Cuenca: Territorio cuyas aguas fluyen todas hacia un mismo río, lago o mar, y a esta clase de cuencas se les llama “cuencas hidrográficas”.

Escoria: Se denomina escoria volcánica a varios materiales de origen volcánico. Uno de estos es material vesiculado de tamaño lapilli o mayor de composición basáltica o andesítica. Otro uso del término es para denominar la corteza áspera y vesiculada de corridas de lava andesítica o basáltica.

Kársticos: Con el nombre de karst (procedente de Karst, nombre alemán de la región italo-eslovena de Carso), relieve kárstico, carst, carsto o carso se conoce a una forma de relieve originada por meteorización química de determinadas rocas, como la caliza, dolomía, yeso, etc., compuestas por minerales solubles en agua.

Lapilli: Pequeño fragmento de lava arrojado durante la erupción de un volcán; cuando son muy abundantes se acumulan en capas en forma de cono volcánico.

Periodos geológicos: Un período geológico es una unidad geocronológica formal de la escala temporal geológica que representa el tiempo correspondiente a la duración de un sistema, la unidad cronoestratigráfica equivalente que comprende todas las rocas formadas en ese tiempo.

Volcán monogenético: Volcán construido por el o los productos de una erupción o una fase eruptiva. Esta puede durar desde semanas hasta varios años, pero es esencialmente una erupción prolongada involucrando un tipo de magma, la cual suele ocurrir a través de un único conducto de salida a partir de un sistema alimentador simple. Generalmente estos centros corresponden a conos, anillos o depresiones de dimensiones pequeñas y pueden tener asociados flujos de lava.

Xerófilo: adj.[Bio. vegetal] Que está adaptado para vivir en lugares o ambientes secos; suele presentar modificaciones tales como raíces muy largas, parénquimas almacenadores de agua u hojas pequeñas y verdes durante todo el año.

Glossary:

Anticlines: An anticline is a fold in the earth's crust that has the oldest strata in its core. They are formed by the tectonic effects of the earth's dynamics.

Basalts of the Tromen: Basalt VI (Tromen Formation): This unit constitutes the upper cone of the Tromen and consists of ash deposits and basaltic ejecta with very steep walls.

Basin: Territory whose waters all flow into the same river, lake or sea, and these types of basins are called "hydrographic basins".

Geologic periods: A geologic period is a formal geochronologic unit of the geologic time scale that represents the time corresponding to the duration of a system, the equivalent chronostratigraphic unit comprising all the rocks formed in that time.

Karst: A form of relief caused by chemical weathering of certain rocks, such as limestone, dolomite, gypsum, etc., composed of water-soluble minerals, is known as karst (from Karst, the German name for the Italo-Slovene region of karst), karst relief, karst, karst, karst or karst.

Lapilli: Small fragment of lava thrown during the eruption of a volcano; when they are very abundant they accumulate in layers in the form of a volcanic cone.

Lava flow: Lava flows are molten masses of magma emitted by a volcano. They have a wide range of compositions (from basaltic to rhyolitic and sometimes as rare as carbonatites) and their physical properties are strongly conditioned by their composition, volatile content, crystals or cooling history.

Monogenetic volcano: Volcano built by the product(s) of an eruption or eruptive phase. This can last from weeks to several years, but is essentially a prolonged eruption involving one type of magma, which usually occurs through a single outlet conduit from a single feeder system. Generally these centers correspond to cones, rings or depressions of small dimensions and may have associated lava flows.

Slag: Several materials of volcanic origin are called volcanic slag. One of these is vesiculated material of lapilli size or larger of basaltic or andesitic composition. Another use of the term is to denote the rough and vesiculated crust of andesitic or basaltic lava flows.

Xerophytic: adj. [Bio. vegetal] Adapted to live in dry places or environments; usually presenting modifications such as very long roots, water-storing parenchyma or small, green leaves throughout the year.

Bibliografía - Bibliography:

- Programa nacional de cartas geológicas de la república argentina. Hoja geológica 3569-iii/3572-iv. Malargüe.
- Proyecto: “Macrozonificación y delimitación territorial de la Cuenca del Río Salado”,
- Instituto de geología y recursos minerales. [Http://www.segemar.gov.ar/igrm/](http://www.segemar.gov.ar/igrm/)
- Barrera, e. 2006. Turismo rural: nueva ruralidad y empleo rural no agrícola. (en línea).
- Montevideo: cinterfor/oit. (trazos de la formación, 32).
- <http://www.cinterfor.org.uy/public/spanish/region/ampro/cinterfor/publ/barrera/index.htm>.
- El volcanismo del terciario superior del sur de Mendoza
- Francisco e. Nullo¹, George c. Stephens², Juan Otamendi³ y Paul e. Baldauf⁴
- Atlas geomorfológico de la provincia de Mendoza
- https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/15157/mikkan-atlasgeomorfologico-tomoii.pdf
- Tarbuck, E.J. y Lutgens, F.K. (2005): Ciencias de la Tierra: Una introducción a la Geología física. 8^a ed. 710 pp.
- Evolución estructural de la cordillera principal entre Las Choicas y Santa Elena (35°S), provincia de Mendoza, Argentina Mescua, José Francisco 2011