



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Trabajo Final de Licenciatura en Geología:

**Estudio estratigráfico e icnológico de la Formación
La Laja, en la Quebrada Juan Pobre. Importancia del
yacimiento paleontológico como sitio de interés
geológico en la Precordillera Oriental de San Juan,
Argentina.**

Alumno: Esteban Felipe Torres Parra

Directora: Dra. Laura León

Co-Directora: Lic. Adriana Bracco

San Juan, Argentina

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**Estudio estratigráfico e icnológico de la Formación
La Laja, en la Quebrada Juan Pobre. Importancia del
yacimiento paleontológico como sitio de interés
geológico en la Precordillera Oriental de San Juan,
Argentina.**

Tribunal Examinador:

- Prof. Victor Hugo Contreras
- Esp. María Martha Caballero
- Lic. Esteban Pelegrina

Calificación:



*"Al final, solo conservamos lo que amamos, amamos lo que
conocemos y conocemos lo que se nos enseña"*

Baba Dioum

Agradecimientos

Gracias a mi familia por siempre contar con su apoyo en mi vida, y en especial en mi etapa universitaria. Primero y por sobre todo a mis padres, por apoyarme en todos mis proyectos, sin ustedes yo no estaría acá. Esta tesis está dedicada a ustedes por inculcarme desde pequeño el valor de la educación y el amor hacia la naturaleza. A mis hermanos, hermanas y sus familias por los buenos momentos que pasamos y por darme el ánimo necesario para retomar cada año.

Gracias a mis compañeros de carrera, a quienes estuvieron antes y después que mí, a quienes dejaron la carrera y a quienes se sumaron por la ayuda, amistad y apoyo que me entregaron para lograr el sueño de ser profesional. Gracias a mis amigos por acompañarme en todos mis años como estudiante.

Gracias a todos los profesionales que trabajan en la universidad. Al equipo que trabaja en el departamento de Geología, a los profesores y ayudantes de todas las materias; al personal del comedor, de biblioteca, los cargos administrativos, al personal de aseo y de seguridad.

Agradezco a mi directora de tesis Dra. Laura León y a mi codirectora Lic. Adriana Bracco por generosamente poner a mi disposición su tiempo, paciencia, conocimientos, recursos y buena voluntad. A su experiencia y dedicación se suma el apoyo brindado por el Instituto de Geología Dr. Emiliano P. Aparicio (INGEO) a quien agradezco por haberme permitido utilizar sus instalaciones y por haber otorgado los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación. Sin su apoyo, este proyecto no habría sido posible.

Hablando como extranjero, agradezco a la República Argentina la posibilidad de poder estudiar la carrera de Licenciatura en Geología de forma pública y gratuita. Gracias por haberme acogido todos estos años y convertirse en mi segundo hogar.

Finalmente, gracias a Dios por la protección, por poner a las personas indicadas en mi camino y por todo lo que he aprendido en este tiempo.

ÍNDICE

1	Resumen.....	7
2	Introducción	7
2.1	Antecedentes generales.....	7
2.2	Motivos y objetivos	11
2.2.1	Motivos	11
2.2.2	Objetivo general.....	11
2.2.3	Objetivos específicos.....	11
2.3	Metodología de trabajo.....	11
2.4	Área de estudio y vías de acceso	12
3	Geografía.....	14
3.1	Fisiografía	14
3.1.1	Orografía	14
3.1.2	Hidrología superficial	14
3.2	Suelos.....	15
3.3	Flora.....	15
3.4	Fauna	16
3.5	Clima	17
3.6	Accesibilidad.....	17
4	Conceptos básicos en icnología.....	18
4.1	Marco conceptual de la icnología.....	18
4.2	Principios icnológicos	20
4.3	Clasificaciones preservacionales de las trazas fósiles	21
4.4	Etología de los organismos productores	22
4.5	Aportes de los estudios de trazas fósiles a la paleoecología.....	26
4.6	Asociaciones de trazas fósiles y reconstrucciones paleoambientales	27
4.7	Escalonamiento o tiering.....	31
4.8	Icnotaxobases.....	31
5	Geología Regional.....	33
5.1	Ubicación Geológica	33
5.2	Geología Estructural de Precordillera Oriental	35
5.3	Geología Local	36
5.3.1	Estratigrafía	36
6	Análisis estratigráfico e icnológico.....	42
6.1	Estratigrafía local.....	42

6.2	Descripción de la columna estratigráfica	43
6.3	Iconología sistemática	48
6.4	Descripción de muestras	50
6.5	Iconofacies	58
6.6	Paleoecología y paleoambiente	60
7	Evaluación y propuesta del área de estudio como sitio de interés geológico	64
7.1	Conceptos y principios asociados al Patrimonio Geológico	64
7.1.1	Geodiversidad	64
7.1.2	Geoconservación	64
7.1.3	Geositios	65
7.2	Criterios de valoración	65
7.3	Propuesta de ficha descriptiva	67
7.4	Caracterización del geositio	67
7.5	Valoración del geositio	70
7.6	Guía para la descripción de geositios según Segemar	72
8	Consideraciones Finales y conclusiones	75
9	Bibliografía	77
10	Anexos	83
10.1	Anexo 1	83
10.2	Anexo 2	84
10.3	Anexo 3	87
10.4	Anexo 4	88
10.5	Anexo 5	89
10.6	Anexo 6	90
10.7	Anexo 7	91

1 Resumen

La Quebrada Juan Pobre, a pesar de su cercanía a la ciudad de San Juan y fácil acceso, ha sido poco estudiada en lo que respecta a su contenido en trazas fósiles. A base del análisis estratigráfico e icnológico presentado en este trabajo, se proponen hipótesis en torno a los organismos productores y al posible ambiente de sedimentación. También se realizó una descripción general del sitio, abarcando sus distintas características geológicas, y se evaluó su potencial como geosito.

2 Introducción

2.1 Antecedentes generales

Entender el funcionamiento de toda comunidad requiere del análisis y comprensión no sólo de las relaciones de los organismos entre sí, sino también de la valoración de los efectos que el ambiente ejerce sobre la biota y del modo en que ésta modifica al ambiente. El análisis de estos efectos es muy complejo, y no siempre posible, debido a las intrincadas interrelaciones que se establecen entre ellos.

A partir de la década del 60 y 70, con el auge de la ecología se produjo también un importante avance en los estudios paleoecológicos. La paleoecología estudia la relación de los organismos fósiles con sus ambientes físicos y biológicos, basándose en el concepto del Uniformitarismo, por medio del cual se utilizan los procesos modernos, así como los organismos y las comunidades actuales, para interpretar el registro fósil.

Una comunidad moderna está compuesta por especies de organismos que co-existen dentro de un mismo rango de parámetros ambientales (Brenchley y Harper, 1998). Por el contrario, una paleocomunidad está constituida por los restos fosilizados de la comunidad extinta, luego de que los procesos de descomposición y destrucción hayan afectado a los organismos originales. Es importante señalar que las muestras que se interpretan como paleocomunidades deben estar compuestas por fósiles preferentemente in-situ o con poco retrabajo. A pesar de las dificultades que se generan por las características propias del registro fosilífero, existe una gran cantidad de información disponible en los afloramientos que nos permite inferir y descifrar el funcionamiento de un organismo fósil o de una paleocomunidad en relación al ambiente en el que se desarrollaron.

Una disciplina relativamente nueva, denominada icnología, permite recuperar parte de la información concerniente a los componentes de cuerpo blando de una comunidad por medio

del estudio de las estructuras biogénicas que estos organismos producen en el sedimento (Seilacher, 1967). Esta disciplina se encarga del estudio de toda evidencia de comportamiento de los organismos que queda registrada en el sustrato, brindando una visión novedosa del registro paleontológico (incorporando la información de los organismos de cuerpo blando) y permitiendo una caracterización más realista de las comunidades bentónicas. Como tal, la icnología abarca tanto el estudio de los procesos involucrados en la interacción entre organismos y sustratos, como los productos resultantes de dicha interacción (Frey, 1973). La icnología es considerada una ciencia interdisciplinaria que se nutre, a la vez que realiza significativos aportes a la biología, la etología, la sedimentología, entre otras disciplinas (Bromley, 1996).

Tradicionalmente las contribuciones de la icnología han estado centradas en el uso de las trazas fósiles como herramientas para la determinación de ambientes sedimentarios, debido principalmente a que la actividad de los organismos es regulada, en gran medida, por los parámetros físico-químicos del ambiente. Los registros de trazas fósiles, al reflejar las interacciones entre los organismos y el sustrato en un contexto espaciotemporal específico, también se han convertido en una valiosa fuente de información sobre la morfología y el comportamiento de las comunidades del pasado (Buatois & Mángano, 2011). En los estudios sedimentológicos realizados previamente en los depósitos cámbricos analizados, existen menciones de la presencia de estructuras biogénicas. Sin embargo, la información icnológica siempre estuvo orientada a la caracterización facial y no en las implicancias paleoecológicas que las mismas presentan en el entendimiento de las comunidades cámbricas.

El estudio estratigráfico e icnológico va más allá de descifrar la historia de la Tierra y los procesos geológicos que la han moldeado. Su valor radica también en su aplicación para la sociedad, particularmente en la conservación y valorización del geopatrimonio. Es en ese sentido que este trabajo propone no solo estudiar la estratigrafía y la icnología de la zona en cuestión, sino también reconocerla como un sitio de interés geológico y poner en valor su relevancia, destacando sus principales atributos geológicos.

En varios países del mundo, el estudio del patrimonio geológico figura entre las más recientes áreas de investigación incorporadas al ámbito de la Geología. Existe entonces una nueva manera de entender el papel del hombre y su relación con la Tierra.

A nivel internacional, una de las primeras iniciativas para la confección de un inventario de geositorios se realizó en Reino Unido a mediados de los años en 70. A partir de esta se impulsó

la creación de la “Geological Conservation Review”, fundada en 1977. Este organismo se encargó de la realización de un inventario general, que concluyó en 1990. Una característica importante del éxito de esta iniciativa es que fue desarrollada con el respaldo de una figura de protección legal del patrimonio geológico.

En varios países del mundo se han confeccionado inventarios sistemáticos de Geositorios, incluyendo Australia, Alemania, Portugal o España (entre otros), impulsados por organismos institucionales. En la mayoría de los casos exitosos, los inventarios parten del trabajo conjunto de agrupaciones de geólogos e instituciones universitarias que se organizan a nivel regional o estatal, dependiendo del caso. La gran mayoría de inventarios de sitios de interés geológico en el mundo corresponden a catálogos realizados en zonas rurales, y por lo general, enfocados en parques nacionales. Son pocos los antecedentes de inventarios geológicos en zonas urbanas.

A partir de 1999 la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), lanza su programa de Geoparques para “promover una red mundial de geositorios con características geológicas especiales” (UNESCO, 2008) enfocado en la preservación de ejemplos significativos de nuestro entorno geológico como parte integral de las estrategias locales para el desarrollo sostenible. Actualmente la idea de Geoparques bajo el amparo de la UNESCO se ha extendido a todo el mundo dando origen a la Red Global de Geoparques (Global Geoparks Network). Desde entonces, el número de territorios amparados bajo esta denominación ha ido en aumento, superando en nuestros días los 213 Geoparques, distribuidos en 48 países.

A nivel nacional Argentina alberga una inmensa variedad de escenarios naturales, no obstante, son escasas las iniciativas asociadas a su protección. Cabe destacar, sin embargo, algunas iniciativas de geoconservación en distintos ámbitos que brindan una base para futuras políticas, como el Monumento Nacional Bosques Petrificados en la Patagonia, la ley de glaciares, formalmente llamada Régimen de Presupuestos Mínimos para la Preservación de los Glaciares y del Ambiente Periglacial N.º 26.639.

A nivel provincial, San Juan cuenta desde el año 1997 con la Ley Provincial N.º 6.801 (actualmente 571-F) donde se regula la protección, conservación, restauración, acrecentamiento y difusión de todos aquellos bienes que conforman el Patrimonio Cultural y Natural de la Provincia de San Juan, y a partir del año 1998 cuenta con la Ley Provincial N.º 6.911 donde se regulan todas las actividades tendientes a proteger, conservar, preparar y promover el aprovechamiento sustentable de biodiversidad, el paisaje y el patrimonio natural, y la creación, fiscalización y desarrollo de las Áreas Naturales Protegidas. Desde el año 2000 cuenta con uno

de los sitios inscritos en la lista de patrimonio en la humanidad, que corresponde a un bien natural, el Parque Provincial Ischigualasto.

En torno a la ciudad de San Juan es posible encontrar sitios con muy buenas características, ya sea porque representan muy bien algún proceso geológico, porque generan algún interés científico para la investigación, porque dadas sus características facilitan la docencia o porque presentan además del interés geológico, algún interés relevante fuera del ámbito científico. Un ejemplo de aquello es el parque natural y paisaje protegido Loma de las Tapias, protegido por la ley provincial 7.307, donde se declara que se deben implementar medidas dirigidas para el resguardo del ambiente natural y la preservación de la inalterabilidad de los rasgos naturales del paisaje. El Instituto de Geología de la Universidad Nacional de San Juan (INGEO) lleva adelante un programa de extensión universitaria titulado “Programa de inventario, preservación y uso sustentable del patrimonio geológico y paleontológico de la Precordillera de San Juan y regiones vinculadas, Argentina” que, entre sus iniciativas, alberga el proyecto de geoparque "Cerro Valdivia", este proyecto, que se desarrolla desde el año 2017, ya ha capacitado a 21 personas en la interpretación del patrimonio geológico, natural e histórico a través de una diplomatura, la cual tiene como objetivo la formación de personas para que puedan desempeñarse como anfitriones e intérpretes de la naturaleza, promoviendo su conservación y desarrollo sustentable. Este programa además cuenta con otras iniciativas, tales como “Puchuzum”, “Quebrada de Talacasto”, “Bosque petrificado de Barreal”, entre otros, que cuentan con distintos niveles de avance.

Existe un potencial no explotado en el ámbito del patrimonio geológico, en donde es posible utilizar un recurso geológico y explotarlo de manera sostenible, generando un nuevo paradigma, donde se abre un nuevo campo de desarrollo en la geología.

2.2 Motivos y objetivos

2.2.1 Motivos

El motivo primordial para la realización de este trabajo es dar cumplimiento a lo establecido por la reglamentación vigente en lo referente a la obtención del título de Licenciado en Ciencias Geológicas.

2.2.2 Objetivo general

Realizar un análisis estratigráfico e icnológico de las rocas carbonáticas cámbricas de la Formación la Laja, aflorantes en la Quebrada de Juan Pobre. Adicionalmente, se elaborará una descripción geológica general de la zona, con el propósito de realizar una evaluación preliminar del área como posible sitio de interés geológico.

2.2.3 Objetivos específicos

- 1) Describir la estratigrafía del Miembro Juan Pobre, en los afloramientos expuestos en la Quebrada Juan Pobre, identificar los distintos tipos de roca, estructuras sedimentarias y la presencia de contenido fósil. Elaborar una columna estratigráfica.
- 2) Identificar la taxonomía de las trazas fósiles identificadas.
- 3) Analizar etológicamente las trazas fósiles colectadas. Determinar sus características preservacionales y clasificarlas.
- 4) Determinar las características paleoecológicas y paleoambientales.
- 5) Describir, mediante la investigación bibliográfica y visitas en terreno, de las principales características geológicas de la Quebrada de Juan Pobre. Evaluar el lugar como potencial sitio de interés geológico mediante el uso de metodologías de evaluación y calificación de sitios de interés geológico.

2.3 Metodología de trabajo

- Trabajo de Gabinete inicial: Investigación de antecedentes bibliográficos sobre el tema de estudio (icnología y geopatrimonio) y antecedentes geológicos (estratigráfica, geomorfológica, paleontológica, estructural, tectónica) e históricos de la zona de estudio. Análisis e interpretación de las imágenes satelitales obtenidas por medio de softwares como QGIS y Google Earth. Elaboración de un mapa geológico base utilizando el software QGIS.
- Trabajo de campo: Control de la cartografía realizada en gabinete a partir del uso de imágenes satelitales. Identificación en el terreno de los límites estratigráficos y

tectónicos que vinculan las distintas unidades estratigráficas del lugar. Reconocimiento geológico para realizar observaciones sobre la geomorfología, la estructura, la litología y la presencia estructuras sedimentarias y biogénicas. Medición de espesores de estratos y descripción de contactos entre unidades estratigráficas. Recolección de muestras para realizar laminas delgadas de las litologías más representativas. Documentación fotográfica de las observaciones realizadas en campo.

- Trabajo de Gabinete final: Análisis de la información colectada.

Descripción en microscopio óptico petrográfico de los cortes delgados a los fines de una determinación litológica más exacta, según la clasificación de rocas carbonáticas de Dunham 1962, y registro fotográfico de las mismas. Análisis de muestras con trazas fósiles individuales a los fines de una determinación taxonómica de las mismas. Determinación de datos etológicos, características preservacionales y clasificación de estas. Determinación de icnotaxobases en campo y gabinete. Análisis y determinación de la paleoecología. Identificación de asociaciones icnológicas, elementos determinativos de paleoambientes.

Caracterización geológica del sitio según Segemar (2018), resaltando sus principales aspectos de interés, tales como su estratigrafía, su contenido paleontológico y sus características geomorfológicas. Valoración cuantitativa de los distintos parámetros e índices para la Quebrada según la metodología de Medina (2015). Elaboración del informe final explicativo de toda la información relevada en el área de estudio. Y propuesta de cartelería para la promoción del sitio.

2.4 Área de estudio y vías de acceso

Los límites del sector en estudio se sitúan entre los 31° 33' 40.53" S y 31° 33' 28.53" S de latitud y los 68° 41' 41.79" O y 68° 42' 39.03" O de longitud, abarcando principalmente el extremo norte de la Sierra Chica de Zonda. En la Fig.1 está delimitada parcialmente el área de afloramiento de la Fm. La Laja. Se accede al sector a través de la Ruta Provincial N°12 que une la ciudad de San Juan con la Villa Basilio Nievas, cabecera del departamento de Zonda. Se ubica dentro del Departamento de Rivadavia y se encuentra a una distancia aproximada de 17 km. desde el centro de la ciudad de San Juan.

Desde el punto de vista geológico se encuentra inmerso dentro de la Provincia Geológica de Precordillera, más específicamente dentro de Precordillera Oriental, caracterizado por una secuencia cambro-ordovícica de rocas carbonáticas (Ramos & Vujovich, 2000).

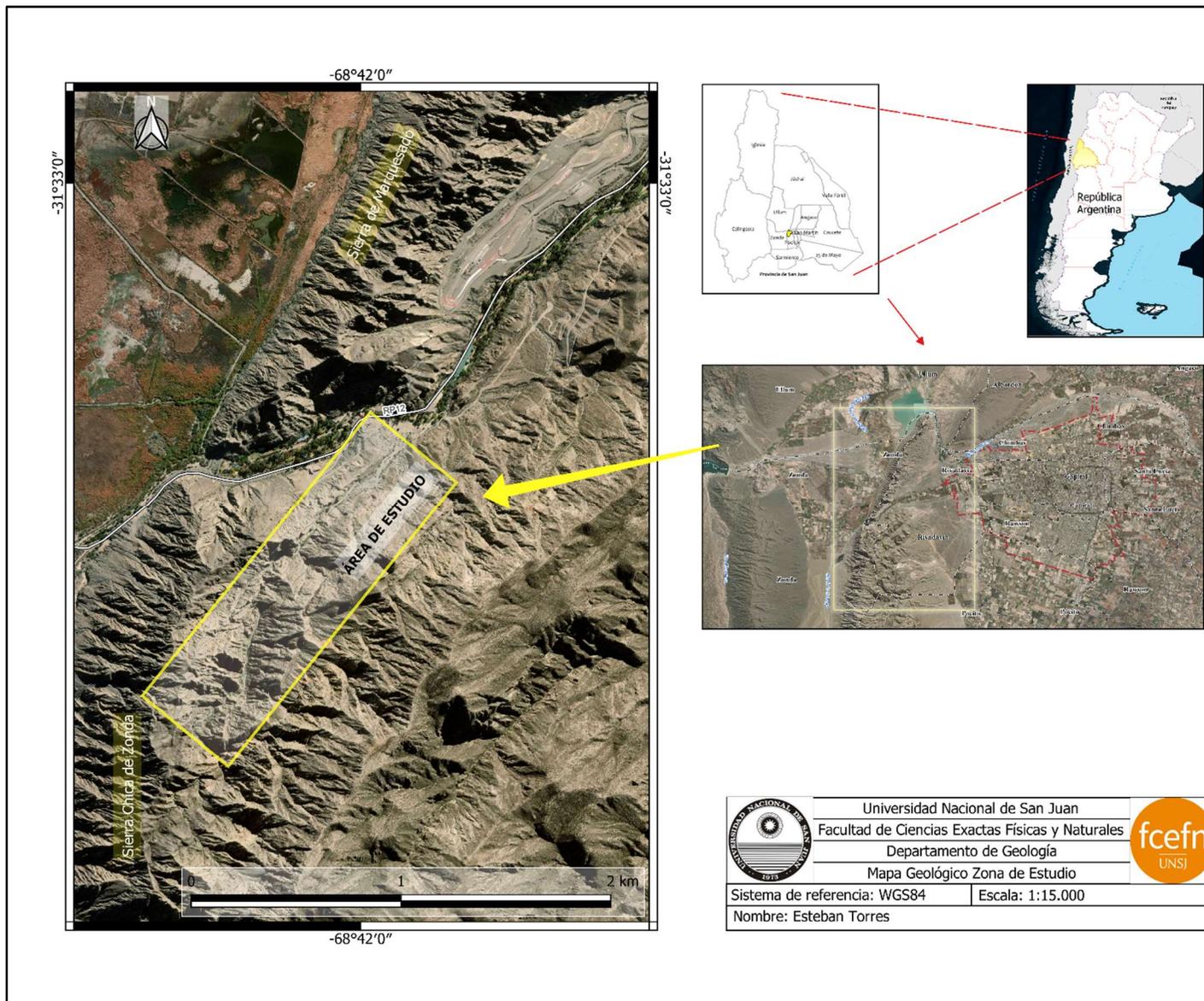


Fig. 1 Mapa de ubicación del área de estudio

3 Geografía

3.1 Fisiografía

3.1.1 Orografía

La zona en estudio se caracteriza por la presencia de cordones montañosos de variada altura, de rumbo predominante norte-sur, y forma parte de la unidad morfoestructural de Precordillera. La Precordillera, tanto geográfica como geológicamente puede dividirse en tres subunidades, Precordillera Oriental, Central y Occidental, en función a sus rasgos morfológicos y geológicos (Baldis y Chebli, 1969; Ortiz y Zambrano, 1981). La zona de estudio se ubica dentro de la Precordillera Oriental.

La Precordillera Oriental en el área de estudio, orográficamente se encuentra integrada de sur a norte por la Sierra Chica de Zonda, un elevado cordón montañoso constituido esencialmente por rocas calcáreas eopaleozoicas y que dentro de la zona de trabajo presenta su máxima altitud en el Cerro Parkinson con 1661 msnm. Separada de ésta por la Quebrada de Zonda, continúa hacia el norte la Sierra de Marquesado, también constituida por las mismas rocas calcáreas, con alturas que no superan los 1200 msnm. Más al norte, la Quebrada de Ullum la separa de las cerrilladas de baja altura de Loma de Las Tapias y Lomas de Ullum, constituidas esencialmente por depósitos clásticos sinorogénicos de edad neógena. Por último, continúa hacia el norte en un nuevo cordón predominantemente calcáreo, la Sierra de Villicum. Son escasas las quebradas que en forma transversal u oblicua cortan este tren serrano y permiten el drenaje hacia el este de ríos permanentes o temporales.

3.1.2 Hidrología superficial

El elemento fluvial que más destaca en la zona es el Río San Juan, perteneciente al sistema hidrológico Desaguadero-Colorado. Constituye un río de carácter antecedente, de régimen glacio-nival, con sus picos de máxima escorrentía entre los meses de diciembre y enero. Su caudal anual promedio ronda los 60 m³/seg, registrando crecidas milenarias que pueden superar los 1.000 m³/seg (Perucca & Esper, 2009).

Actualmente su caudal se encuentra fuertemente regulado por numerosas obras hidráulicas, para aprovechamiento hidroeléctrico y de riego, entre las que se destacan las presas de Caracoles, Punta Negra y Ullum.

El Río San Juan nace de la confluencia del Río de los Patos y el Río Castaño, en las proximidades de la localidad de Calingasta, en el valle homónimo, situado 80 km al oeste de la

capital provincial. Su nivel de base regional se sitúa en el grupo de Lagunas de Guanacache y el Rosario, en el límite interprovincial San Juan – Mendoza – San Luis.

Las características geológicas y climáticas de la región ejercen un fuerte control sobre la red de drenaje. El sistema hidrológico superficial está caracterizado por su escaso desarrollo, esencialmente en los piedemontes de las unidades montañosas circundantes que desaguan directamente en el fondo de los valles. Debido al diseño fuertemente asimétrico de estos cordones montañosos, con pendiente general muy abrupta hacia el oeste y más suave hacia el este, las redes de drenaje que desaguan a uno y otro lado tienen un desarrollo muy diferente.

3.2 Suelos

A causa de las condiciones climáticas áridas a semiáridas e hidrográficas reinantes en la región, el desarrollo de los suelos es muy escaso.

Los suelos son incipientes, esqueléticos y de poco desarrollo. Han sido clasificados por INTA (1990) como: orden Entisoles; subgrupo Torriortentes Típicos. La proveniencia de estos es de materiales aluviales y aluviales-coluviales. Presentan características de suelos jóvenes, inmaduros, con escaso desarrollo de horizontes pedogenéticos, con texturas muy diversas, que abarcan desde la fragmentaria con predominio de rodados y bloques en el faldeo, hasta limosas en las zonas deprimidas.

3.3 Flora

En sentido regional y en el sector de estudio, el tipo de vegetación corresponde principalmente con la Provincia Fitogeográfica del Monte (Hauman, 1947). La provincia del Monte se extiende en Argentina desde el valle de Santa María en Salta, por el centro de Catamarca y La Rioja, por el centro y este de San Juan y Mendoza, centro y este de Neuquén, oeste de La Pampa, centro y este de Río Negro, para culminar en el nordeste de Chubut. Provincia Fitogeográfica del Monte forma parte de la Diagonal Árida Argentina que a su vez se encuentra plenamente integrada a la Diagonal Árida Sudamericana, que es una franja de escasas precipitaciones, a casi nulas en algunos sectores, que se extiende desde las costas del norte de Perú hasta las costas patagónicas en Argentina (Bruniard, 1982).

El tipo de vegetación predominante de la provincia del Monte, son las estepas arbustivas xerófilas, sammófilas o halófitas, encontrándose también bosques marginales de mimosoideas o de sauces (Fig. 2). La vegetación es muy uniforme a pesar de la enorme área ocupada por la provincia (Cabrera, 1976; Hauman, 1947).



Fig. 2 Arbustos achaparrados y dispersos entre los reparos que deja el material no consolidado, junto a hierba de pequeño tamaño. Tomado del sitio web del Parque Nacional San Guillermo <https://www.reservasanguillermo.com/images/galeria/rbgs-05.jpg>

3.4 Fauna

Según las características zoogeográficas, la zona integra el Distrito Subandino (Cabrera, 1947). Se extiende como una faja al este del distrito andino, cuyo eje transversal tiene su extremo oriente al oeste de la Provincia de Córdoba, y cuyo eje longitudinal va desde el norte de Jujuy hasta la cordillera de Chubut. Ocupa de norte a sur la porción central de Salta, el tercio oriental de La Rioja, Catamarca y San Juan, el extremo noroeste de San Luis y la porción central y suroeste de Mendoza.

En el Distrito Subandino abundan insectos, roedores, aves y reptiles. Las especies de mamíferos que habitan la región están adaptadas a las altas y bajas temperaturas y al rigor del clima. Se destaca la presencia del guanaco (*Lama guanicoe*), puma (*Félix concolor*), zorro colorado (*Pseudalopex culpaeus*), liebre europea (*Lepus eurapaeus*), vizcacha (*Logotamus máximus*), etc. Entre los reptiles se encuentran algunas especies endémicas del género *Liolaemus*. Las aves están representadas por Jilguero grande (*Cicláis auriventris*), Cabecita negro andino (*Carduelis uropygialis*), Dormilona cenicienta (*Muscisaxicola alpina*), Cauquén (*Chloephaga melanoptera*) y Torcacita (*Columbina picui*).

3.5 Clima

En el área de estudio predomina un clima desértico, con precipitaciones muy bajas, del orden de los 90 a 120 mm/año, principalmente ocurridas desde noviembre a marzo. El clima dominante es del tipo BWwka (clasificación de Köppen, Poblete y Minetti, 1989), en donde (BW) corresponde a clima seco de desierto con vegetación xerófila o sin vegetación y concentración estival de las precipitaciones (w). El término (k) hace referencia a temperatura media anual menor de 18°C y (a) es la temperatura del mes más cálido mayor a 22°C. En este sector existe una gran amplitud térmica diaria y las máximas registradas en la estación estival exceden los 43°C, mientras que, en la estación invernal, las mínimas registradas alcanzan los 8°C bajo cero. Existe gran radiación solar y transparencia atmosférica, además de una notable amplitud térmica anual y diurna/nocturna.

Los vientos predominantes provienen del sur-sureste, generalmente frío y húmedo, y también están presentes los vientos secos provenientes del norte y noroeste denominado Zonda. Este viento, que suele alcanzar los 100 km/h, sopla preferentemente en los meses de Agosto y Septiembre y puede hacer descender la humedad del aire en un 1%. Las precipitaciones nivales son escasas, frecuentes en las líneas de cumbres serranas y se producen solo en inviernos fríos.

3.6 Accesibilidad

La Quebrada Juan Pobre, emplazada en el Departamento de Rivadavia, provincia de San Juan, Argentina, se distingue por su facilidad de acceso durante todo el año, en contraste con otras áreas montañosas de la región. Su trazado lineal y acotado de orientación noreste-suroeste, delimitado por paredes verticales y un cauce fluvial bien definido, minimiza el riesgo de perderse y facilita la circulación por el sendero principal, gracias a la ausencia de bifurcaciones significativas. No obstante, es fundamental considerar algunas precauciones durante la época estival, especialmente en periodos de lluvias torrenciales. El riesgo de crecidas repentinas del arroyo que atraviesa la quebrada exige evitar adentrarse en ella durante estos eventos para prevenir accidentes. Adicionalmente, la morfología encajonada de la quebrada, con paredes semiverticales, aumenta la inestabilidad del macizo rocoso en condiciones de humedad. Las lluvias intensas pueden desestabilizar los estratos y provocar desprendimientos de rocas, representando un peligro potencial para los visitantes.

4 Conceptos básicos en icnología

La icnología es la disciplina encargada del estudio de las estructuras biogénicas producidas por animales y plantas, generadas dentro o sobre el sustrato. El estudio de las trazas fósiles permite explorar aspectos de la paleoecología generalmente relegados en los análisis paleontológicos. El término trazas fósiles se refiere a las estructuras distintivas producto del comportamiento de los organismos que se preservan en el sedimento. El énfasis principal de la icnología está centrado en el modo en que tanto los animales como las plantas dejan un registro de su comportamiento en el sedimento (Buatois, Mángano, & Aceñolaza, 2002). Uno de los aspectos más sobresalientes de esta ciencia es que nos brinda una visión novedosa del registro paleontológico debido a su interacción con diferentes disciplinas, como la paleoecología, la sedimentología y la estratigrafía.

En general puede considerarse tres categorías de trazas fósiles (Frey, 1973; Frey & Pemberton, 1984, 1985; Pemberton et al., 2001; Buatois et al., 2002):

- 1- Estructuras de bioturbación: incluyen estructuras biogénicas que reflejan la disrupción de la estratificación física o biogénica o de la fábrica sedimentaria por causa de la actividad de un organismo dentro o por encima de un sustrato no consolidado. Dentro de esta categoría se encuentran las huellas, las pistas y las excavaciones.
- 2- Estructuras biodepositacionales: incluyen a aquellas estructuras biogénicas que reflejan la producción y concentración de sedimento por medio de la actividad de un organismo, por ejemplo, los pellets fecales, los coprolitos, las regurgitaciones y los cololitos.
- 3- Estructuras de bioerosión: consisten en estructuras biogénicas excavadas mecánica o bioquímicamente por un organismo en un sustrato duro. Incluye perforaciones, raspaduras, mordeduras y estructuras similares.

4.1 Marco conceptual de la icnología

Las trazas fósiles poseen una serie de características propias que las convierten en herramientas fundamentales para los estudios sedimentológicos, estratigráficos y paleobiológicos (Frey, 1975; Pemberton et al., 2001). Entre ellas podemos destacar:

a) Registro temporal extenso: La mayoría de las trazas fósiles presentan un rango temporal extenso, llegando algunas estructuras a abarcar la totalidad del Fanerozoico. A pesar de que esta condición pueda considerarse una desventaja para el uso de la icnología en la bioestratigrafía (donde el mayor aporte lo realizan los fósiles guías, que abarcan cortos

intervalos de tiempo y una amplia distribución), constituye una característica fundamental que favorece la comparación de rocas pertenecientes a diferentes edades (Pemberton et al., 2001).

b) Rango facial restringido: Como se dijo anteriormente, las trazas fósiles constituyen la respuesta de los organismos frente a las condiciones del ambiente. De esta manera, el hecho que las trazas fósiles presenten un rango facial restringido implica que la asociación de ciertas estructuras biogénicas va a responder a parámetros ambientales determinados. En este sentido puede considerarse a los icnofósiles como fósiles de facies (Buatois et al., 2002), los cuales aportan información valiosa en cuanto a las condiciones paleoecológicas y paleoambientales dominantes en el momento de la depositación.

c) Ausencia de transporte: Las trazas fósiles representan la evidencia de la actividad biológica in situ, presentando una estrecha relación con el sustrato (Pemberton et al., 2001). De este modo, las trazas fósiles, al carecer usualmente de desplazamiento secundario, reflejan las condiciones originales del ambiente de depositación. Esta característica de los icnofósiles constituye una importante diferencia con respecto a las asociaciones de cuerpos fósiles, ya que estos últimos generalmente se encuentran retrabajados, y requieren de este modo, un análisis previo donde se evalúe el transporte sufrido antes de analizar el significado de la paleocomunidad.

d) Presencia en rocas no fosilíferas: Las condiciones de preservación de las trazas y los cuerpos fósiles son distintas. Por esta razón, es común encontrar estructuras biogénicas en rocas no fosilíferas. Aún más, en muchos casos, los procesos diagenéticos que destruyen los cuerpos fósiles, pueden resaltar las estructuras biogénicas (Pemberton et al., 2001).

Si bien podría considerarse una desventaja el hecho que las trazas fósiles no se preserven junto a los cuerpos de los organismos bioturbadores, podemos ver que esta condición de preservación diferencial es ventajosa al analizar sucesiones en las que los icnofósiles constituyen la única evidencia de actividad biológica disponible.

e) Producción por biotas de cuerpo blando: Los organismos de cuerpo blando, aunque constituyen el mayor porcentaje de biomasa en prácticamente todas las comunidades, se preservan como cuerpos fósiles sólo bajo circunstancias extraordinarias, encontrándose generalmente subrepresentados en los estudios de reconstrucciones de paleocomunidades.

Los estudios icnológicos permiten, por el contrario, rescatar la información de los organismos sin partes duras, ya que es común que se preserve el registro de su actividad por medio de las trazas fósiles. Esta condición permite obtener una visión más global de la

estructura trófica y de la riqueza total de las comunidades, siendo una herramienta fundamental a la hora de realizar reconstrucciones paleoecológicas (Ekdale et al., 1984).

f) Evidencia de comportamiento: Los estudios sobre la morfología y los patrones arquitecturales en la construcción de los icnofósiles, permiten no sólo reconocer en muchos casos los organismos constructores, sino también sus características tróficas, modo de vida, forma de desplazamiento, etc. (Buatois et al., 2002)

4.2 Principios icnológicos

Existen una serie de principios que deben tenerse en cuenta a la hora de realizar análisis e interpretaciones de las trazas fósiles, especialmente cuando se intenta asignar una determinada estructura biogénica a un organismo productor (Bromley, 1996). Entre estos principios podemos citar:

a) Una misma estructura biogénica puede estar generada por diferentes organismos: Este principio está basado en el concepto de convergencia etológica; organismos diferentes pueden responder funcionalmente de la misma manera frente a condiciones ambientales similares (Bromley, 1996).

b) El mismo organismo puede producir más de una estructura biogénica: Este principio se basa en el hecho de que un mismo organismo presenta diferentes comportamientos de acuerdo con las funciones que realiza y con las condiciones ecológicas del medio que habita (Bromley, 1996).

c) La misma estructura biogénica generada en sustratos diferentes se puede preservar de manera distinta: La misma técnica de excavación puede generar estructuras aparentemente distintas si se producen en sustratos con diferente consistencia, tamaño de grano y diferente disposición dentro del sustrato (Buatois & Mángano, 2011).

d) Una misma estructura puede estar reflejando la acción de varios organismos distintos: Este principio se basa en el hecho de que organismos distintos pueden habitar y modificar una misma estructura, ya sea al mismo tiempo o en períodos diferentes (Buatois et al., 2002).

4.3 Clasificaciones preservacionales de las trazas fósiles

Para la identificación de las trazas y para interpretar el modo de construcción, es necesario analizar y entender el modo de preservación de estas. La toponimia (o estratinomía) comprende la descripción y clasificación de los icnofósiles de acuerdo al modo de preservación y ocurrencia, y de manera secundaria, incluye los procesos mecánicos-sedimentológicos de preservación de las trazas fósiles (Buatois et al., 2002). Según Bromley (1996), la toponimia consiste en la expresión morfológica de un icnotaxón y varía de acuerdo a si la estructura se encuentra preservada dentro de un estrato pelítico o arenoso, o si se preserva en la superficie limitante entre ellos, que puede ser la base o techo de un estrato.

Diversos autores han propuesto diferentes clasificaciones en base a las características toponímicas de los icnofósiles, de las cuales las más utilizadas son la clasificación de Seilacher (1964) y la de Martinsson (1970) (Fig. 3). Seilacher (1964) propuso tres categorías para describir los modos de preservación de las trazas fósiles: preservación en relieve completo (estructuras dentro de una capa), semirelieve (trazas en la interfase litológica, diferenciando hiporelieve y epirelieve) y estructuras biodeformacionales (disturbancias de la estratificación). Por su parte, Martinsson (1970), propuso una clasificación que comprende cuatro categorías preservacionales: epicnia (cuando las estructuras se preservan en el tope de las capas, ya sea como surcos o como crestas); hipicnia (las trazas se preservan en las bases de las capas, y al igual que en el caso anterior, se diferencian en surcos y crestas), endicnia (cuando los icnofósiles se preservan dentro de las capas de sedimento) y exicnia (cuando la preservación ocurre fuera de las capas sedimentarias). Ambas clasificaciones tienen como referencia la relación entre el icnofósil y el medio moldeador (casting medium), el cual comprende generalmente un estrato arenoso.

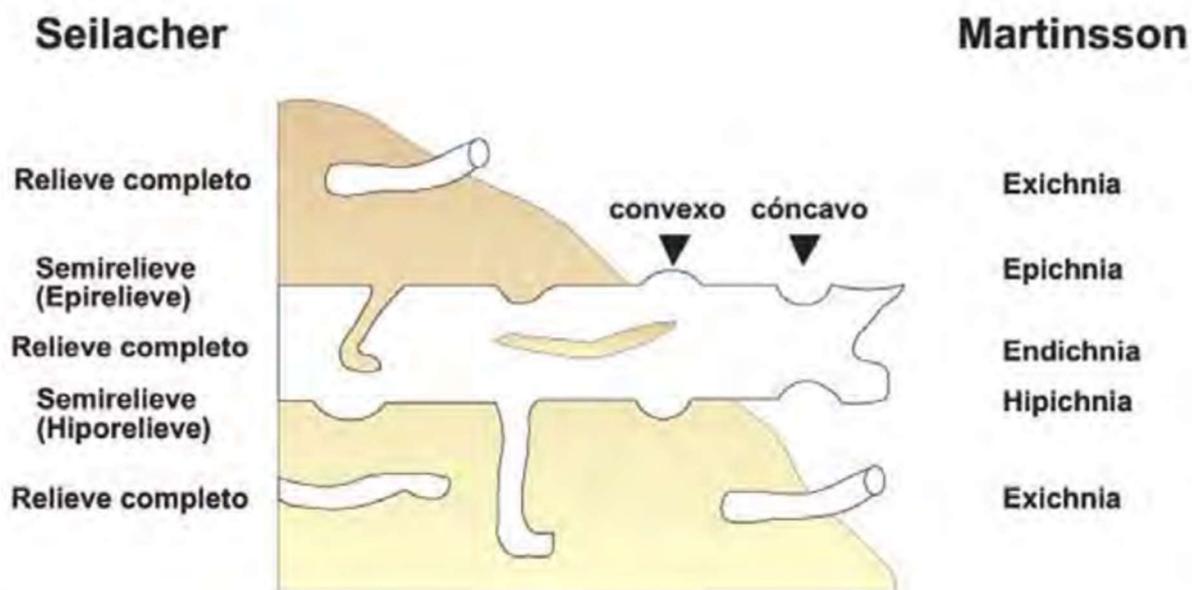


Fig. 3 Clasificación toponímica de las trazas fósiles en relación al medio moldeador. En la izquierda se clasifican las estructuras de acuerdo a la terminología propuesta por Seilacher (1964), y en la derecha se encuentran los términos propuestos por Martinsson (1970) (tomado de Bromley, 1996).

4.4 Etología de los organismos productores

Las trazas fósiles constituyen el registro de la actividad de los organismos en el pasado y por lo tanto son consideradas como señales de comportamiento (Buatois et al., 2002). Las mismas reflejan no sólo el modo de vida de los individuos sino también evidencian aspectos ecológicos y funcionales de los mismos, así como la relación con los parámetros ambientales dominantes. (Pemberton et al., 2001).

De este modo, uno de los aportes biológicos más interesantes de la Icnología es la información sobre la etología de los organismos productores. En este sentido, Seilacher (1953) propuso un esquema de clasificación etológica para las estructuras biogénicas. Este esquema original contaba con cinco categorías básicas de comportamiento basadas en los estudios realizados en ambientes marinos. En los últimos años se han adicionado nuevas categorías que complementan a la anterior, y que cubren otros tipos de comportamientos y ambientes (por ejemplo, las estructuras biogénicas de los depósitos continentales). El esquema actual de categorías etológicas en uso es el siguiente (Bromley, 1996; Pemberton et al., 2001) (Fig. 4):

Cubichnia (trazas de descanso): incluyen aquellas impresiones dejadas por los organismos cuando estos están en reposo. Estas trazas usualmente revelan las características lateroventrales de los organismos productores. Idealmente estas trazas se encuentran aisladas,

aunque la mayoría de las veces presentan intergradaciones con trazas pertenecientes a otras categorías etológicas. Ejemplo: Asteriacites, Lockeia, Rusophycus.

Repichnia (trazas de locomoción): estructuras epiestratales o intraestatales realizadas por organismos que se desplazan de un punto a otro. El énfasis está puesto en la locomoción. Son estructuras lineales o sinuosas. Ejemplos: Cruziana, Diplichnites

Pascichnia (trazas de pastoreo): en esta categoría la actividad de locomoción y de alimentación se combinan, ya que el organismo se alimenta a medida que se produce el desplazamiento. Pueden presentarse sobre el sustrato o dentro del mismo, y por lo general no revelan las características morfológicas de los productores. Algunas de estas estructuras pueden presentar patrones complejos de utilización del espacio para alimentación. Ejemplos: Helminthorhapse, Gordia, Scolicia.

Fodinichnia (trazas de alimentación): en esta categoría se incluyen las estructuras construidas por organismos depositívoros infaunales. Estas excavaciones pueden servir como domicilio permanente a la vez que constituyen un lugar para el procesamiento del sedimento en busca de alimento. Dentro de esta categoría se incluyen una serie de morfologías como estructuras en U o con desarrollo de spreite, pueden ser estructuras simples o ramificadas, y la posición dentro del estrato también es variable, pudiendo ser paralelas, inclinadas o verticales con respecto al plano de estratificación. Ejemplos: Asterosoma, Rosselia, Arthropycus.

Domichnia (trazas de habitación): comprenden estructuras de habitación de organismos infaunales, incluyendo suspensívoros, depositívoros y en algunos casos, predadores. Por lo general, estas estructuras son permanentes. Es común que los organismos refuercen las paredes de las excavaciones con sustancias aglutinadas y/o pellets. Ejemplo: Ophiomorpha, Skolithos.

Agrichnia (trazas de cultivo o trampas de alimento): constituyen estructuras complejas, con patrones regulares y geométricos muy estructurados que servirían como domicilio y lugar de cultivo de bacterias o trampas para microorganismos. Generalmente son túneles horizontales, organizados en meandros, espirales o redes hexagonales. Ejemplo: Spirorhapse, Paleodictyon.

Equilibrichnia (trazas de equilibrio): Son estructuras que registran los ajustes en la profundidad de las estructuras biogénicas con respecto a los eventos de acreción o erosión del sedimento. En la mayoría de los casos los organismos deben mantener una distancia constante con la superficie del sedimento, por este motivo, si se produce agradación, las estructuras van

a mostrar un movimiento hacia arriba, si en cambio, se produce erosión del sedimento, las estructuras van a registrar un desplazamiento en la dirección contraria. Estas estructuras pueden mostrar una gradación hacia trazas de escape si las fluctuaciones en la tasa de sedimentación son abruptas. Ejemplo: Diplocraterion.

Fugichnia (trazas de escape): estructuras generadas por el rápido movimiento hacia arriba o hacia abajo de los organismos, por ejemplo, cuando tratan de escapar del enterramiento o de la erosión del sedimento. Generalmente estas estructuras muestran un movimiento vertical, aunque en algunos casos pueden presentar desplazamientos horizontales, por ejemplo, en el caso de organismos que escapan de predadores. Estas estructuras presentan morfologías típicas de trazas de descanso repetidas verticalmente, especialmente excavaciones tipo cono en cono o estructuras con spreite U en U.

Calichnia (trazas de nidificación): Dentro de esta categoría se incluyen los nidos contruidos con materiales del sustrato, por ejemplo, los nidos de escarabajos. Esta categoría incluiría a las trazas de edificación (o aedifichnia), las cuales comprenden estructuras contruidas sobre el sustrato, pero con materiales ajenos al mismo. Ejemplos: Coprinisphaera (nidos de escarabajos) y Celliforma (celdillas de abejas).

Praedichnia (trazas de predación): Generalmente estas estructuras se preservan en sustratos duros, por ejemplo, los orificios perforados en conchillas. También son consideradas como trazas de predación las marcas de mordeduras sobre huesos, exoesqueletos y conchillas. En sustratos blandos, estas estructuras son más difíciles de identificar. Ejemplo: Oichnus.

Fixichnia (trazas de fijación): Comprende a aquellas estructuras superficiales producidas por la fijación o anclaje de los organismos al sustrato. Ejemplo: Podichnus (estructura de fijación de braquiópodos).



Fig. 4 Clasificación etológica de trazas fósiles (Modificado de Buatois et al., 2002).

En la Fig. 5 se esquematizan las categorías etológicas básicas y la interrelación existente entre las trazas y los cuerpos fósiles. En este gráfico se puede visualizar la superposición de las categorías etológicas, condición propia en la naturaleza. Al analizar estas clasificaciones queda claro que estas grandes divisiones etológicas, si bien están genéticamente controladas, no están restringidas filogenéticamente (Pemberton et al., 2001).

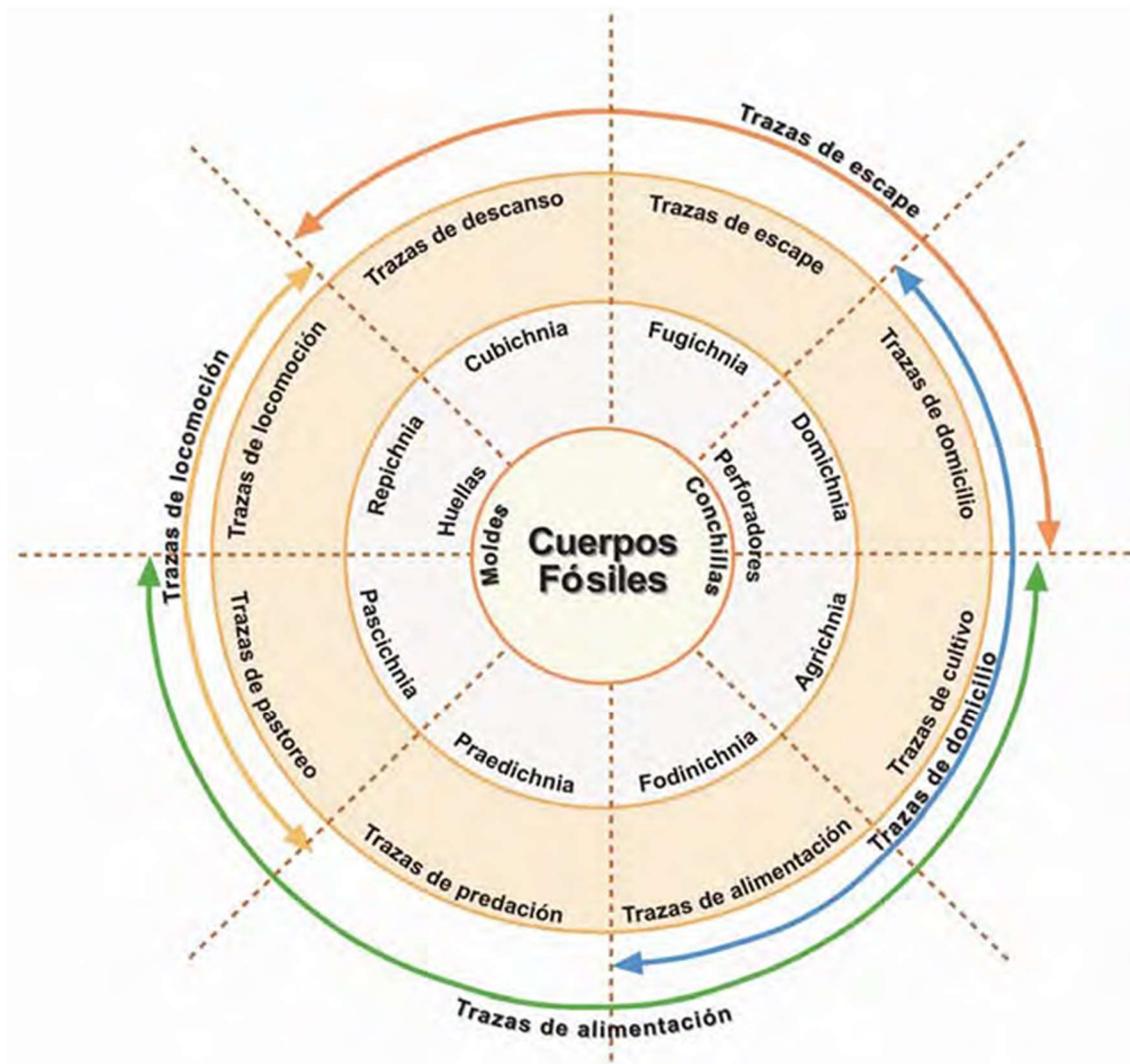


Fig. 5 Clasificación etológica y la relación existente con los cuerpos fósiles (tomado de Pemberton et al., 2001).

4.5 Aportes de los estudios de trazas fósiles a la paleoecología

La paleoecología utiliza el registro fósil para reconstruir los modos de vida de los organismos fósiles, así como su relación con las paleocomunidades y con los ambientes físicos en los cuales vivían (Brenchley & Harper, 1998). Tradicionalmente, los análisis paleoecológicos se basaron en los datos provenientes de los cuerpos fósiles. Sin embargo, en las comunidades marinas, gran proporción de los organismos son de cuerpos blandos, por lo que su presencia no queda registrada y no puede ser evaluada para las reconstrucciones paleoecológicas. En este sentido, los aportes que la icnología puede realizar a estos estudios son sumamente importantes e informativos, aunque su uso en los análisis paleoecológicos no se haya generalizado aún.

Entre las contribuciones más importantes de los estudios de trazas fósiles a la paleoecología, se destacan aquellas relacionadas con los factores ecológicos como temperatura, salinidad, paleocorrientes y estabilidad del sustrato, ya que los icnofósiles reflejan el comportamiento de los organismos en respuesta a estas variables.

Por ejemplo, en aquellos ambientes donde existen condiciones extremas de salinidad o temperatura (o ambas a la vez) como en albuferas, en las zonas intermareales, en deltas o en estuarios, hay un predominio de los organismos infaunales (Rhoads, 1975), ya que el sedimento actúa contrarrestando estas condiciones estresantes.

Otra de las variables que puede ser analizada a partir del estudio de las trazas fósiles es la coherencia o estabilidad del sustrato, ya que estas condiciones van a determinar la distribución y el tipo de construcciones que los organismos construyen en el sedimento. Por ejemplo, en sustratos inestables los organismos realizan sus excavaciones reforzando sus paredes.

Otro factor ecológico que está en estrecha relación con la distribución de los individuos (sobre todo con la abundancia de los mismos) es la concentración de oxígeno dentro del sedimento. La ausencia de estructuras biogénicas en un estrato puede estar indicando condiciones de anoxia en el sedimento, lo cual no permitió el desarrollo de la infauna.

Por lo expresado anteriormente, es de esperar que, con el subsiguiente desarrollo de los estudios icnológicos, esta disciplina posibilite la obtención de datos que, de otra manera, no pueden ser incorporados a los análisis paleoecológicos, permitiendo la generalización de estudios en los que la información icnológica y de cuerpos fósiles sea complementaria.

4.6 Asociaciones de trazas fósiles y reconstrucciones paleoambientales

Las trazas fósiles constituyen el registro de los patrones etológicos de los organismos frente a las condiciones ambientales dominantes (Brenchley y Harper, 1998). Como se describió anteriormente en este capítulo, los organismos responden de manera similar frente a condiciones ambientales semejantes, produciendo asociaciones de trazas fósiles que son recurrentes en el tiempo y que, por lo tanto, permiten ser caracterizadas y reconocidas a lo largo del registro geológico. Seilacher (1964, 1967), introdujo el concepto de icnofacies para denominar a estas asociaciones, y las relacionó de manera directa con el ambiente depositacional y con las facies sedimentarias en las que se encontraban. Según Bromley (1996), una icnofacies refleja en forma directa condiciones ambientales, tales como batimetría, salinidad y tipo de sustrato.

Existen tres grupos principales de icnofacies: las marinas desarrolladas en sustratos blandos, las continentales y las sustrato-controladas.

Las icnofacies marinas desarrolladas en sustratos blandos presentan una caracterización de acuerdo al gradiente batimétrico. Hasta la fecha se han reconocido cinco categorías principales: *Psilonichnus* (Frey & Pemberton, 1987), *Skolithos* (Seilacher, 1964), *Cruziana* (Seilacher, 1964), *Zoophycus* (Seilacher, 1964) y *Nereites* (Seilacher, 1964). Estas icnofacies reflejan adaptaciones de los organismos a factores ambientales y estímulos del medio, tales como la consistencia del sustrato, abundancia y aporte de alimentos, energía hidrodinámica, salinidad, tasa de sedimentación, turbidez del agua, entre otros (Fig. 6).

Icnofacies de *Psilonichnus*: Representa ambientes marginales marinos en condiciones supralitorales, incluyendo zonas supralitorales de playas, dunas litorales y llanuras supramareales, siendo fundamentalmente una icnofacies subaérea, pero algunos de sus elementos son marinos. Las estructuras dominantes son excavaciones de decápodos utilizadas como domicilios. Morfológicamente se caracterizan por presentar un predominio de componentes verticales, en J, Y o U. En general, la icnodiversidad y abundancia de las estructuras es baja.

Icnofacies de *Skolithos*: Corresponde a medios deposicionales de elevada energía hidrodinámica, con frecuentes fenómenos erosivos, los cuales eliminan estructuras biogénicas. Posee una asociación baja en diversidad dominada por estructuras verticales cilíndricas o en forma de U (especialmente domichnia) y estructuras de equilibrio, con pocas trazas horizontales. Esta icnofacies es típica de ambientes arenosos, tales como zonas litorales y sublitorales de playas, barras de arenas o frentes deltaicos. (Gibert & Martinell, 1998; Cuen, 2013). En general las estructuras corresponden a organismos suspensívoros.

Icnofacies de *Cruziana*: Esta icnofacies es característica de ambientes submareales de baja energía. Inicialmente fue definida para medios de plataforma somera entre el nivel del oleaje normal y el nivel del oleaje de tormenta, pero posteriormente ha sido reconocida en otros ambientes someros de energía baja o moderada, como lagunas y estuarios. La icnofacies de *Cruziana* corresponde a condiciones de menor energía que la de *Skolithos* y *Arenicolites*, permitiendo que las estructuras más superficiales no sean eliminadas por la erosión. Comúnmente el sedimento es arenoso, arenoso-pelítico o pelítico.

Esta icnofacies presenta un mayor contenido de estructuras horizontales generadas por organismos depositívoros y detritívoros, aunque también hay estructuras generadas por organismos suspensívoros. De este modo, la diversidad de las estructuras, así como de patrones etológicos es mayor en esta asociación que en las vistas anteriormente. Dentro de las categorías etológicas reconocidas en esta icnofacies se pueden citar cubicnias, repicnias, fodinicnias y domicnias.

ICNOFACIES DE ZOOPHYCOS: Corresponde a una icnofacies controversial. Se caracteriza por depósitos de grano fino, en general completamente bioturbados con Zoophycus, Chondrites y Planolites. Los principales parámetros de control sobre esta asociación son un bajo contenido de oxígeno junto a una alta cantidad de materia orgánica disponible para ser consumida por los organismos, lo cual se asocia además de manera directa con una baja energía ambiental, baja sedimentación y elevada estabilidad. El elevado grado de bioturbación hace que sólo las estructuras más profundas sean generalmente conservadas. Se asocia a ambientes circalitorales a batiales. (Gibert & Martinell, 1998).

ICNOFACIES DE NEREITES: Está constituida por géneros tales como Nereites, Helminthoida, Paleodictyon o Cosmorhapha. Esta asociación se presenta en ambientes marinos batiales a abisales, oxigenados y localmente afectados por corrientes de fondo o flujos gravitatorios, especialmente corrientes de turbidez.

Las estructuras biogénicas que caracterizan esta asociación consisten en estructuras muy someras a subsuperficiales, las cuales son generalmente rellenadas durante el evento turbidítico, y de esta manera se preservan. Las características etológicas de los organismos que dominan esta asociación responden principalmente a una escasez de alimento en comparación con ambientes más someros, y una interrupción periódica producto de los flujos y corrientes a los que están sujetos estos ambientes. La diversidad de trazas fósiles es moderada a alta, aunque la abundancia es en general baja.

Dentro de las icnofacies sustrato-controladas se reconocen tres asociaciones principales: la icnofacies de Glossifungites (desarrolladas en sustratos firmes), la icnofacies de Teredolites (en sustratos de madera o carbón) y la icnofacies de Trypanites (desarrolladas en sustratos duros y rocosos) (Ekdale et al., 1984). Finalmente, las icnofacies continentales a su vez, también presentan una subdivisión en diferentes tipos de asociaciones: la icnofacies de Coprinisphaera (desarrollado en paleosuelos de ecosistemas herbáceos), la icnofacies de Scoyenia (característico de sustratos subaéreos con inundaciones periódicas, así como sedimentos subaéreos con emersiones ocasionales) y la de Mermia (desarrolla en ambientes permanentemente subaéreos, especialmente en sedimentos lacustres de grano fino, bien oxigenados y con baja energía) (Fig. 6).

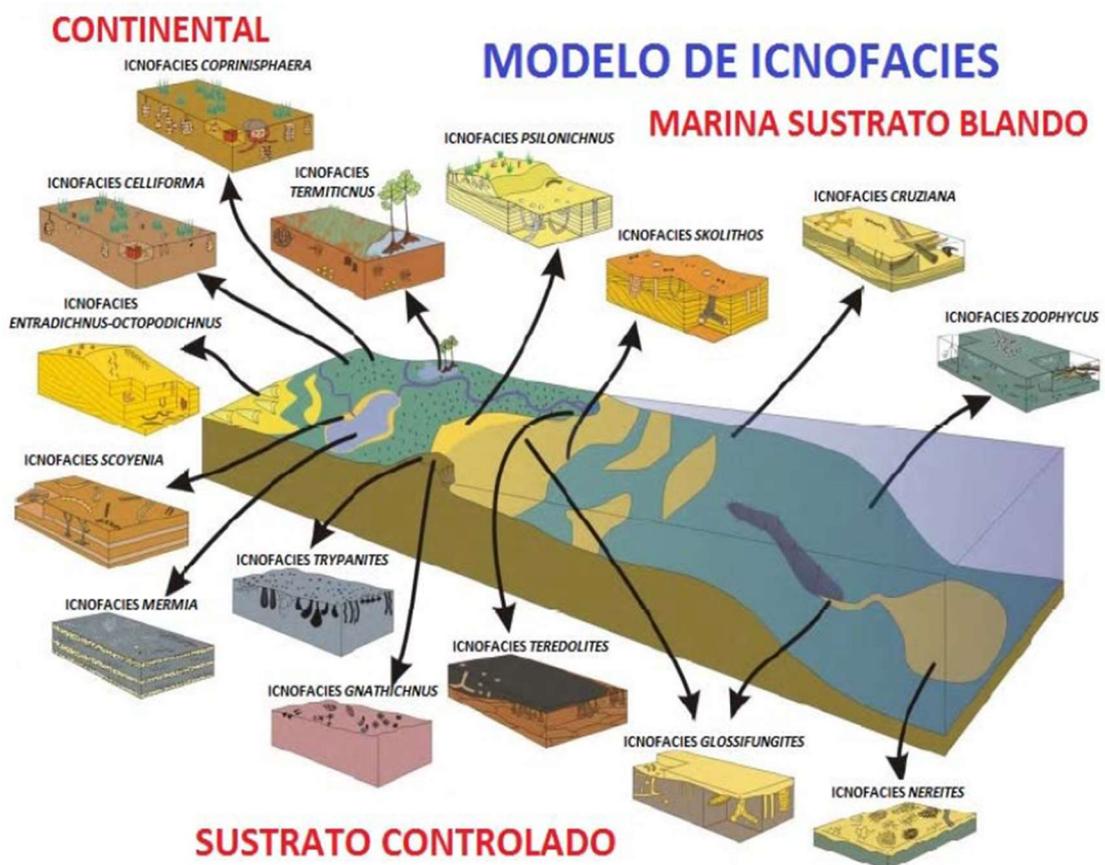


Fig. 6 Distribución paleoambiental de las icnofacies arquetípicas en medios continentales y marinos. (Modificado de Buatois & Mangano, 2011).

4.7 Escalonamiento o tiering

De la misma manera que se reconocen zonaciones faunísticas a lo largo de un gradiente horizontal en los ambientes marinos (que se producen principalmente debido a los cambios batimétricos), también es posible identificar zonaciones de organismos dentro del sedimento. Esta zonación vertical responde a las variaciones que experimentan las condiciones físicas, químicas y biológicas a medida que aumenta la profundidad dentro del sedimento. Esta organización vertical de los organismos se denomina escalonamiento o *tiering* y su análisis permite una mejor comprensión de las relaciones de los organismos epi y endobentónicos con el sustrato, se puede observar en la Fig. 7 una asociación ideal de estructuras biogénicas y sus posiciones dentro del estrato. En este caso se pueden definir tres escalones principales, uno superior, uno medio y otro profundo.



Fig. 7 Esquema de un perfil ideal con tres escalones principales (tomado de Buatois et al., 2002).

4.8 Iconotaxobases

Al igual que los cuerpos fósiles, las trazas fósiles se clasifican de acuerdo a la nomenclatura binominal, identificando icnogéneros e icnoespecies. Para determinar los diferentes icnogéneros e icnoespecies se tienen en cuenta los rasgos morfológicos más importantes de las trazas fósiles, que a su vez permiten realizar una interpretación etológica de las mismas. Para caracterizar estos rasgos, se utilizan una serie de caracteres denominados iconotaxobases, propuestos por Bromley (1990, 1996), siendo algunos más relevantes que otros. En general, se tienen en cuenta cinco iconotaxobases que incluyen: (1) forma general, (2) presencia y tipo de pared o revestimiento, (3) ramificaciones, (4) tipo de relleno y (5) presencia de spreite.

1) **Forma general:** La forma general incluye la morfología básica de la estructura biogénica, y tiene en cuenta su configuración, orientación y posición respecto a la estratificación. La configuración se encuentra determinada por la distribución espacial de los

componentes de las trazas fósiles. Para realizar una clasificación a nivel icnoespecífico pueden considerarse también las características superficiales, como puede ser la ornamentación de las paredes en algunas excavaciones o perforaciones.

2) **Pared y revestimiento:** Muchas trazas fósiles se identifican rápidamente debido al revestimiento o pared que poseen. Los detalles en las paredes de las excavaciones pueden revelar información del tipo de alimentación, técnicas de excavación, etc. Existen dos componentes principales en una pared: el revestimiento interno y la deformación externa que se genera en el sedimento que rodea a la estructura.

3) **Ramificaciones:** La presencia de ramificación es una de las icnotaxobases diagnósticas al momento de definir una estructura biogénica (Buatois y Mángano 2011). Según D'Alessandro y Bromley (1987), se reconocen tres tipos de ramificaciones: ramificaciones sucesivas primarias, ramificaciones sucesivas secundarias y ramificaciones simultaneas. En algunos casos es posible encontrar falsas ramificaciones, las cuales resultan de la superposición de dos especímenes dando una falsa impresión.

4) **Tipo de relleno:** El relleno de una estructura biogénica puede ser pasivo o activo, siendo pasivo aquel que se da por la caída de sedimentos dentro de la estructura por gravedad, y activo aquel que evidencia un retrabajo de los sedimentos por el organismo, ya sea porque parte del material pasa por el tracto digestivo del organismo productor, o porque el organismo manipula el sedimento mecánicamente. De esta manera, el relleno activo nos permitirá obtener información del tipo y forma de alimentación del organismo productor, mientras que el relleno pasivo nos brindará información sedimentológica y estratigráfica-secuencial (Buatois y Mángano 2011)

5) **Spreite:** Este término se refiere a la laminación presente de pared a pared en una excavación, formada por el desplazamiento lateral de un organismo, dentro de una excavación. Esta estructura refleja tanto la habilidad del organismo para ajustar su excavación en respuesta a variaciones en la interfase agua-sedimento, como su habilidad para retrabajar activamente el sedimento en busca de alimento. Existen dos tipos de spreite, protrusivo y retrusivo. Un spreite retrusivo refleja la migración de la estructura biogénica hacia la interfase agua/sedimento (movimientos más proximales respecto a la salida de la excavación), en respuesta a eventos de depositación, mientras que un spreite protrusivo registra la migración del organismo hacia sectores más profundos (movimientos más distales respecto a la salida de la excavación), debido al crecimiento del organismo o erosión del sustrato.

5 Geología Regional

5.1 Ubicación Geológica

En la provincia de San Juan un 80% de su superficie está ocupada por cordones montañosos, los que conforman, de oeste a este, las estribaciones de Cordillera Principal, Cordillera Frontal, Precordillera y Sierras Pampeanas. Estos sistemas serranos se encuentran separados entre sí por depresiones tectónicas longitudinales rellenas con potentes sedimentos de edad cuaternaria.

La zona de estudio se ubica dentro de la unidad morfoestructural de Precordillera Oriental, la cual se encuentra integrada por una serie de elevados cordones montañosos que se extienden de norte a sur y se caracteriza por estar constituido esencialmente por rocas calcáreas eopaleozoicas (Astini & Vaccari, 1996). Estructuralmente, se caracteriza por su estilo estructural retrovergente, constituyendo una faja plegada y corrida de piel gruesa con vergencia occidental (Ortiz & Zambrano, 1981).

La Precordillera Oriental se ubica dentro de la Provincia Geológica de Precordillera que posee una extensión aproximada de 550 km de largo y 100 km de ancho y está situada entre las provincias geológicas de Cordillera Frontal y Sierras Pampeanas Occidentales. El ámbito de Precordillera se extiende por las provincias de La Rioja, San Juan, atravesándola íntegramente hasta culminar aproximadamente 10 km al sur de la capital de la Provincia de Mendoza, hundiéndose por debajo de la bajada pedemontana de Cordillera Frontal y pasando a constituir el subsuelo de la Cuenca Cuyana. Su denominación se debe a Bodenbender (1902), quien la describió en las Provincias de San Juan y Mendoza.

Destacan los estudios realizados por Stappenbeck, 1910 y Keidel, 1921, como los primeros estudios regionales específicos, junto con un levantamiento regular de sus terrenos paleozoicos. La Precordillera se caracteriza por terrenos paleozoicos que se habrían levantado principalmente durante el Cenozoico superior (Baldis et al., 1982). Constituye una faja plegada y corrida andina establecida sobre rocas sedimentarias paleozoicas como resultado de la migración hacia el este del frente orogénico. Este sector se encuentra afectado por la subducción subhorizontal de la placa de Nazca por debajo de la Sudamericana, característica que determina la ausencia de volcanismo, la intensa sismicidad de intraplaca y la notable actividad neotectónica ubicada principalmente en el frente orogénico (Ramos et al., 1986).

Esta unidad morfoestructural de rumbo norte-sur se ubica en toda la porción central de la provincia de San Juan. Los principales cordones superan los 3000 m (sierra la Invernada, con más de 3800 m, sierra de la Punilla con 4500 m y sierra del Tontal con 4600 m). Sobre la base de sus características litológicas y estructurales, esta unidad fue dividida en tres subunidades morfoestructurales: Precordillera Occidental, Central y Oriental (Ortiz y Zambrano, 1981). Desde el punto de vista estructural los sectores occidental y central están representados por una faja plegada y corrida epidérmica con vergencia oriental, mientras que el sector oriental corresponde a un bloque de basamento con una estructura con la misma vergencia que Sierras Pampeanas, es decir vergencia occidental (Fig. 8).

En la Precordillera Oriental, las sedimentitas más antiguas están constituidas por depósitos continentales rojos y evaporitas de edad cámbrica inferior (Astini, 1996). En discordancia se apoyan los depósitos de plataforma carbonática del Cámbrico - Ordovícico inferior. Las secuencias del Ordovícico clástico corresponden a niveles conglomerádicos y olistolitos que están contenidos o cubiertos por depósitos silúricos de gran espesor. En el área montañosa también afloran sedimentitas neógenas constituidas por potentes niveles de conglomerados, areniscas y pelitas. Los depósitos del Neógeno tardío están constituidos por fanglomerados aluviales con niveles de pedimentación y depósitos de remoción en masa.

La Sierra de Marquesado y la Sierra Chica de Zonda, donde se inserta el área de estudio, corresponden a un relieve montañoso perteneciente a la Precordillera Oriental, y está constituida por sierras menores de rumbo submeridional con relieves de estructuras homoclinales y plegados en forma de grandes anticlinales asimétricos al oeste, con ejes paralelos a los ejes de los cordones montañosos que la integran (Suvires, 2013). La sierra en su piedemonte occidental es atravesada por el sistema de fallamiento regional denominado Villicum-Zonda. Ésta falla regional es un sistema de fallamiento profundo que involucra al basamento y lo eleva cerca de la superficie (Gardini, 1993). La región se encuentra bajo la influencia de la subducción subhorizontal de la placa de Nazca por debajo de la Sudamericana (Alvarado, Beck, & Zandt, 2007). Esto origina una elevada sismicidad de intraplaca y numerosas expresiones morfológicas de actividad tectónica moderna (Ramos et al., 1986). La geología de la Sierra Chica de Zonda, está compuesta por una secuencia cámbrica fosilífera marina (Bordonaro O., 1983) de calizas, margas, lutitas y cuarcitas. Los términos más antiguos aflorantes corresponden al contenido fosilífero del Cámbrico inferior, constituyendo la base de los 2500 m de carbonatos de plataforma cambro-ordovícica de las Formaciones La Laja, Zonda, La Flecha y San Juan (Gardini, 1993). En el área montañosa de estudio, los afloramientos de la

Fm. La Laja ocupan la mayor superficie destacándose sus relieves de estructuras plegadas y monoclinales. El clima hiperárido de la región, con altas amplitudes térmicas diarias y estacionales, facilita la existencia de procesos de termoclastismo a escala de micrositio, y el desprendimiento abundante de sedimentos que dan lugar a flujos de detritos (Suvires, 2013).

**Structural cross-section of río San Juan
(shortening: 136 km)**

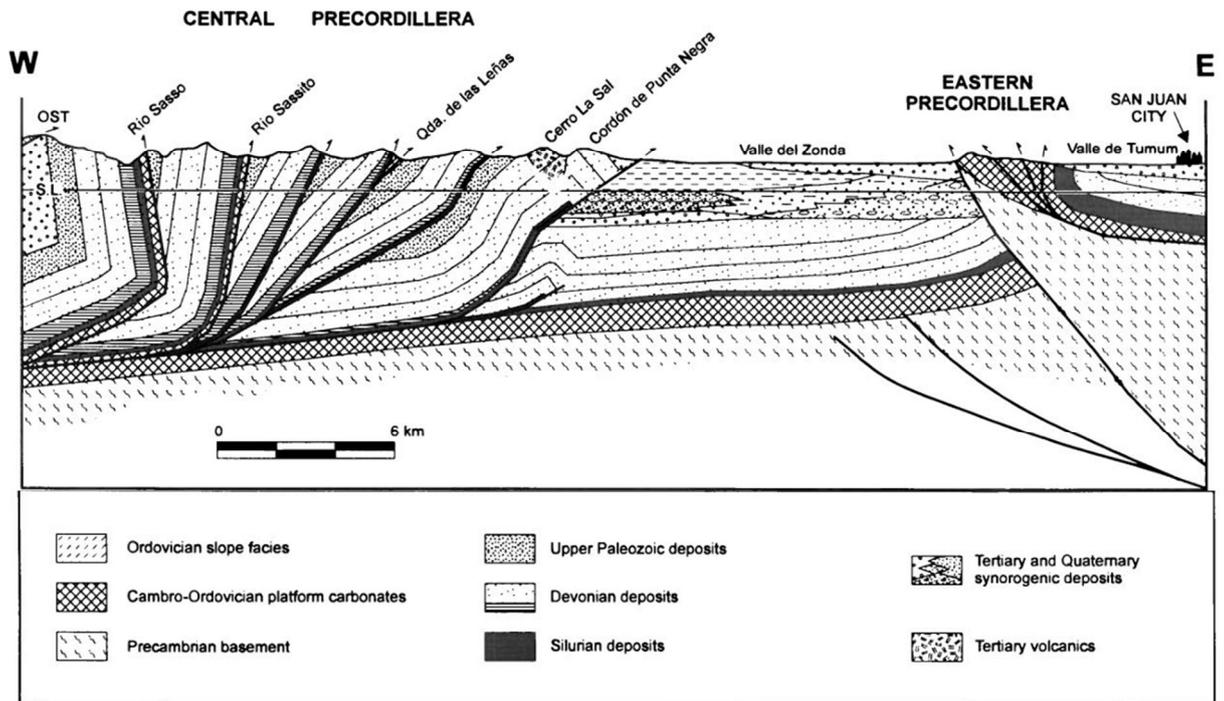


Fig. 8 Sección transversal estructural de la Precordillera a lo largo del río San Juan. Tomado de Cristallini y Ramos, 2000.

5.2 Geología Estructural de Precordillera Oriental

Está caracterizada por sierras de rumbo meridional aproximadamente en toda su longitud, estas en general están integradas por estructuras plegadas en forma de grandes anticlinales asimétricos al oeste, cuyos ejes son paralelos a los ejes de los cordones montañosos que integran la misma. Los planos axiales de estos anticlinales buzan al este con alto ángulo, en tanto que la mayoría de los casos los flancos occidentales se presentan verticales, rebatidos o también suelen estar suprimidos por fallas inversas de alto ángulo y rumbo predominantemente norte – sur, que serían el límite occidental de la Precordillera Oriental. El flanco oriental presenta menor pendiente que el occidental, su piedemonte extenso inclina suavemente hacia el este.

En los cordones más australes se presenta una serie de imbricaciones paralelas a las fallas principales que originan repeticiones de los estratos cambro – ordovícicos. Esto provoca un ensanchamiento mayor en aquellas zonas donde este proceso tectónico se manifiesta con mayor intensidad, como por ejemplo en de las sierras de Acequion y Pedernal con respecto a la sierra Chica de Zonda, donde este proceso tectónico se manifiesta con menor intensidad (Ortiz & Zambrano , 1981).

Los piedemontes en general se encuentran afectados por fallas con actividad durante el Cuaternario, en general coincidentes con las estructuras regionales, inversas y con escarpas a contrapendiente (Perucca & Paredes, 2004). Asociados a estas fallas se produjeron los principales terremotos históricos con características destructivas en el país, tal como los de 1894, 1944 y 1952 (Peruca , Perez, & Navarro, 2006).

Predominan las geformas vinculadas a los sistemas áridos y semiáridos con predominio de la acción fluvial, los procesos eólicos, disgregación mecánica y formas de remoción en masa, como flujos de detritos. Las geformas resultantes de la acción fluvial son las terrazas, conos y abanicos aluviales, mientras que entre las de erosión se destacan los valles en V, terrazas y saltos y cascadas. En la Fig. 9 se observa el mapa geológico de la zona de estudio.

5.3 Geología Local

5.3.1 Estratigrafía

Según la Hoja geológica de San Juan 3169-IV ((Ramos & Vujovich, 2000)) La Precordillera Oriental posee un basamento dado por rocas cámbricas y su tope lo representan unidades silúricas con afloramientos aislados de rocas carboníferas-pérmicas, triásicas y miocenas.

En el área de estudio, los afloramientos reconocidos corresponden a la Formación La Laja (Cámbrico temprano a medio), perteneciente al Grupo Marquesado, y también se pueden observar de manera aislada afloramientos correspondientes a la Formación Loma de Las Tapias (Mioceno). La sucesión culmina de depósitos coluviales-aluviales de edad Cuaternaria (Fig. 9)

Cámbrico

Los depósitos sedimentarios correspondientes al Cámbrico afloran en el sector central del área de estudio. Estos estratos han sido interpretados como una sucesión de margen pasivo asociado a una plataforma calcárea con topografía de rampa que se profundiza hacia el oeste (Astini et al., 1996).

Grupo Marquesado

El Grupo Marquesado fue definido por Bordonaro (1980) para caracterizar a las Formaciones La Laja y Zonda relacionadas genéticamente en una secuencia regresiva que abarca la mayor parte del sistema Cámbrico. Dentro del ámbito de Precordillera Oriental las unidades cámbricas corresponden principalmente a rocas de ambiente de plataforma carbonática, cuenca interna y plataforma siliciclástica. Su estratotipo se encuentra en la quebrada de Zonda, pero tiene amplia distribución dentro de las sierras de Villicum, Chica de Zonda y cerro Pedernal. En este trabajo se ha extendido el rango de este grupo incluyendo a las Formaciones La Flecha y La Silla (Ramos & Vujovich, 2000)

Formación La Laja

Definida primeramente por Borello (1962) y posteriormente modificada por Bordonaro (1980). Se encuentra distribuida a lo largo del flanco occidental de las sierras de Villicum, Chica de Zonda, y cerro Pedernal. En la Quebrada de Zonda distinguieron cuatro miembros, los que de abajo hacia arriba son: El Estero, Soldano, Rivadavia y Juan Pobre que totalizan un espesor de 1.200 m de calizas, calizas dolomíticas, calizas arcillosas y margas, con algunos estratos de rocas clásticas como lutitas y cuarcitas.

La Formación La Laja abarca desde el Cámbrico inferior tardío hasta el Cámbrico medio tardío, dada su correlación con las biozonas de trilobites homologadas con las de la plataforma norteamericana, tales como las Zonas de *Olenellus*, *Plagiura* – *Poliella*, *Albertella*, *Glossopleura* y *Ehmaniella* y *Bolaspidella* (Bordonaro O. , 1986).

Su base no se conoce por estar cortada por falla, mientras que hacia arriba pasa en forma transicional a dolomías de la Formación Zonda. El análisis paleoambiental de las litofacies constituyentes de esta formación indica una alternancia entre ambientes de mayor y menor profundidad en una plataforma carbonática restringida (Bordonaro 1986 y 2003).

Formación Zonda

Sus afloramientos se encuentran distribuidos sobre las vertientes occidentales de Precordillera Oriental. Fue definida por Bordonaro (1980) como una sucesión de dolomías, dolomías calcáreas y calizas dolomíticas de color gris claro a gris amarillento y blanquecino. Hacia el techo de la Formación se intercalan bancos arcillosos muy finos, presentan estructuras sedimentarias de poca profundidad (grietas de desecación, *bird eyes*, conglomerados de clastos

planos, cristales pseudomorfos de yeso, estratificación entrecruzada, laminación criptoalgal y estromatolitos) que indican un ambiente de sabkha marino.

Se sobrepone a la Formación La Laja en forma concordante con contacto transicional. El contacto superior corresponde a la repentina ocurrencia de abundantes estromatolitos en la base de la Formación La Flecha. Posee un espesor máximo de 400 m.

Bordonaro y Arroqui Langer (1995) distinguieron 4 miembros, teniendo en cuenta las diferencias geoquímicas y litológicas. Los dos miembros inferiores tienen niveles con muy elevados porcentajes de magnesio ($MgCO_3$ hasta un 44,5 %) residuo insoluble inferior al 2 % y sin impurezas ni pedernal. Se los usa actualmente en la elaboración de cales dolomíticas, magnesianas y como fundentes para la elaboración de arrabio. Hasta el momento no se han hallado fósiles diagnósticos que precisen su edad, por lo que se le asigna una edad tentativa Cámbrico superior temprano (sensu lato) por su ubicación y relación estratigráfica con la Formación La Laja que la infrayace.

Formación La Flecha

Esta Formación, definida por Baldis et al. (1981), aflora principalmente en el ámbito de Precordillera Oriental y en algunos sectores de Precordillera Central. Posee una potencia promedio de 500 m y se caracteriza por una alternancia cíclica de calizas y dolomías con chert, con abundantes estructuras algales estromatolíticas con formas muy diversas (Armella, 1990), que le dan una coloración general más oscura que la Formación Zonda.

Estas acumulaciones se originaron en una plataforma tidal extensa y parcialmente restringida con características oscilantes en pulsos biocíclicos (Armella, 1989). La edad de la formación varía dentro del Cámbrico superior por la presencia de trilobites hasta el Ordovícico inferior (Keller et al. 1994).

Formación La Silla

Esta Formación, definida por Keller et al. (1994), ha sido reconocida desde las cercanías de Guandacol hasta la sierra Chica de Zonda y presenta su sección tipo en el cerro La Silla, con un espesor de 350 metros. Está integrada por calizas gris oscuras a gris azuladas, con estratificación gruesa. Su límite inferior está dado por el cambio de dolomías de la Formación La Flecha a fangolitas calcáreas y el límite superior por la presencia de calizas típicas de la Formación San Juan, con su fauna característica.

Neógeno

Formación Loma de Las Tapias

Su estratotipo fue definido en el área de Loma de las Tapias, ubicada entre las sierras de Villicum y Chica de Zonda, al norte y sur respectivamente. Serafini *et al.* (1986) le otorgaron el valor formacional y la dividieron en tres miembros. Posteriormente Rodríguez (2004) incorporó el tercer miembro (Conglomerado El Chilote) a la Formación Mogna.

Miembro Limolita La Colmena

Está integrado por un conglomerado brechoso basal seguido por una sucesión de limolitas pardo-rojizas que alternan con areniscas finas y medianas. Las intercalaciones pelíticas presentan laminación paralela y grietas de desecación. Las areniscas muestran estratificación cruzada localmente. El espesor es de 263 m.

Miembro Areniscas Albardón

Consiste en areniscas conglomeráticas, en parte tobáceas y alternancia de areniscas finas a gruesas intercaladas con limolitas. Estas últimas contienen bancos lenticulares de conglomerados, que hacia el techo son más frecuentes. El espesor es de 1350 m, posee una edad $7\pm 0,8$ Ma obtenida en tobas por trazas de fisión.

En base a antecedentes geológicos y paleontológicos el autor le asigna una edad entre Mioceno medio y Plioceno. El ambiente de sedimentación de esta formación ha sido estudiado por Bercowski *et al.* (1987) para quienes la secuencia grano-estratocreciente indicaría una elevación periódica del área de aporte, dando origen a la progradación de la parte distal de un abanico aluvial sobre una planicie fluvial anastomosada, durante el desarrollo de la cuenca de antepaís.

Formación Mogna

Esta unidad ha sido definida 5 km al oeste de la localidad homónima en el ámbito de Precordillera Oriental por Kelly (1962) en un informe inédito de Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF), posteriormente dado a conocer por Cuerda *et al.* (1981). Es un conjunto de gruesos bancos de conglomerados masivos, bien seleccionados y de clastos redondeados, cuya composición indica procedencia de Cordillera Frontal y que hacia arriba pasan a bancos con estratificación paralela, pero de selección más pobre. Presenta frecuentes intercalaciones de finas capas de areniscas y limolitas, que se vuelven escasas hacia la parte superior de la

secuencia. La base de esta formación tendría una edad cercana a los 4 Ma al norte del sector de estudio, en el área de Mogna (Milana, Bercowski, & Jordan, 2003).

Formación El Corral

Esta unidad definida por Furque (1963), se ubica en forma concordante y/o se correlaciona lateralmente con la Formación Mogna. Presenta un corto intervalo arenoso basal, y el resto son gravas estratificadas, con clastos sobredimensionados, con un neto predominio de clastos de calizas y areniscas verdes. Según Milana et al. (2003), estos conglomerados fueron generados por crecientes no canalizadas que predominaron sobre cualquier otro proceso, señalando un ambiente de piedemonte.

Cuaternario

Está representado por depósitos aluviales y coluviales, que constituyen las actuales bajadas pedemontanas de los diferentes cordones montañosos que integran la Precordillera. La litología dominante es muy variada, textural y composicionalmente. Se halla controlada por la litología local del área de procedencia, variando de fanglomerados gruesos, gravas, arenas y limos según su localización.

Depósitos aluviales

Constituyen la planicie de inundación del río San Juan. Luego de la estrechura de la sierra Chica de Zonda, la planicie de inundación se expande en un gran conoide, donde se concentra la actividad agropecuaria adyacente a la ciudad San Juan. Los estudios realizados por Milano (1991) han mostrado que las fracciones gruesas presentan procedencia exótica a la Precordillera, dado que es común en los mismos la existencia de clastos de riolitas de la Formación Choiyoi, lo que demuestra la naturaleza alóctona del avenimiento del río San Juan (Ramos y Vujovich, 2000).

Los depósitos aluviales cuaternarios aflorantes en la región se disponen en forma horizontal y yacen en relación de discordancia angular sobre las unidades precedentemente detalladas.

Depósitos coluviales

Los depósitos coluviales constituyen las bajadas actuales de los diferentes cordones montañosos de Precordillera. Su composición litológica es variada y está fuertemente vinculada con su área de procedencia.

6 Análisis estratigráfico e icnológico

6.1 Estratigrafía local

La Formación La Laja se distribuye a lo largo de todo el flanco occidental de las sierras de Villicum, Chica de Zonda y Cerro Pedernal. Definida por Borrello (1962, 1964), fue posteriormente enmendada por Bordonaro (1980). En la quebrada de Zonda la integran cuatro miembros, los que de abajo hacia arriba son: El Estero, Soldano, Rivadavia y Juan Pobre que totalizan un espesor de 1.200 m con calizas, calizas arcillosas y margas.

Miembro El Estero (Baldis y Bordonaro, 1981). Esta constituido principalmente por cuarcitas y lutitas en el que Bordonaro (1986) distinguió cinco tipos litofaciales integrados por margas, calizas arcillosas, lutitas, calcilutitas y calizas oolíticas asociadas con cuarcitas y calcilutitas. El espesor en el cerro Zonda es de 300 metros, y su base esta truncada por falla. Presenta trilobites correspondientes a la Zona de Bonnia - Olenellus por lo cual se lo asigna al Cámbrico inferior tardío.

Miembro Soldano (Baldis y Bordonaro, 1981). Formado principalmente por calizas arcillosas, calizas margosas y margas, con colores amarillos, blanquecinos, pardos claros, castaños y verdosos. En el cerro Zonda hay estratos carbonosos y lutitas negras calcáreas en los términos cuspidales del miembro (Bordonaro y Pereyra, 1985). El espesor es de 247m en la localidad tipo.

Miembro Rivadavia (Baldis y Bordonaro, 1981). Está conformado por calizas negras macizas, compactas con algunas intercalaciones de calizas negras oolíticas. Posee un espesor de 175 m y contiene restos de trilobites del género Kootenia sp. en los niveles superiores y glóbulos algales de Girvanella en la base del miembro.

Miembro Juan Pobre (Baldis y Bordonaro, 1981). Está constituido por calizas oolíticas gris oscuro a negro, calizas lajosas, grises y calizas arcillosas. El espesor es de 278 metros. Las faunas de trilobites encontrados corresponden a las Zonas de Albertella, Glossopleura y Bathyriscus- Eirathina del Cámbrico medio.

El sector estudiado corresponde a la parte media del Miembro Juan Pobre, donde se observó una sucesión concordante de rocas carbonáticas, principalmente calizas tipo mudstones, con una estratificación planar, con contactos netos, comúnmente separados por juntas de presión-disolución (estilolitas). En general los estratos son masivos, con un espesor de los estratos de pocos centímetros, intensamente meteorizados, diaclasados y bioturbados. También se observa la presencia de fenómenos kársticos, incluyendo la presencia de cavidades

rellenas con cristales de calcita. Estructuralmente los estratos se disponen de manera subvertical, variando su buzamiento entre los 70°-90° hacia el sur-este.

6.2 Descripción de la columna estratigráfica

La columna estratigráfica relevada tiene un espesor aproximado de 50 m. y abarca la parte media del Miembro Juan Pobre, correspondiente a la Formación La Laja. Esta columna fue relevada en la Quebrada Juan Pobre, ubicada dentro de la Quebrada de Zonda (Fig. 10)

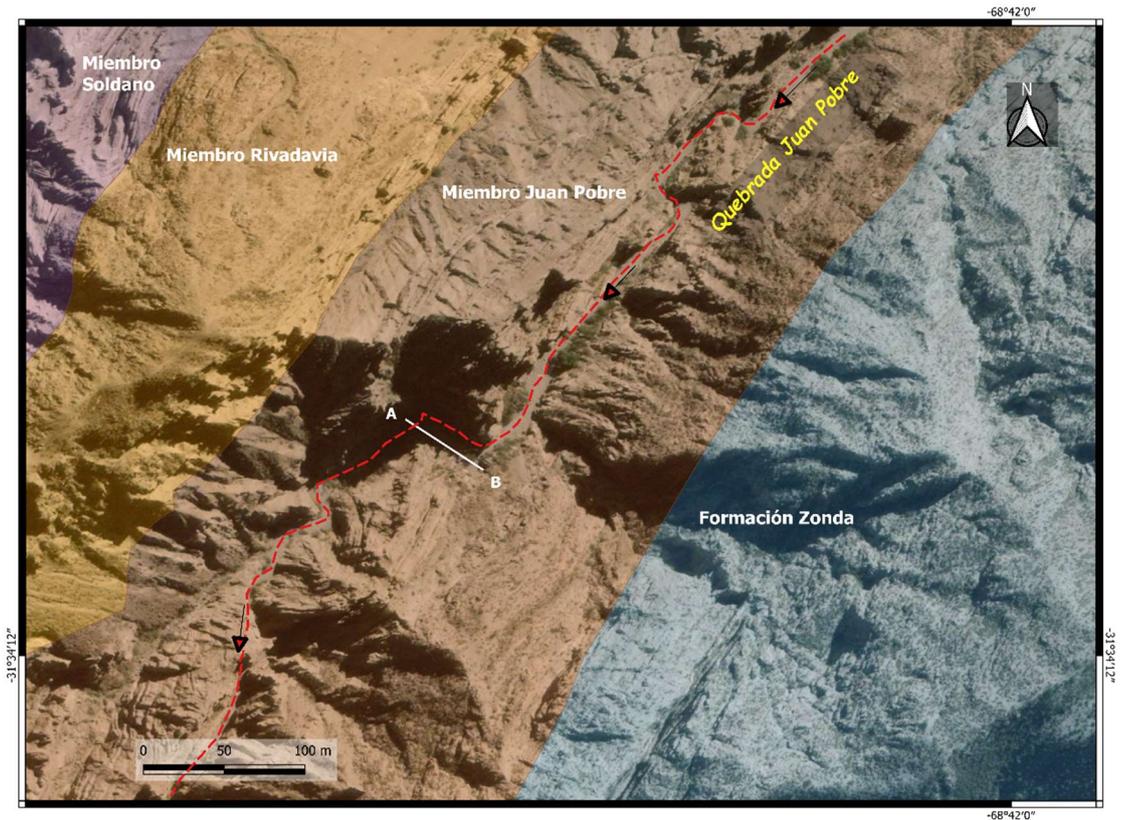


Fig. 10 Mapa donde se observa la transecta A-B correspondiente a la columna estratigráfica relevada. También se observan los Miembros de la Formación La Laja (Mb. Soldano, Rivadavia y Juan Pobre), y la Formación Zonda

Se describe una sucesión de niveles carbonáticos en bancos de características y espesores variables (Fig. 13). Para la clasificación de rocas carbonáticas se utiliza la clasificación de Dunham (1962) modificado por de Embry & Klovan (1971) (Fig.11)

- Se inicia la sucesión con la presencia niveles de mudstones, altamente tectonizados, de tonalidades gris oscuro a claro y masivas (50 cm). Se observa un sistema de galerías orientada de manera paralela a la estratificación, relleno con material margoso, de color marrón claro (Fig. 12 a)
- Le sigue un nivel de packstone, de 65 cm de espesor, con presencia de granos oolíticos y el desarrollo de una gradación inversa. Este nivel mantiene una estructura

masiva de la roca y se observan fragmentos de fósiles, posiblemente pleuras de trilobites. Se mantiene la presencia de galerías rellenas con material margoso, aunque disminuye la frecuencia y el espesor de las galerías con respecto al nivel anterior.

- Los siguientes 6 m. continúan con una alternancia entre las dos facies ya descritos (mudstones y packstones oolíticos), en espesores que varían desde los 50-200 cm. A lo largo de toda la sucesión la geometría de los estratos mantiene una delgada estratificación tabular a lenticular, con un piso y techo mayormente irregular, los contactos son netos, usualmente separados por juntas estilolíticas, donde se concentra material arcilloso. La presencia de las galerías rellenas con material margoso es más frecuente en los niveles de mudstones que en los niveles de packstones. Estas galerías están rellenas por material margoso y dolomita, que le dan una tonalidad marrón claro que contrasta con las calizas circundantes de color gris oscuro.
- Continúa un nivel de rudstones, con presencia de intraclastos tabulares (1 cm x 7 cm como tamaño máximo) orientados de manera paralela a la estratificación y levemente inclinados con una imbricación incipiente, sin presencia de ooides y sin bioturbación. Posee un espesor de 20 cm (Fig. 12 b) y tiene una geometría lenticular, con una base cóncava y un techo plano.
- Los siguientes 4 metros muestran una alternancia entre las 3 facies ya descritas (mudstones, packstones oolíticos, rudstones) en capas que varían desde los 10-20 cm.
- Continúa con una sucesión mayormente uniforme de aproximadamente 10 metros de espesor, intercalando niveles de mudstones a packstones finamente estratificados, en estratos de hasta 5 cm, con poco grado de bioturbación. La presencia de galerías continúa, con un espesor promedio es de 5 mm.
- Se presenta un nuevo nivel de rudstone con 20 cm. de espesor, con intraclastos angulosos y tabulares (0,5 cm x 5 cm como tamaño máximo) con presencia discontinua a lo largo del estrato. Posee una geometría lenticular, con una base cóncava y un techo plano.
- El siguiente tramo lo conforman nueve metros de mudstones con un nivel de bioturbación medio y altamente tectonizados, y packstones con un bajo nivel de bioturbación, masivos y poco fracturados.
- Tres metros de caliza tipo packstone-grainstone con ooides de 1 mm. de diámetro, sin fragmentos fósiles y con muy poca o nula bioturbación, agrupados en estratos de 1 a 10 cm de espesor, con vetillas rellenas de calcita (Fig. 12 c). En este nivel es muy visible el contacto estilolítico entre los estratos.

- Cuatro metros de material aluvial de la Quebrada de Juan Pobre cubren el afloramiento.
- Sobre el material aluvial se observa un metro de calizas tipo mudstone-wackestone, caracterizada por la presencia de galerías de grandes dimensiones, de hasta 10 cm de espesor en algunos niveles, relleno con material margoso, de color marrón claro.
- El siguiente nivel lo forman ocho metros de alternancia entre calizas gris oscuras tipo mudstone a packstone finamente estratificado, con una presencia dominante de packstones oolíticos y poco bioturbados, y con nódulos ferruginosos de hasta 5 cm. que tiñen la roca de tonalidades rojizas en algunas zonas.
- La sucesión culmina con 3 metros de calizas tipo mudstone, altamente bioturbadas, con presencia de nódulos ferruginosos. Debido al alto grado de bioturbación, predomina un color amarillo-ocre en este nivel, que también se caracteriza por la presencia de fragmentos fósiles tales como braquiópodos y trilobites (*Blainia gergaira?*) (Fig. 12 d)

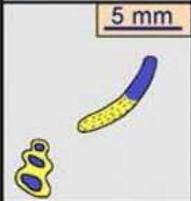
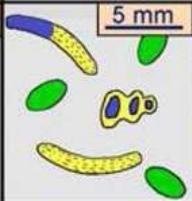
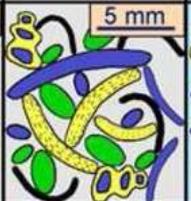
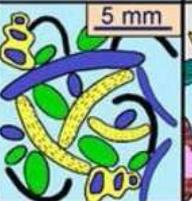
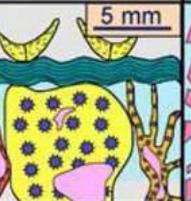
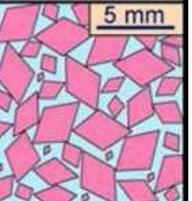
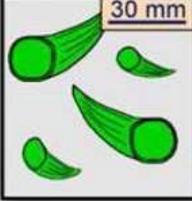
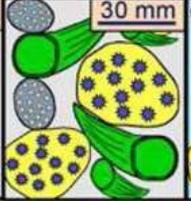
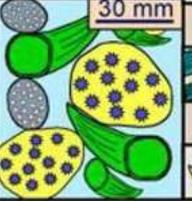
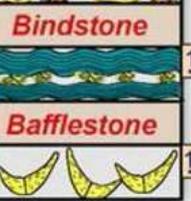
Depositional texture recognizable				Depositional texture not recognizable	
Components not bound together during deposition			Components were bound together during deposition		
Contains carbonate mud (clay / fine silt)		Lacks mud and is grain supported			
Mud supported		Grain supported			
Less than 10% grains	More than 10% grains				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Crystalline
					
	Floatstone (large grains)	Rudstone (large grains)		Framestone	1m
					100 mm
				Bindstone	100 mm
				Bafflestone	100 mm

Fig. 11 Clasificación de sedimentos carbonatados de Dunham (1962) modificada por Embry y Klován (1971)

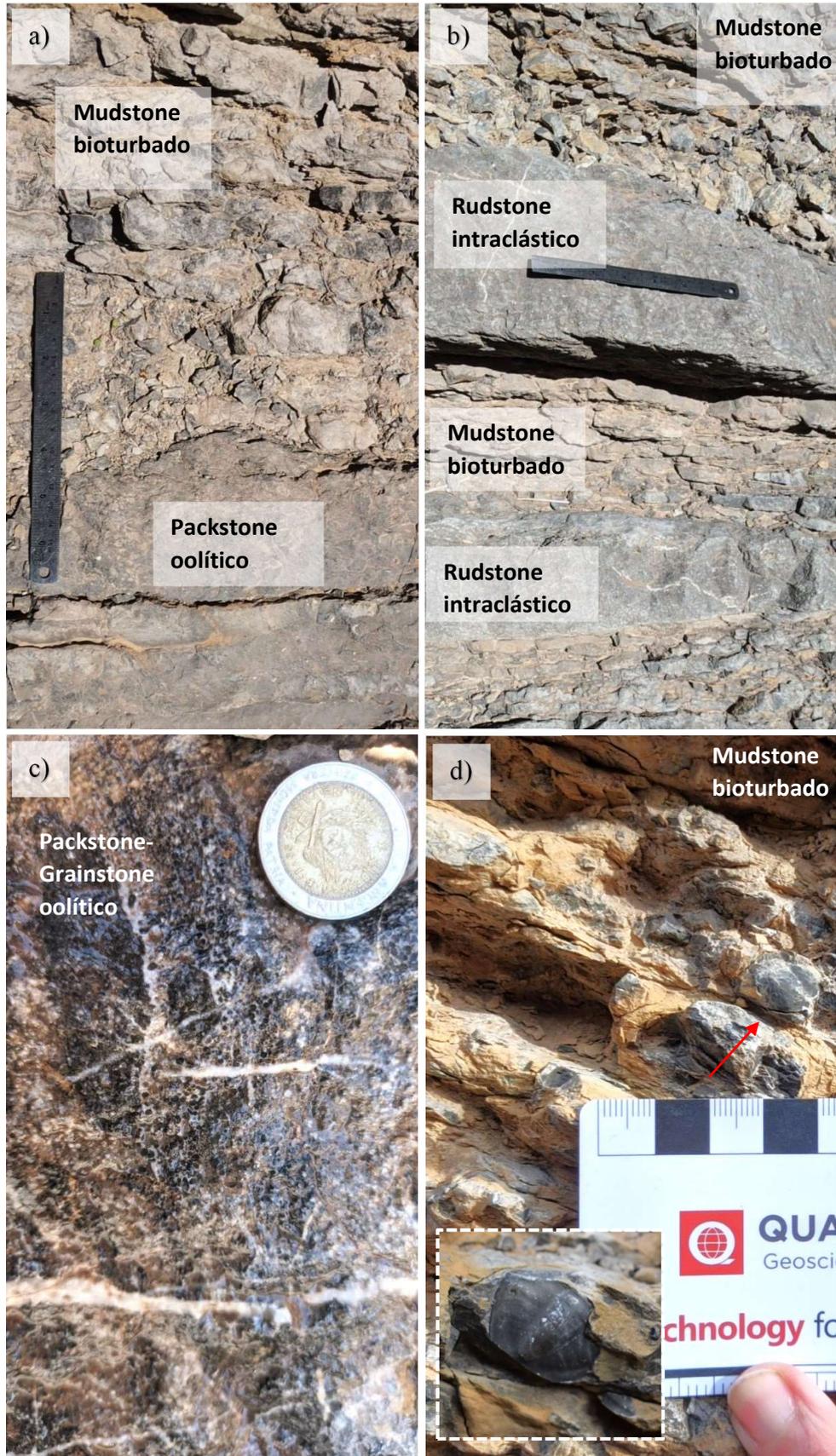


Fig. 12 a) Intercalación entre mudstones bioturbados y tectonizados con packstones oolíticos b) Intercalación entre niveles de mudstones bioturbados con rudstones intraclásticos c) Packstone-Grainstone oolítico d) Mudstone altamente bioturbado con presencia de fósiles, flecha roja apuntando a un pigidio de trilobite (*Blainia gregaria?*)

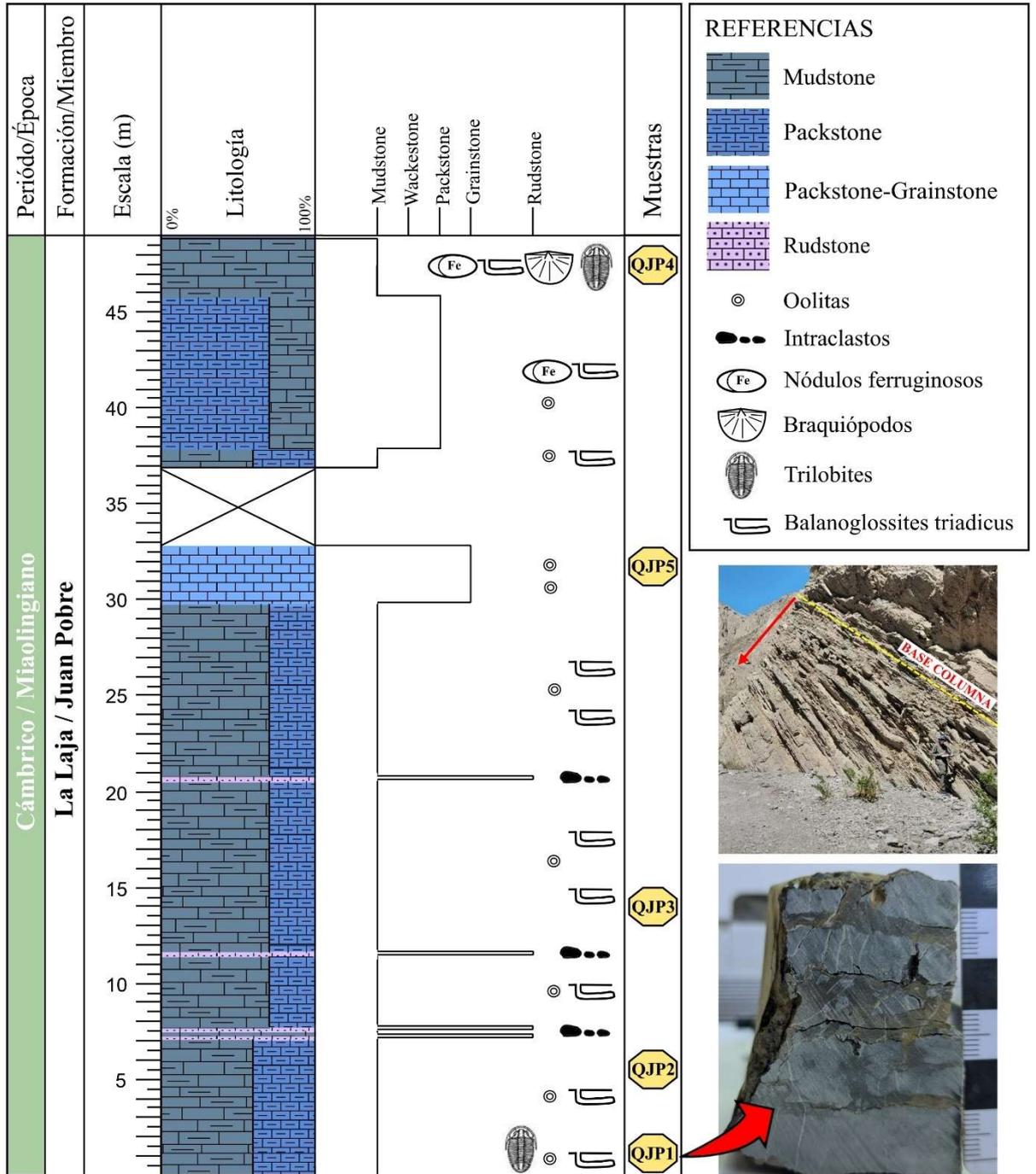


Fig. 13 Columna estratigráfica del Miembro Juan Pobre, Formación La Laja, correspondiente a la sección A-B en la Quebrada Juan Pobre.

6.3 Iconología sistemática

Se citan las diagnósis en idioma original (inglés), para evitar potenciales problemas que pudieran surgir de su traducción al castellano.

Iconógeno *Balanoglossites*, Mägdefrau 1932

Diagnosis: Branched galleries with several openings and acorn-, bulb- or lance-shaped side-branches. Tunnels are elliptical or circular incross-sections, margin is unlined and locally striated; tunnel size varies in the order of several magnitudes within a single gallery system (Knaust,2008).

Balanoglossites triadicus, Mägdefrau 1932

Muestras: QJP1, QJP3, QJP4

Descripción: Las trazas de *Balanoglossites triadicus* han sido observadas a lo largo de toda la columna estratigráfica relevada, en su mayoría orientadas de manera paralela a la estratificación (Fig. 14 a), aunque también se observan en planta como aperturas perpendiculares a la estratificación (Fig. 14 b). Se observan en dimensiones variables que van desde los 3 mm hasta los 10 cm de espesor de la galería (Fig. 14 c). Las galerías poseen una gran continuidad lateral y forman una red irregular y sinuosa. La casi totalidad de las trazas observadas son de tipo endichnia y consisten en galerías sin revestimiento, de geometría irregular tipo bulbo con presencia de aberturas laterales. El relleno de estas galerías consiste en un relleno pasivo de material margoso y dolomítico de color ocre que contrasta con el color gris de la roca huésped. Los contornos de la galería en algunos casos se observan de manera difusa. La variación de tamaño de las galerías dentro de un mismo sistema es grande.

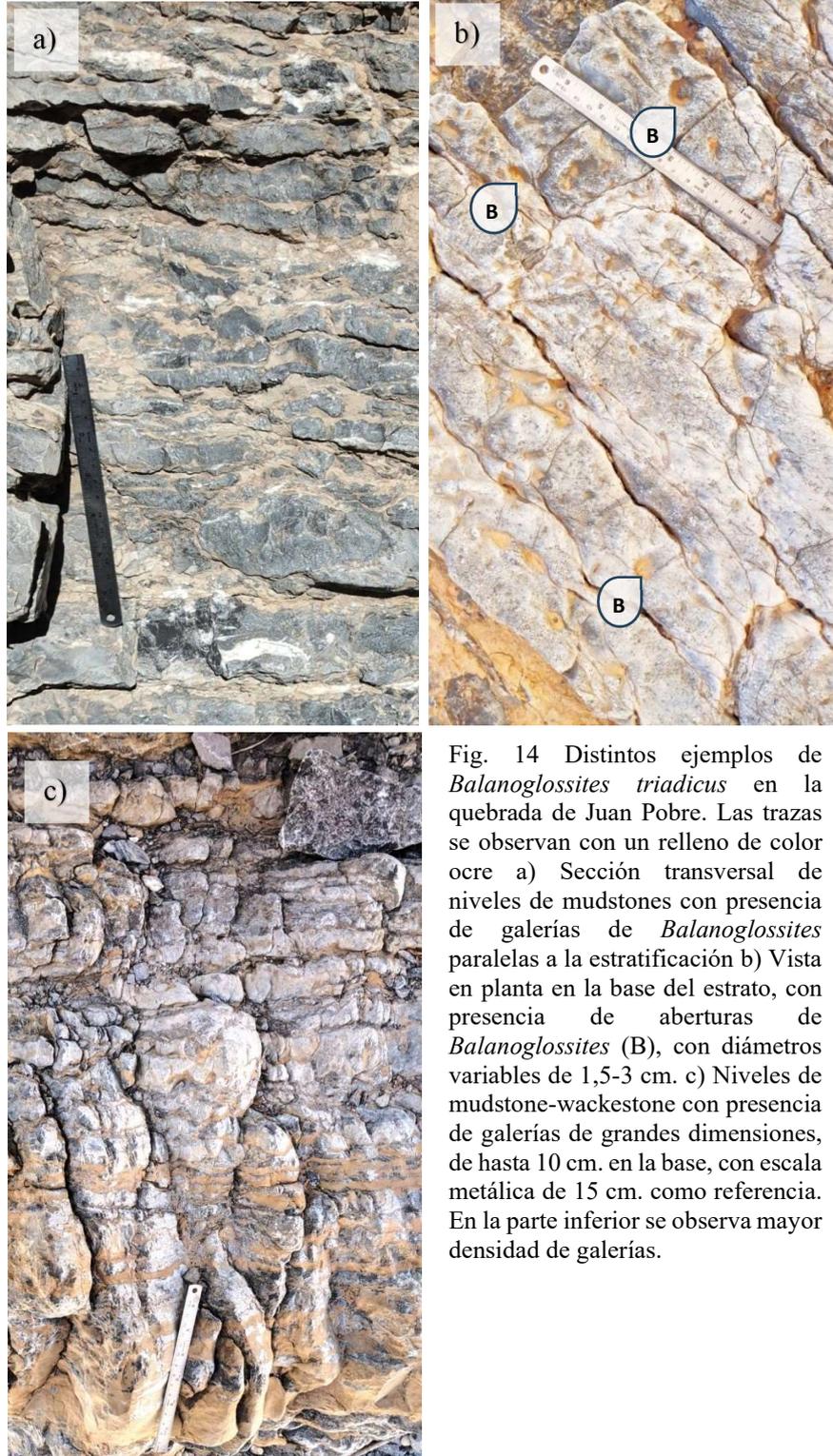


Fig. 14 Distintos ejemplos de *Balanoglossites triadicus* en la quebrada de Juan Pobre. Las trazas se observan con un relleno de color ocre a) Sección transversal de niveles de mudstones con presencia de galerías de *Balanoglossites* paralelas a la estratificación b) Vista en planta en la base del estrato, con presencia de aberturas de *Balanoglossites* (B), con diámetros variables de 1,5-3 cm. c) Niveles de mudstone-wackestone con presencia de galerías de grandes dimensiones, de hasta 10 cm. en la base, con escala metálica de 15 cm. como referencia. En la parte inferior se observa mayor densidad de galerías.

6.4 Descripción de muestras

Muestra QJP1

Descripción Macroscópica: Tomada a 30 cm. desde el inicio de la columna estratigráfica, compuesta por mudstones masivos de color gris claro, se observan una serie de galerías irregulares paralelas a la estratificación, algunas de ellas con presencia de tubos verticales. Todo el sistema de túneles está relleno por marga-dolomita de color ocre (Fig. 15 a).

Descripción Microscópica: Se puede apreciar la presencia, en su mayoría, de lodo micrítico, microesparita y escaso contenido bioclástico inidentificable y neomorfizado (esparita) (Fig. 15 b). También se observa la presencia de una galería con un espesor variable entre 1,2 hasta los 2 mm, rellena con cristales de dolomita más grandes y brillantes en el centro, y un “halo” de cristales de dolomita más pequeños y sucios en los bordes (Fig. 15 c). En los bordes existe un mayor contenido de margas y materia orgánica, mientras que hacia el centro de la galería los cristales de dolomita se encuentran mejor desarrollados y libres de impurezas. Es probable que la presencia de óxido de hierro en la galería tiña la misma de un color ocre. También se observa la presencia de pequeñas vetas de calcita.

Clasificación según Embry & Klovan: Mudstone.

Muestra QJP2

Descripción Macroscópica: Tomada a 100 cm. desde el inicio de la columna estratigráfica, compuesta por packstones oolíticos masivos de color gris oscuro, donde a simple vista se puede observar ooides, intraclastos y vetillas de calcita. No se observa la presencia de trazas fósiles (Fig. 16 a).

Descripción Microscópica: Se observan ooides de tamaño muy uniforme, en general con un diámetro de 1 mm, con una fábrica radial concéntrica, en la mayoría de los casos poco visible al encontrarse micritizados, en algunos casos se puede observar el núcleo y en otros no. En algunos casos existen ooides reemplazadas por un mosaico esparítico equigranular o por un único cristal de calcita luego de haber sufrido etapas de disolución (Fig. 16 b). En los casos en los que los ooides no han sufrido procesos de alteración, se observa que el núcleo está compuesto por bioclastos o partículas de textura micrítica. Además de ooides, que son el alquímico dominante, se observan fragmentos bioclásticos (¿trilobites?) alterados, rellenos con microesparita y con bordes micritizados. También se observan intraclastos alargados y aplanados, de textura micrítica, con su eje mayor teniendo una longitud de hasta 1 cm. Afectando a la muestra se presenta una vetilla de calcita, que tiene un contacto de tipo irregular con los ooides que lo rodean (Fig. 16 c).

Clasificación según Embry & Klovan: Packstone.

Muestra QJP3

Descripción Macroscópica: Tomada a 14 m. desde el inicio de la columna estratigráfica, compuesta por mudstones masivos de color gris claro, se observa una compleja red de galerías presentes en la totalidad de la muestra con diámetros dominantes entre 2-5 mm. que se distribuyen en todas las direcciones, dando un aspecto brechoso a la misma, reflejo de un alto grado de bioturbación (Fig. 17 a-b).

Descripción Microscópica: Se puede apreciar una textura homogénea y granulosa dominada por la presencia de lodo micrítico, con pequeñas venillas de calcita de 0,2 mm de espesor (Fig. 17 c). En algunas zonas existen cristales más brillantes y oscuros de dolomita. También se identificó, de manera muy escasa, la presencia de ooides totalmente micritizados, y de fragmentos bioclásticos.

Clasificación según Embry & Klovan: Mudstone.

Muestra QJP4

Descripción Macroscópica: Tomada en el último nivel de la columna estratigráfica, aprox. 47 metros desde el inicio de la misma, compuesta por mudstones intensamente bioturbados, se observa una compleja red de galerías presentes en la totalidad de la muestra, con uniones de las galerías con forma de bulbo, ensanchadas y curvas, y con límites difusos con la roca circundante. Estas galerías se distribuyen en todas las direcciones, dando un aspecto brechoso a la roca (Fig. 18 a).

Descripción Microscópica: Se puede apreciar la presencia de lodo micrítico y en algunas zonas contenido bioclástico indiferenciable y pequeñas venillas de calcita (Fig. 18 b). También se observa de manera difusa la presencia de una galería horizontal y un tubo perpendicular, rellenos con un material más oscuro y brillante que el lodo micrítico y con un límite difuso con el mismo (Fig. 18 c). Es posible que la presencia de galerías permeables condujo a patrones de reemplazo heterogéneos a medida que los fluidos dolomitizantes se movían a través de las galerías y alteraban el material dentro y adyacente a estos conductos, siendo en algunos casos un límite neto y en otros un límite difuso como en este caso.

Clasificación según Embry & Klovan: Mudstone.

Muestra QJP5

Descripción Macroscópica: Tomada a los 30 m. desde el inicio de la columna estratigráfica, compuesta por packstones oolíticos masivos de color gris oscuro, se pueden observar ooides a simple vista (Fig. 19 a).

Descripción Microscópica: Se puede apreciar la presencia de ooides muy alterados. En general, los ooides son circulares a ligeramente elípticos y tienen estructura concéntrica, con formas y tamaños diversos, teniendo como núcleo a bioclastos o partículas micritizadas. En su mayoría los ooides son multicapa. A menudo los ooides están micritizados, parcial o totalmente recristalizados y reemplazados por calcita, y en algunos casos el límite entre 2 ooides son superficies crenuladas que evidencian de procesos de disolución y recristalización que han modificado las superficies lisas originales de los ooides. Se identifican también contactos suturados asociados a juntas estilolíticas rellenas con material arcilloso o materia orgánica (Fig. 19 c). Otros alquímicos presentes son peloides y fragmentos bioclásticos (¿trilobites?) (Fig. 19 b y d). En la matriz también se pueden observar algunas pequeñas manchas de color negro, posiblemente materia orgánica.

Clasificación según Embry & Klovan: Packstone-Grainstone.

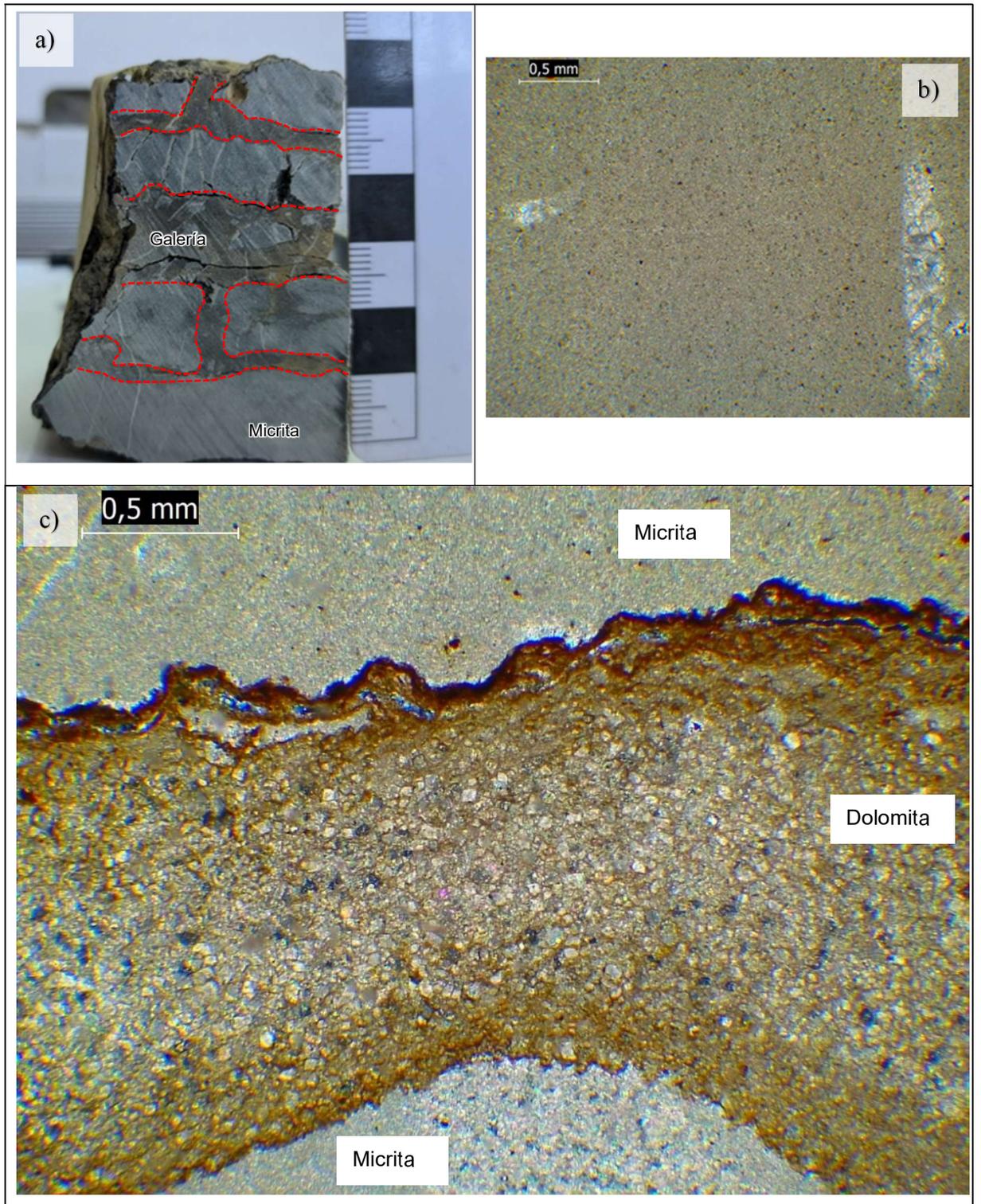


Fig. 15 Muestra QJP1. a) A escala macroscópica, se observa un sistema de galerías rellenas por material margoso color ocre. b) Microfotografía con luz polarizada. Se observan fragmentos bioclásticos neomorizados, rellenos con esparita, dispuestos de manera dispersa dentro de la matriz micrítica. c) Microfotografía con luz polarizada. Se observa lodo micrítico y una galería que se encuentra dolomitizada. Nótese el “halo” de cristales de dolomita más pequeños y sucios entre la galería y la matriz micrítica.

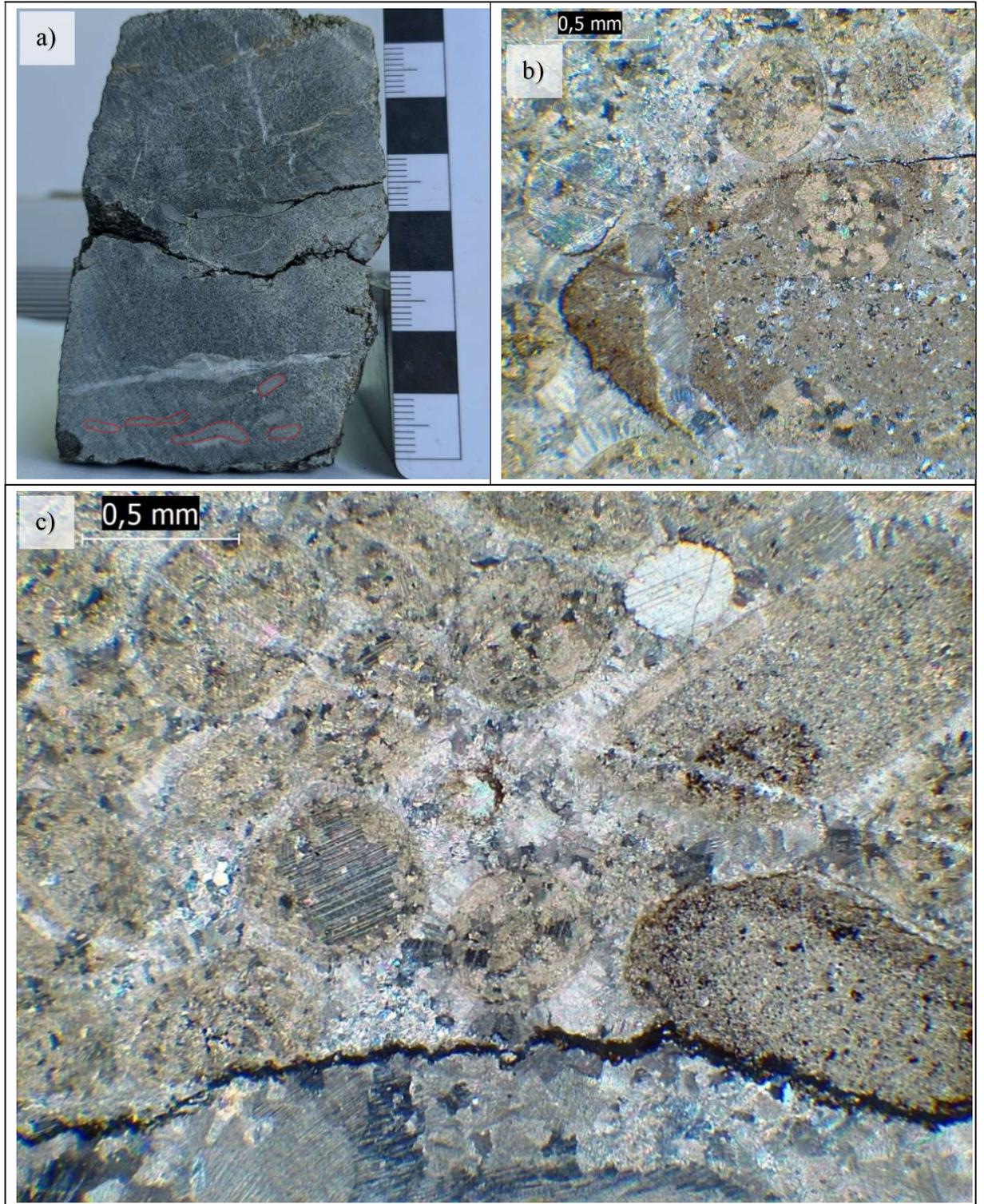


Fig. 16 Muestra QJP2. a) A escala macroscópica, se observan ooides e intraclastos (delimitados en color rojo) a simple vista, además de vetillas de calcita. b) Microfotografía con luz polarizada. Se observan ooides reemplazados por micrita o microesparita en la zona superior derecha y un ooide reemplazado por un solo cristal de calcita en la zona izquierda. También se observa un intraclasto de wackestone, con ooides en su interior, la matriz del intraclasto esta compuesta por micrita y microesparita. c) Microfotografía con luz polarizada. Se observan ooides de tamaño uniforme, reemplazados por micrita o microesparita, y una vetilla de calcita en la parte inferior, en contacto a través de una superficie irregular, relleno con material insoluble.

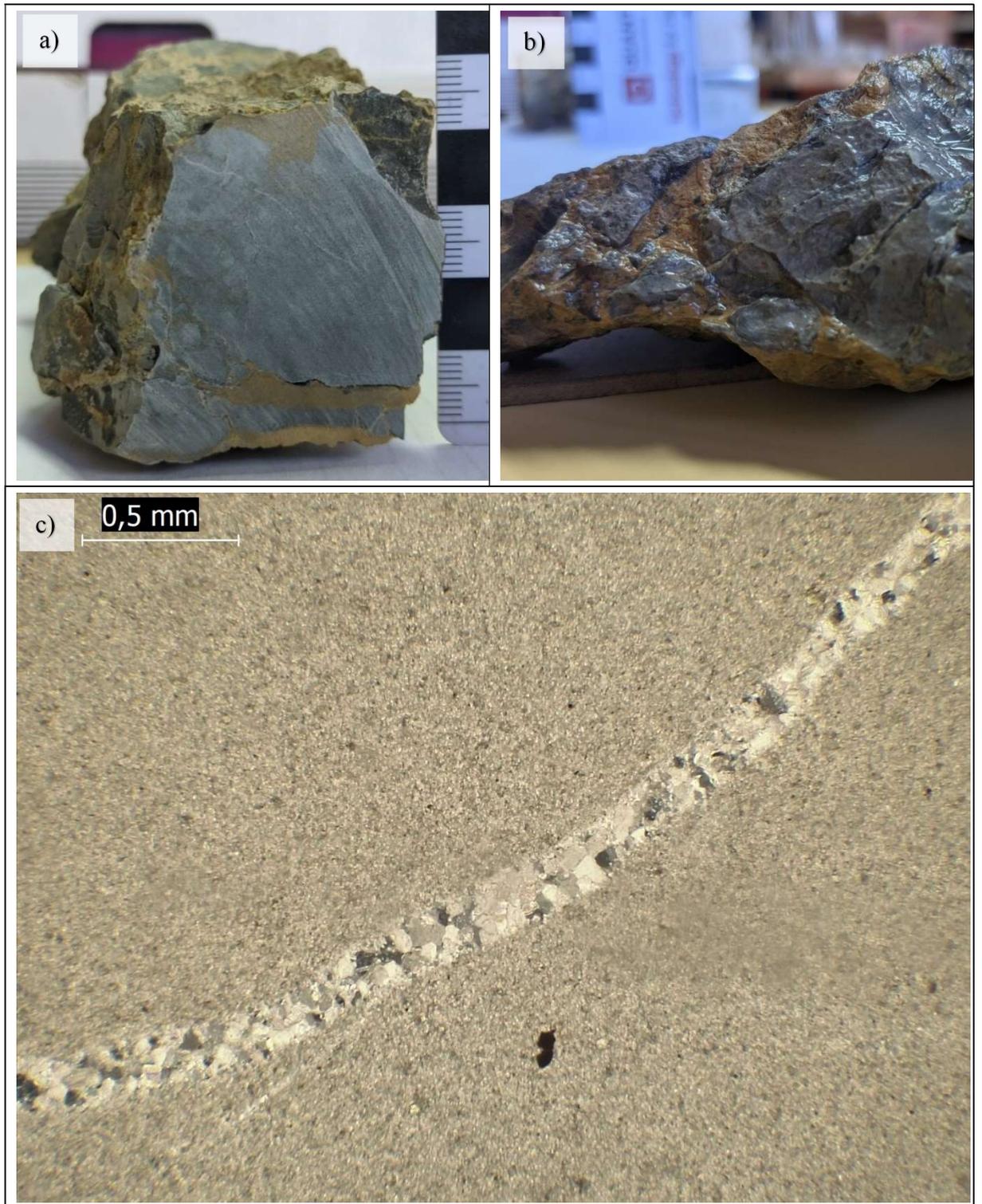


Fig. 17 Muestra QJP3 a) A escala macroscópica, en la parte inferior se observan 2 galerías. b) Se aprecia el aspecto brechoso de la muestra debido a la intensa bioturbación. c) Microfotografía con luz polarizada. Se observa la presencia de lodo micrítico una vetilla de calcita.

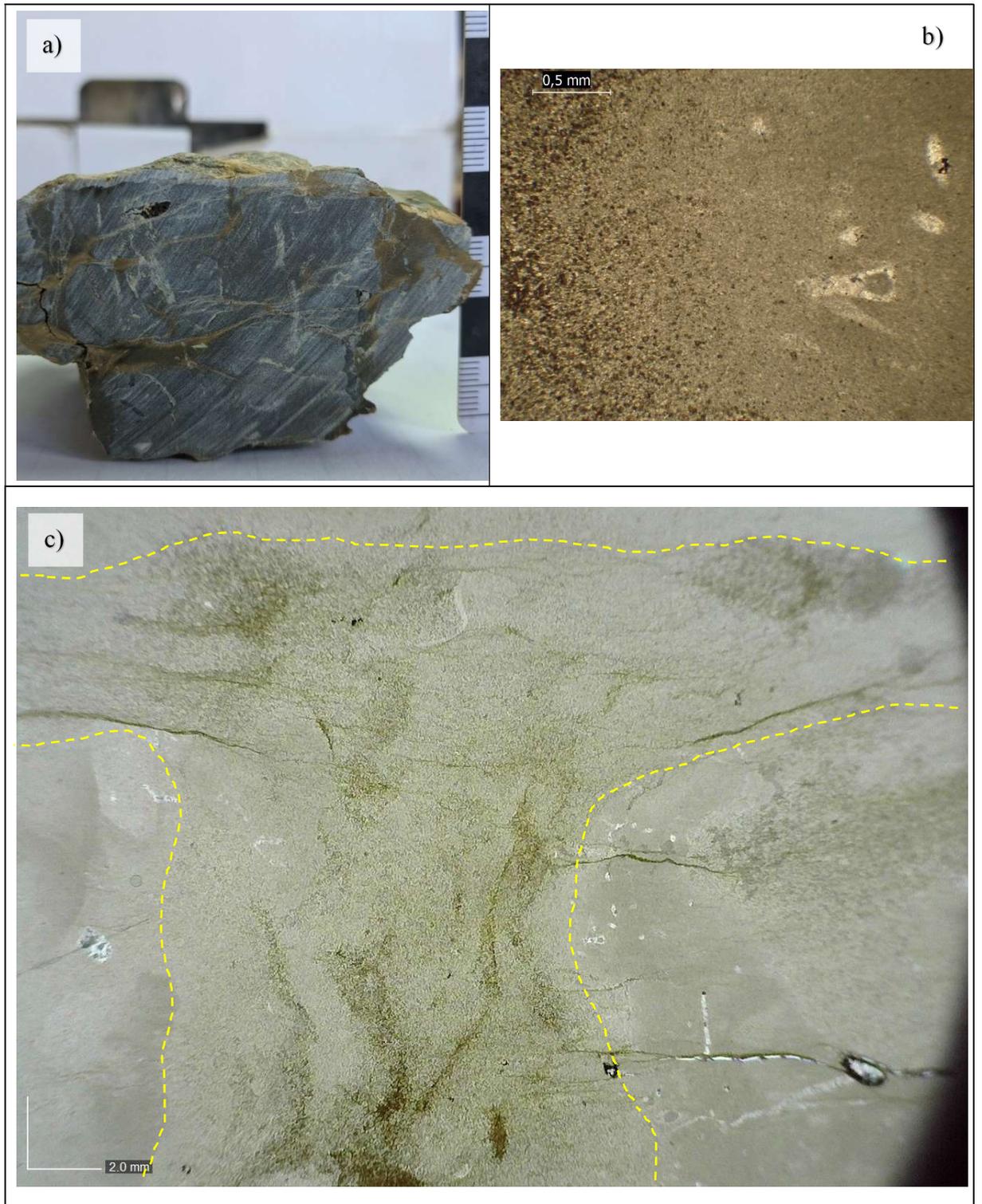


Fig. 18 Muestra QJP4. a) A escala macroscópica, se observa una red de galerías presentes en toda la roca. b) Microfotografía con luz polarizada. Se observa un frente de dolomitización en una caliza micrítica, la dolomitización es intensa en el lado izquierdo y escasa en el derecho. También se observa la presencia de bioclastos indiferenciados en la matriz micrítica. c) Microfotografía con luz natural. Se observa de manera difusa una galería horizontal y un tubo vertical, rellenos por pequeños cristales de dolomita, más oscuros que el resto de la matriz micrítica.

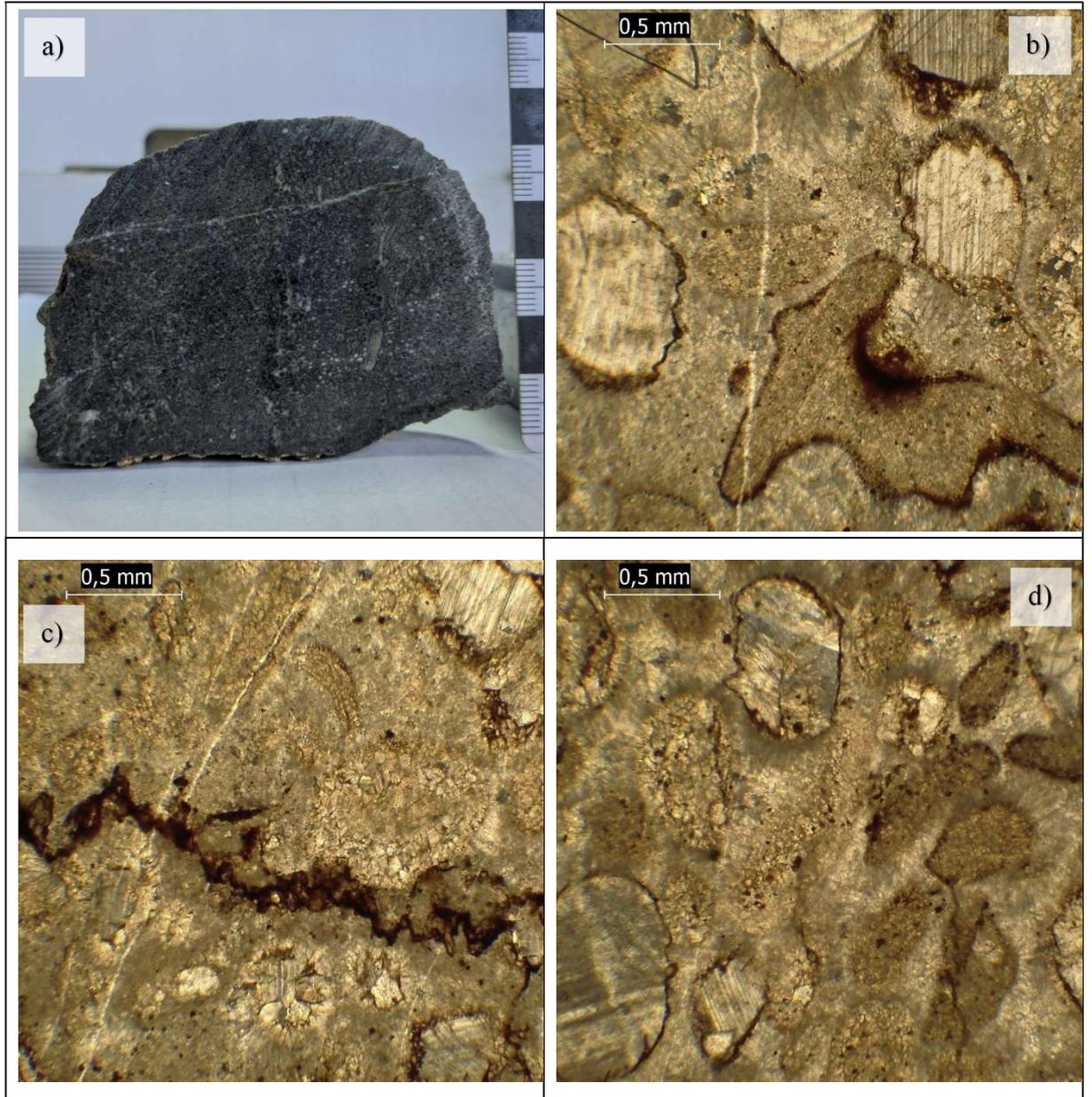


Fig. 19 Muestra QJP5 a) A escala macroscópica, donde se observan ooides a simple vista. b) Microfotografía con luz polarizada. Se observa un fragmento bioclástico, posiblemente un fragmento de trilobite micritizado, junto a ooides totalmente alterados. c) Microfotografía con luz polarizada. Se observan ooides y fragmentos bioclásticos difusos, rellenos con microesparita en su mayoría, además se observa una superficie estilolítica, relleno con material insoluble. d) Microfotografía con luz polarizada. Se observan ooides en la zona izquierda y peloides en la zona derecha.

6.5 Iconofacies

Como se mencionó anteriormente, el concepto de iconofacies se refiere a las asociaciones de trazas fósiles que engloban los rasgos comunes de una serie de icnofaunas particulares, que se repiten a lo largo del tiempo geológico y se generan recurrentemente frente a condiciones ambientales semejantes, (Buatois, Mángano, & Aceñolaza, 2002)

En base al contenido icnofósil descrito en el Miembro Juan Pobre, de la Formación La Laja, es difícil asignar una iconofacies debido a que contiene una icnología monoespecífica, no obstante, teniendo en cuenta las características litológicas y sedimentológicas, se puede asignar a una iconofacies de *Cruziana*, que es característica de ambientes submareales, en una plataforma somera, entre la marea alta y la baja, en ambientes de energía baja a moderada, o en costas dominadas por oleaje, entre el nivel del oleaje normal y el nivel del oleaje de tormenta (MacEachern y Pemberton, 1992; Buatois y Mángano, 2011).

La iconofacies de *Cruziana* comprende una mezcla de estructuras horizontales, inclinadas y verticales, hospedadas en sustratos arenosos de granulometría fina, limpios o con matriz limosa, en donde la icnodiversidad y abundancia de estructuras biogénicas es alta (Seilacher, 1964; Frey & Pemberton, 1984). En el presente estudio se registró el dominio de estructuras horizontales a subhorizontales con ramificaciones complejas, lo cual sugiere la presencia de galerías elaboradas por organismos vermiformes, debido a su morfología distintiva. El sustrato está integrado principalmente por intercalaciones de niveles de mudstones con niveles de packstones oolíticos, que forman sucesiones heterolíticas, lo cual favorece la preservación de las estructuras horizontales (Buatois & Mángano, 2011). Las galerías se encuentran principalmente en los sedimentos micríticos de grano fino, lo cual indica una preferencia de los organismos excavadores por este tipo de sustrato. La geometría irregular de las galerías observadas es un rasgo característico de las galerías vermiformes, excavadas por organismos carentes de estructuras esqueléticas rígidas. Esta morfología irregular sugiere que la consolidación del sedimento carbonático durante la vida de estos organismos no habría alcanzado un grado significativo, ya que un sustrato firme dificultaría la excavación por parte de organismos sin elementos esqueléticos de soporte. Esta evidencia apunta a que la consistencia del sedimento era probablemente semiplástica, permitiendo que los organismos excavadores construyeran sus galerías con relativa facilidad. La estratificación horizontal en calizas micríticas, predominante en el área de estudio, es característica de ambientes con turbulencia baja a moderada (Frey & Pemberton, 1984), y representa un proceso de sedimentación relativamente tranquilo y uniforme, sin perturbaciones importantes por parte de las corrientes.

Se observa una notable disparidad entre la riqueza icnotaxonómica esperada para una icnofacies de *Cruziana* y la baja diversidad icnotaxonómica registrada en este caso. Las icnofacies de *Cruziana* se caracterizan por presentar una notable icnodiversidad, incluyendo trazas fósiles icónicas como *Rusophycus*, *Cruziana*, *Asterosoma*, *Scolicia*, *Planolites*, *Palaeophycus*, *Thalassinoides*, *Teichichnus*, entre otros (Seilacher, 1964; Frey & Pemberton, 1984). La baja diversidad de icnotaxones podría reflejar factores ecológicos específicos del ambiente, entre estos factores el nivel de salinidad se presenta como un posible condicionante. Es probable que los altos niveles de salinidad de un ambiente marino restringido poco profundo hayan condicionado la presencia de otros organismos, restringiendo así la icnodiversidad (Buatois & Mángano, 2011). Esta hipótesis se ve reforzada por la ubicación de la zona de estudio desde el punto de vista estratigráfico, ubicado en la parte superior de la Formación La Laja, cerca del contacto con la Formación Zonda, que representa un ambiente marino tipo sabkha, que muestra condiciones de hipersalinidad en un ambiente muy somero. Alternativamente, cabe destacar la posibilidad de que el registro de trazas fósiles presente una preservación incompleta o sesgada debido a procesos tafonómicos, limitando la representación de la icnodiversidad real del paleoambiente. Una posible explicación para esta ausencia de trazas es la presencia de estilolitas. Las estilolitas se producen cuando dos capas de rocas, generalmente carbonáticas, se comprimen entre sí, durante este proceso, las capas se disuelven en los puntos de contacto, generando superficies onduladas o dentadas, ricas en residuos insolubles tales como minerales de arcilla y óxidos de hierro (Bathurst, 1987). Las trazas presentes cerca de las superficies estratales (tier superior) son más propensas a ser destruidas por la disolución durante la formación de las estilolitas, en comparación con las trazas ubicadas en la zona media de los estratos (tier medio) que están mejor protegidas de este proceso (Frey & Pemberton, 1984). La alta cantidad de estilolitas presentes en la sucesión rocosa del área de estudio sugiere que las trazas de tier superior, podrían haber sido destruidas en mayor medida que las trazas de tier medio, lo que podría explicar la baja icnodiversidad observada en la icnofacies de *Cruziana*. No obstante, cabe destacar que la presencia monoespecífica de un solo icnotaxón no es infrecuente. Particularmente *Balanoglossites*, el icnotaxón dominante en este estudio se caracteriza por generar icnofabricas monoespecíficas con una alta tasa de densidad o bioturbación (Knaust, 2021).

Esta pobre diversidad icnotaxonómica y su presencia recurrente a lo largo de toda la columna estratigráfica, también es indicativo de condiciones ambientales estables y consistentes durante el período de deposición del fango carbonático, donde una especie particular de organismos pudo haber prosperado, adaptándose exitosamente a las condiciones locales. Estas condiciones locales incluyen un bajo nivel de energía, un elevado nivel de

nutrientes en el sustrato, un buen nivel de oxigenación, un elevado nivel de salinidad y una baja tasa de sedimentación.

La asignación de icnofacies de *Cruziana* a la zona de estudio se fundamenta en las similitudes texturales, litológicas y sedimentológicas con estratos portadores de *Balanoglossites triadicus*, de la Formación Volkhov (San Petersburgo, Rusia) y del Grupo Muschelkalk (Alemania), que presentan características geológicas concordantes con las observadas en el presente estudio (Knaust, Bromley, & Ekdale, 2012) (Fig. 20).

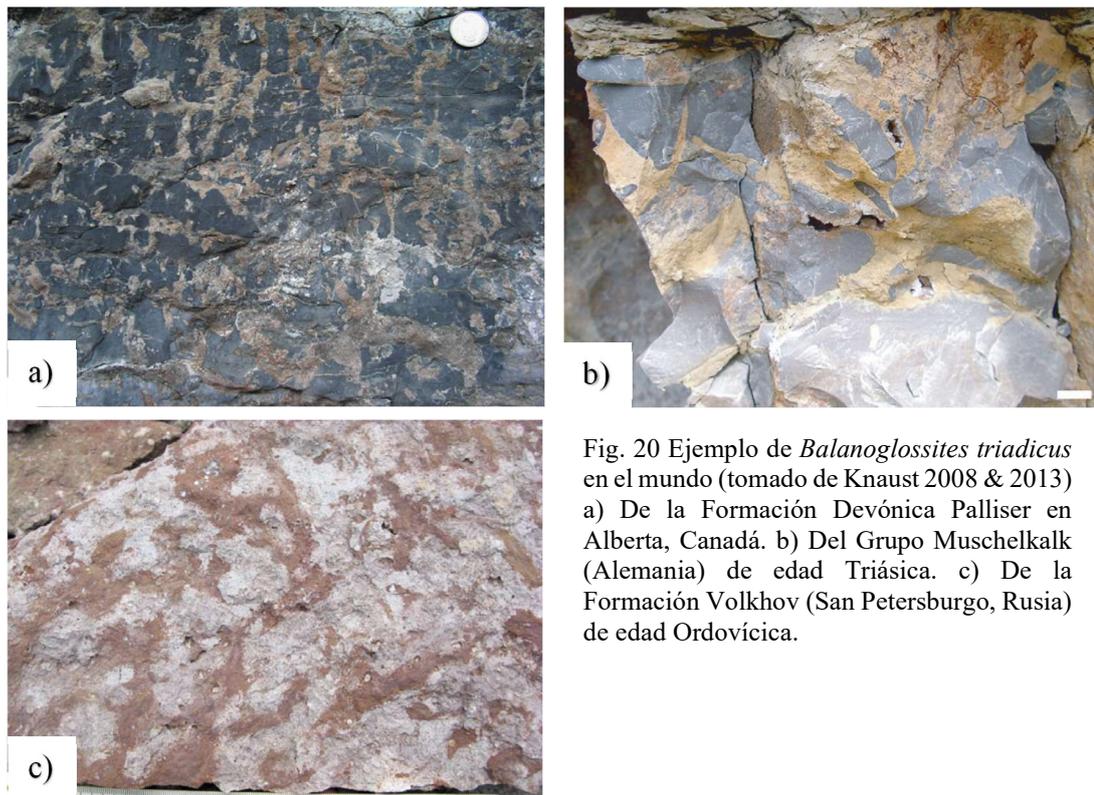


Fig. 20 Ejemplo de *Balanoglossites triadicus* en el mundo (tomado de Knaust 2008 & 2013)
a) De la Formación Devónica Palliser en Alberta, Canadá. b) Del Grupo Muschelkalk (Alemania) de edad Triásica. c) De la Formación Volkhov (San Petersburgo, Rusia) de edad Ordovícica.

6.6 Paleoecología y paleoambiente

En base a la información litológica, sedimentológica, y las características diagnósticas de la traza de *Balanoglossites triadicus*, corresponden a una combinación de trazas de tipo fodichnia y domichnia, según su clasificación etológica (Buatois, Mángano, & Aceñolaza, 2002), y se puede suponer que fueron generadas por organismos vermiformes que habitaban el sustrato carbonático de esta zona, posiblemente poliquetos (Mägdefrau, 1932; Knaust, 2008), debido a la débil anulación de las estructuras, lo cual refleja la baja actividad muscular del organismo. Esta interpretación también está respaldada por la estrecha afinidad del material descrito con los *Balanoglossites* del Triásico de Alemania, donde se encontraron productores similares a anélidos dentro de las galerías (Knaust, 2008). No obstante, no se descarta la

participación de otros organismos, como es el caso de trilobites, cuyos restos fósiles se encuentran presentes en la zona.

La mayoría de las galerías presentan un límite claro entre la madriguera y el sedimento circundante. Algunas paredes muestran deformaciones, posiblemente por la presión del sedimento o por la actividad animal. La presencia de una envoltura oscura en la zona de contacto entre la traza fósil y la roca encajante sugiere la ocurrencia de un proceso de alteración química, probablemente mediado por la interacción entre el fluido alterante y la superficie de la traza fósil. La permeabilidad de la traza fósil también determina la facilidad con la que el fluido puede circular por sus galerías, una mayor permeabilidad permite un mayor flujo de fluido y, por lo tanto, una alteración química más intensa. Las paredes carecen de ornamentación y suelen estar llenas de material margoso o dolomita, de color ocre-amarillento que contrasta el color gris oscuro de la roca circundante. Las ramificaciones laterales cortas y ciegas pueden indicar que el organismo las usaba para explorar el sedimento en busca de alimento, y su forma irregular y sinuosa sugiere que el organismo se movía activamente a través del sedimento, no arrastrándose por la superficie, sino desplazándose por el interior de las galerías, la ausencia de pistas de arrastre refuerza esta idea. De manera tal que estas excavaciones fueron construidas por organismos depositívoros infaunales y pudieron haber servido como domicilio permanente a la vez que constituyen un lugar para el procesamiento del sedimento en busca de alimento, filtrando el sedimento en el interior de sus galerías.

Teniendo en cuenta la posición paralela de las estructuras respecto a la estratificación se propone un ambiente de baja energía, permitiendo que las estructuras más superficiales no sean eliminadas por la erosión, en caso contrario predominarían las estructuras orientadas de manera perpendicular a la estratificación. También la presencia de lodo micrítico en casi la totalidad de la columna hace suponer un bajo nivel de energía. La presencia de galerías de manera casi ininterrumpida a lo largo de toda la columna sugiere que no hubo cambios importantes a nivel paleoambiental en la plataforma carbonática, aunque si se observa que hay una mayor frecuencia y dimensión de las estructuras biogénicas en los niveles de caliza tipo mudstone, en comparación los niveles de caliza tipo rudstone y packstone, probablemente por la facilidad que presenta el sustrato para ser removido y excavado y por ser indicadores de un menor nivel de energía. Las galerías han sido rellenadas de manera pasiva. También se puede inferir la presencia de un sustrato rico en materia orgánica capaz de entregar los nutrientes a los organismos bentónicos que habitaban el fondo marino.

La importante dolomitización existente en las trazas fósiles constituye probablemente un rasgo diagenético temprano, característico de ambientes intermareales (Shinn, 1983). De

manera tal que estas pequeñas galerías, actuaron como conductos para fluidos ricos en Mg^{++} y permitieron la dolomitización del relleno de las galerías, disolviendo los cristales de calcita preexistente, reemplazándolo por nuevos cristales de dolomita. Las observaciones petrográficas han permitido identificar que la dolomita finamente cristalina reemplaza de manera focalizada el relleno de las trazas, mientras que los componentes alquímicos normalmente no se ven afectados por este proceso. El reemplazo generalizado por dolomita finamente cristalina en la literatura se atribuye con mayor frecuencia a la diagénesis temprana poco después de la deposición o durante el entierro superficial (Gregg & Sibley 1984; Al-Aasm a& Packard 2000). Factores como el aumento de la temperatura y de la salinidad favorecieron el proceso de dolomitización (Arche, 2010). Además del proceso de dolomitización temprana, es posible que el flujo de fluidos haya arrastrado consigo óxidos de Fe y Mn que le otorgan una coloración ocre a las trazas.

En cuanto al ambiente sedimentario, en base a lo observado se propone para esta sección un ambiente submareal, poco profundo y de baja energía, probablemente un ambiente de tipo plataforma interna o lagoon, una zona de aguas someras que se encuentra detrás de un arrecife o una barrera costera (Fig. 21 a y b). Los depósitos están formados por fangos calcáreos poco lavados, donde dominan los niveles de poco espesor de mudstones, alternado con niveles de packstones oolíticos, y ocasionalmente se observan niveles lenticulares de rudstones o capas tabulares de packstone-grainstone de mayor dimensión, lo cual indica cambios en los niveles de energía, en donde predomina un ambiente de baja energía en el cual sedimenta el lodo carbonático. Los niveles ricos en ooides finamente estratificados (packstones oolíticos) representarían una sedimentación de fondo en situaciones próximas a barras oolíticas actuando estas como fuente de ooides lo cual representa un nivel de energía media-alta, mientras que los niveles de rudstones y las capas tabulares de grainstones-packstones oolíticos indicarían una redepositación masiva durante episodios de tormenta, lo cual representa un nivel de alta energía. Este ambiente submareal protegido y tranquilo se encuentra influenciado frecuentemente por los cambios de temperatura y salinidad (Arche, 2010). En zonas áridas y de alta evaporación, las altas temperaturas y la elevada salinidad, condiciones de alto stress, hacen que la comunidad biótica sea restringida, lo cual se ve reflejado en una icnofábrica monoespecífica que se encuentra presente a lo largo de toda la sección estudiada.

Esta interpretación es coherente con estudios previos realizados en la zona, tales como Bordonaro O. L., 2003 & 2016; Gómez & Astini, 2006 & 2015; Keller M, 1999; entre otros.

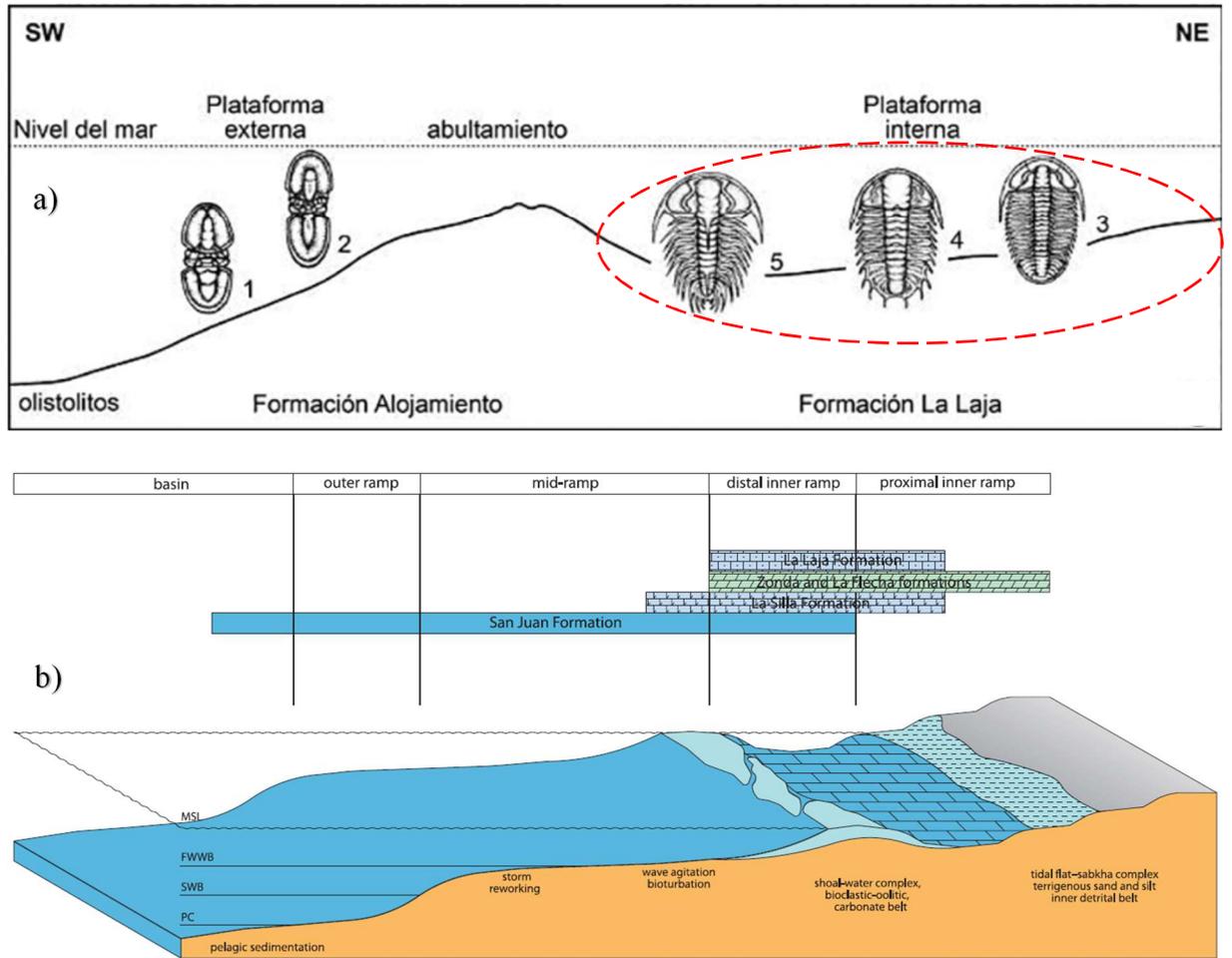


Fig. 21 a) Perfil batimétrico de la plataforma carbonática cámbrica de la Precordillera argentina. 1 y 2: Trilobites agnóstidos pandémicos. 3-5: Trilobites poliméricos laurénticos (tomado de Bordonaro, 2016). En el elipse rojo se marca el ambiente depositacional de la zona de estudio. b) Atribución de ambientes depositacionales del pequeño banco carbonático americano (tomado de Keller, 2012)

7 Evaluación y propuesta del área de estudio como sitio de interés geológico

7.1 Conceptos y principios asociados al Patrimonio Geológico

En el primer Simposio Internacional sobre Protección del Patrimonio Geológico, celebrado en Digne (Francia) en 1991, se redactó una declaración común denominada “Declaración Internacional de los Derechos de la Memoria de la Tierra”. En ella más de un centenar de especialistas en Geología expresaban la importancia del patrimonio geológico (Martínez, 2010). Una de sus declaraciones es: “Como un viejo árbol conserva el registro de su vida, la Tierra mantiene la memoria del pasado escrita en sus profundidades y en su superficie, en las rocas y en el paisaje; esta clase de registro puede también ser traducido” (France, 1993)

El geopatrimonio puede ser definido como un recurso no renovable que, por su valor científico, pedagógico, paisajístico, turístico o cultural, y por su contribución para el reconocimiento e interpretación de procesos geológicos que modelan nuestro planeta, deben ser preservados para las generaciones venideras. (Brilha, 2005).

El patrimonio geológico o geopatrimonio es una parte importante del patrimonio natural. Existe una estrecha relación entre los seres vivos y el entorno abiótico donde habitan. Esta relación se puede interpretar a partir del registro geológico (Rubilar & Perez, 2010).

7.1.1 Geodiversidad

Según la Royal Society for Nature Conservation del Reino Unido, la Geodiversidad consiste en la variedad de ambientes, fenómenos y procesos geológicos que dan origen a paisajes, rocas, minerales, fósiles, suelos y otros depósitos superficiales que constituyen el sustrato de la vida en la Tierra. A estos se podrían agregar evidencias de procesos, o estructuras geológicas, que podrían ser de origen sedimentario, tectónico, geomorfológico, hidrogeológico, petrológico u otro.

7.1.2 Geoconservación

Designa las estrategias, acciones y políticas para una eficaz conservación de la Geodiversidad y la protección del patrimonio geológico (Sarmiento, 2005). Al observar el mundo que nos rodea se puede ver que el ambiente geológico está sujeto cada vez a una mayor destrucción, no solo por causas y procesos naturales, sino que principalmente por el resultado de actividades humanas. Estas amenazas, ocurren a variadas escalas, como por ejemplo la

exploración desordenada de recursos geológicos, actividad recreativa y turística disgregada, por la colecta de muestras geológicas para fines no científicos, etc. (Gray, 2004) .

Por otro lado, cuando los países llegan a tener estrategias de Geoconservación, estas son generalmente aisladas y desorganizadas. Es por esto que es importante que las estrategias de Geoconservación sean basadas en la utilización de un método de trabajo que proponga sistematizar acciones en el ámbito de la conservación del patrimonio geológico de una determinada área, sea esta a nivel país, regiones o áreas protegidas (Brilha, 2005).

7.1.3 Geositios

En la Tierra existen sitios geológicos excepcionales, desde el punto de vista científico, didáctico, cultural, turístico, etc., estos lugares se denominan geositios. Más formalmente, un Geositio corresponde a un sitio donde se puede presentar uno o más elementos de geodiversidad, geográficamente bien delimitado y que presenta un valor singular desde un punto de vista científico, pedagógico, cultural, turístico u otro (Brilha, 2005).

7.2 Criterios de valoración

Para ejecutar cualquier método de valoración es necesario definir los aspectos principales a valorar, en función de los objetivos. Existen aspectos que pueden ser identificados por separado, que desagregan las características valorables de un Geositio, entre las que se podría encontrar el aspecto científico, turístico, didáctico u otro.

El método de valoración utilizado en este trabajo se basa en el de Medina (2015), por la sencillez y claridad que presentan sus parámetros, además de ser pensado para la realidad argentina, y se modifica para ajustarse mejor a las necesidades de este trabajo. En esta metodología se considera de manera independiente al valor científico, desagregando el valor intrínseco del valor científico, con el objetivo poder calcular nuevos indicadores.

La ficha de valoración busca identificar, por separado, los aspectos (parámetros) del valor intrínseco, científico/didáctico, turístico y de vulnerabilidad. Para esto se utilizan las siguientes categorías:

- Valor Intrínseco (Vin): Reúne los parámetros directamente asociados a los aspectos propios del Geositio. En este se reúnen la abundancia o rareza, extensión, condiciones de observación y estado de conservación (Cuadro 1).

- Valor Científico/didáctico (Vcid): Esta categoría reúne aspectos de interés científico como; Conocimiento científico, representatividad, la posibilidad de realizar actividades científicas, utilidad como modelo para ilustrar procesos geológicos, posibilidad de realizar actividades didácticas y conocimiento divulgativo (Cuadro 2).
- Valor Turístico (Vtur): Se refiere a los aspectos que representan el uso actual del sitio, desde un punto de vista turístico. Aquí se valoran la asociación con elementos de índole cultural, asociación con elementos de índole natural, posibilidad de realizar actividades turísticas, accesibilidad, proximidad de poblaciones que sería beneficiada con la divulgación del geosítio, proximidad a centros de servicio y la capacidad escénica (Cuadro 3).
- Valor en vulnerabilidad (Vvul): Esta categoría evalúa al geosítio en lo referente a su vulnerabilidad, es decir la capacidad que presenta para soportar el impacto de una combinación de factores. Se valora la posibilidad de recolectar objetos geológicos, amenazas actuales o potenciales (a plazo variable), interés para la explotación minera, fragilidad y protección local (Cuadro 4).

En los cuadros 1,2,3 y 4 (Anexo 2) se presentan las categorías de valoración (Vin, Vcid, Vtur y Vvul), con sus respectivos aspectos de valoración. La escala métrica oscila entre valores de 0 a 4, siendo 0 nulo, 1 bajo, 2 medio, 3 alto y 4 muy alto, de manera tal que el valor 0 es la situación menos favorable y el valor 4 es la situación más favorable.

Una vez obtenido el valor numérico de cada categoría de valoración, se calcula el Valor de relevancia del geosítio (VRG), Valor de uso científico/educativo (VUCE), Valor de Uso Turístico (VUT) y el Índice para la geoconservación (IG). Las fórmulas para la obtención de los distintos valores de uso quedan representadas en la tabla 2 (Anexo 3)

7.3 Propuesta de ficha descriptiva

La ficha de descripción del lugar debe diseñarse de modo que pueda contener la mayor cantidad de información útil posible, para facilitar el trabajo de valoración y para que los datos sintetizados puedan ser usados en futuros trabajos de investigación o planificación.

La utilización de fichas descriptivas facilita la homogenización de la información en un inventario geológico. En el Anexo 1 se presenta la ficha utilizada en este trabajo. En el diseño de la ficha se intentó considerar la mayor cantidad de información de los geositos, intentando cumplir los siguientes objetivos:

- Entregar la mayor cantidad de información, limitándose a un tamaño máximo de 2 planas.
- Evitar redundancias y al mismo tiempo entregar las claves para ahondar en los temas de interés.
- Facilitar el traspaso de la información a una base de datos computarizada.

7.4 Caracterización del geosito

Corresponde a una zona de muy buena exposición de la Formación La Laja (Cámbrico medio), especialmente del miembro Juan Pobre, donde se observa una alternancia de estratos delgados de calizas finamente estratificadas de color gris oscuro y calizas margosas de color amarillento. Los estratos se disponen de manera subvertical, de manera tal que las calizas margosas, más fácilmente erosionables, forman canales o cunetas, mientras que las calizas más oscuras por su parte forman delgadas crestas. Se interpreta que se formó en una plataforma marina somera, en mares de aguas cálidas y en un sector afectado por las mareas (Bordonaro O. , 1980).

Estas rocas carbonáticas contienen una rica fauna de trilobites y braquiópodos que han permitido datar de manera efectiva dichas formaciones junto con asignarle un ambiente depositacional (Bordonaro O. , 1980). Estas características paleontológicas llevaron a pensar a algunos geólogos que la Precordillera, formaba parte de un antiguo terreno tectono-estratigráfico conocido como Cuyania (Astini et al., 1996; Ramos, 2004; entre otros). Esta conclusión surge a partir de que las faunas fósiles halladas en las calizas cámbricas de la Precordillera (especialmente aquellas de la quebrada de Juan Pobre) son muy similares a las encontradas en el sur de los Estados Unidos (Borrello, 1965; Benedetto y Astini, 1993).

La alternancia de estratos de calizas masivas y calizas margosas conduce a distintas combinaciones de relieves diferenciales erosivos. Los estratos buzan entre 70-90° hacia el sureste, por lo que pueden clasificarse como estructuras tipo hogbacks o barras (Viers, 1974). Dentro de la quebrada destacan ubicaciones puntuales como la Catedral de Caliza, y los saltos y cascadas del arroyo Juan Pobre. La catedral de Caliza se sitúa en el tramo medio del cauce del arroyo Juan Pobre, en una curva del arroyo Juan Pobre donde las geoformas de barras y hogbacks se aprecian en toda su magnificencia, con paredes de calizas que se elevan hasta los 30 metros de altura (Fig. 21 a y b). Los saltos y cascadas se localizan en el tramo medio a superior del cauce del arroyo Juan Pobre, donde la erosión fluvial ha incidido profundamente en la roca caliza (Fig. 21 d). También vale mencionar la presencia de depósitos de deslizamiento de rocas en algunas de las curvas del arroyo Juan Pobre (Fig. 21 c). Las calizas se encuentran altamente tectonizadas, con diaclasamiento, venillas rellenas con calcita y brechas tectónicas. Este tipo de geomorfología evidencia los distintos esfuerzos orogénicos que han experimentado estos estratos desde su origen hasta la actualidad.

El relleno de la quebrada está dominado por depósitos aluviales y coluviales mal seleccionados cuyo material de procedencia son las rocas carbonáticas de las paredes de la quebrada.

Esta Quebrada cuenta con un valor histórico para la geología argentina, ya que fue en este sitio donde se encontraron los primeros fósiles de edad cámbrica. Las rocas de edad Cámbrica en la quebrada de Zonda fueron descubiertas por primera vez por el geólogo alemán Alfred Stelzner en 1873 quien recolectó fósiles de trilobites y braquiópodos en las quebradas de Juan Pobre y La Laja (Stelzner, 1885).

Existen distintas historias sobre el origen del nombre de la quebrada, según algunos, fue un personaje que vivió a fines del siglo pasado en esa zona. Juan Pobre, todo lo que compraba lo pagaba en oro, por ello un grupo de chilenos que trataba de averiguar la procedencia de ese metal lo mató, quedando con él sepultado el secreto.

La quebrada cuenta con cartelera al inicio y al final del recorrido y es difícil desviarse del camino debido a que la quebrada y su cauce indican el camino permanentemente, sin presentar bifurcaciones que generen confusión. Presenta fácil acceso y el sendero presenta una baja pendiente, convirtiéndola en una excelente opción para todas las personas. En la entrada se encuentra personal de la Asociación de Guías de Montaña y Escalada (AGME) debido a un convenio con el Ministerio de Cultura y Turismo de la Provincia. En la Fig. 21 se observan las distintas características de la Quebrada.

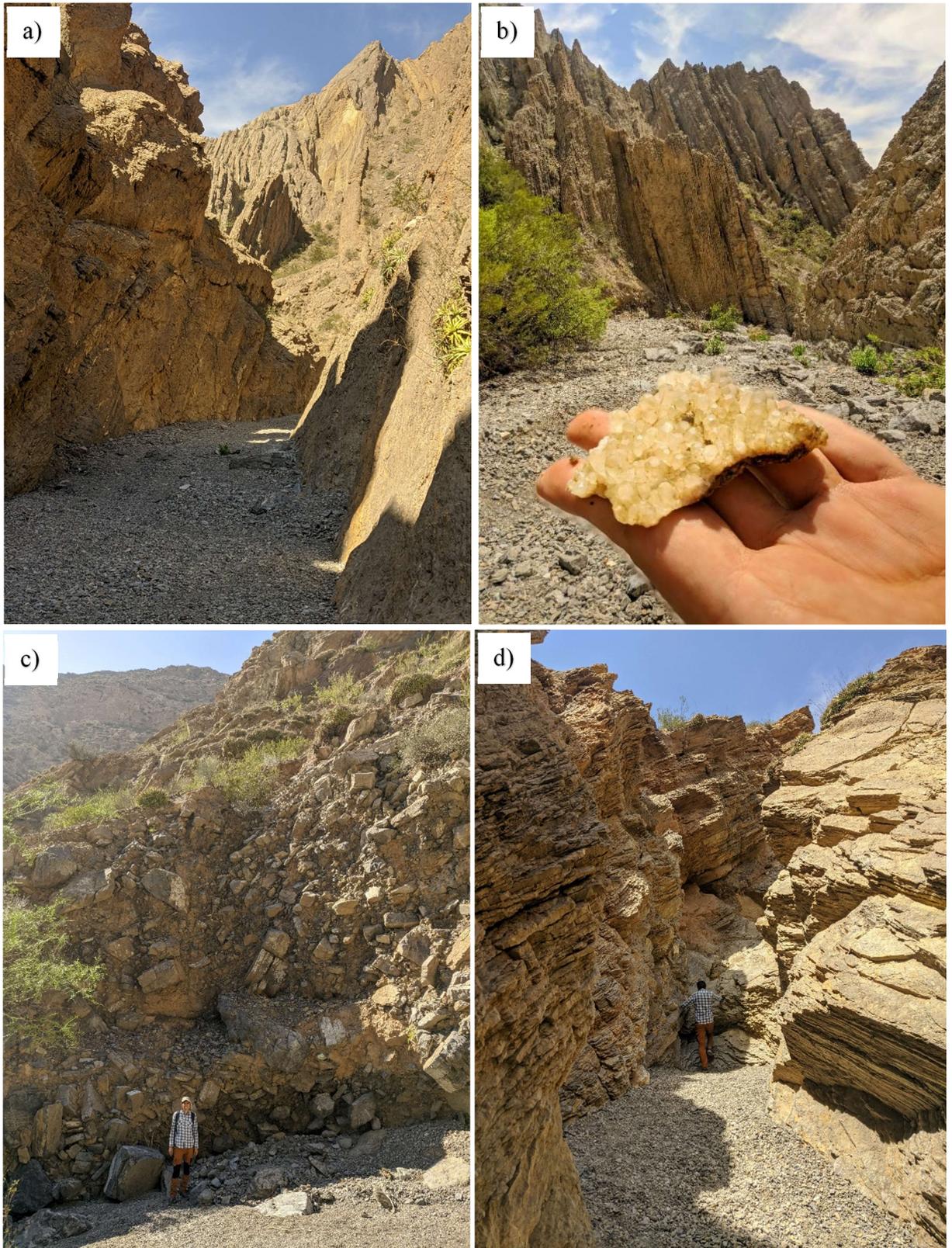


Fig. 21 a) y b) Se observan las estructuras tipo hogbacks producto del alto buzamiento de los estratos de caliza y la erosión diferencial producto de la alternancia entre distintas litologías. c) Se observa depósito de deslizamiento de roca, con clastos mal seleccionados, caóticos, matriz-sostén. d) Cañadón y cascadas al final del recorrido.

7.5 Valoración del geositio

La valorización tiene un objetivo centrado principalmente, en la planificación del uso aprovechable de los sitios. Es por esto por lo que el enfoque debe considerar distintos aspectos, además del interés científico. Se optó por el método de valoración de Medina (2015) que entre los aspectos a valorar contempla el valor didáctico, el potencial turístico, el valor intrínseco y su grado de vulnerabilidad. Este último aspecto adquiere un mayor valor dentro de una zona urbana, debido al riesgo de degradación asociado al flujo de visitantes y al riesgo de destrucción por urbanización. Una vez definidos los aspectos a valorar, es necesario definir cómo se va a cuantificar cada uno de los aspectos a tener en cuenta, es decir, se deben definir los sistemas de valoración. Lo ideal es que la valoración de los geositios se realice definiendo los parámetros que permitan estimar el interés de cada uno de estos, de una manera sistematizada y homogénea. Existen distintos enfoques y métodos de valoración de geositios.

En base a la metodología anteriormente descrita (apartado 6.2) se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a los parámetros de cada categoría y en cuanto a los valores de uso. En la Tabla 3 (Anexo 4) se presentan de manera completa los puntajes obtenidos en las distintas categorías de valoración (VI, VC, VT y VV), con sus respectivos aspectos de valoración y escala métrica (con valores entre 0 y 4). A continuación, se presenta una tabla resumen con los principales índices obtenidos (Tabla 1).

Categoría	Valoración
Porcentaje de aprobación	58p = 63%
Valor relevancia del geositio (VRG)	15,00
Valor intrínseco (Vin)	2,80
Valor científico/didáctico (Vcid)	3,33
Valor uso científico/educativo (VUCE)	2,98
Valor turístico (Vtur)	2,43
Valor en vulnerabilidad (Vvul)	2,00
Valor de uso turístico (VUT)	2,29
Índice para la geoconservación (IG)	6,87

Tabla 1. Tabla resumen de los distintos índices obtenidos.

La propuesta de Medina (2015) sugiere que los geositios deben alcanzar un porcentaje de aprobación del 50% como mínimo, por lo tanto, la Quebrada de Juan Pobre con un porcentaje de aprobación del 63%, se puede considerar como un sitio de interés. Se observa que la zona posee un alto valor científico, debido a su alto grado de conocimiento científico, es decir la cantidad de estudios que se han realizado en dicha zona es considerable, y constituye una zona representativa para las rocas de su edad. También destaca por su valor turístico, paisajístico y didáctico-educacional, y se caracteriza por su fácil acceso desde la ciudad de San Juan.

Si bien la metodología propuesta por Medina (2015) proporciona un marco de trabajo útil para la evaluación de potenciales geositios, cabe mencionar que su nivel de profundidad en el análisis en las características geológicas se encuentra limitada, y su valoración cuantitativa solo representa un par de parámetros de valoración dentro de su valor intrínseco o científico/educativo. En aras de profundizar en el análisis geológico del geositio en cuestión, se ha decidido complementar la metodología de Medina (2015) con la guía propuesta por el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) en su "Guía para la descripción y propuesta de Sitios de interés Geológico en las Hojas Geológicas" (2018).

7.6 Guía para la descripción de geositorios según Segemar

El Segemar en su “Guía para la descripción y propuesta de Sitios de interés Geológico en la Hojas Geológicas” (2018) propone que un geositorio debe incorporar hasta 3 aspectos de interés. Decimos que los sitios tienen, de acuerdo a su contenido, un interés particular en relación a una o varias disciplinas de la geología (Anexo 5). Para ello resulta necesario definir el tipo de interés de acuerdo al aspecto más llamativo, fácilmente visible o de más amplia utilización en el sitio. Es en este sentido que para este caso se propone destacar la presencia del interés; estratigráfico, paleontológico y geomorfológico.

En cuanto al valor estratigráfico se puede decir que este sitio corresponde a la localidad tipo de la Formación La Laja, y se considera, junto con la Quebrada de Zonda, como la comarca por excelencia de la Precordillera Oriental Sanjuanina. Se pueden observar de manera casi continua los estratos de edad cámbrica, donde se encontraría registrada la historia de la separación y deriva del terrane exótico de Cuyania hacia Gondwana (Astini et al., 1996; Ramos, 2004; entre otros). La Formación La Laja es una unidad predominantemente calcárea que, a diferencia del resto de las que componen la sucesión cambro-ordovícica de la Precordillera, presenta intervalos con sedimentación mixta silicoclástica-carbonática.

En cuanto al valor paleontológico se puede decir que se trata de una de las localidades fosilíferas más importantes a nivel nacional y mundial de faunas de trilobites y braquiópodos del periodo Cámbrico. El miembro Juan Pobre contiene una muy abundante fauna de trilobites y braquiópodos. Existen especies de Trilobites como ser "Elrathia juanpobrensis", "Albertella zondaensis" o "Zondaspis sanjuanensis" que fueron descubiertas y descritas por primera vez en esta quebrada por el geólogo Dr. Osvaldo Bordonaro (Bordonaro O. , 1986). Fue debido a estas características paleontológicas lo que llevo a pensar a algunos geólogos que la Precordillera, formaba parte de un antiguo terreno tectono-estratigráfico conocido como Cuyania (Astini et al., 1996; Ramos, 2004; entre otros). Esta conclusión surge de que las faunas fósiles halladas en las calizas cámbricas de la Precordillera (especialmente aquellas de la quebrada de Juan Pobre) son muy similares a las encontradas en el sur de los Estados Unidos (Borrello, 1965; Benedetto y Astini, 1993). El terreno de Cuyania adquirió su posición actual en el margen occidental de Sudamérica entre los 460 y 470 millones de años durante el periodo Ordovícico. Junto con su elevado contenido restos fósiles, se destaca también por la notable presencia de trazas fósiles. Como se ha analizado en profundidad en este trabajo, estas trazas fósiles proporcionan un testimonio invaluable de la intensa actividad generada por organismos vermiformes que, por sus características, no han podido quedar registrados en el registro fósil como cuerpos mineralizados.

En cuanto al valor geomorfológico se puede destacar la presencia de geoformas tales como hogbacks y barras, que son un tipo de modelado estructural del relieve que se originan producto de un intenso plegamiento. Cuando las capas de roca inclinan con ángulo elevado, se denominan hogbacks, cuando los estratos se encuentran en posición vertical, se denominan barras (Viers, 1974). Aparejado a este tipo de relieve estructural, se encuentra la presencia de procesos de erosión diferencial entre rocas de diferentes durezas y/o resistencia a la erosión. Uno de los lugares donde las geoformas de barras y hogbacks se aprecian en toda su magnificencia es la “Catedral de caliza”, donde la erosión fluvial producida por el arroyo Juan Pobre ha labrado escarpadas paredes de hasta 30 metros de altura en la roca caliza. La disposición vertical de las capas de roca le otorgan la apariencia de una catedral coronada por filosas crestas y torres. Este tipo de geomorfología evidencia los distintos esfuerzos orogénicos que han experimentado estos estratos desde su origen hasta la actualidad.

Como se mencionó anteriormente lo ideal sería incorporar hasta tres tipos de interés, no obstante, cabe resaltar su valor histórico para la geología argentina. Fue en este sitio donde se encontraron los primeros fósiles de edad cámbrica. Las rocas de edad Cámbrica en la quebrada de Zonda fueron descubiertas por primera vez por el geólogo alemán Alfred Stelzner en 1873 quien recolectó fósiles de trilobites y braquiópodos en las quebradas de Juan Pobre y La Laja (Stelzner, 1885). En 1937, el Dr. Teiichi Kobayashi, un geólogo japonés, le dio por primera vez un nombre formal a las entonces denominadas Calizas San Juan, renombrándola como Formación San Juan. En 1943, los geólogos Horacio Harrington y Armando Leanza revisaron las colecciones paleontológicas dejadas por Stelzner e incorporaron nuevos ejemplares coleccionados de las quebradas de Juan Pobre y La Laja y determinaron que estos restos fósiles pertenecían al período Cámbrico. Esta fue la primera mención de fósiles de esta edad para toda la República Argentina. En 1962, el Dr. Ángel Borello, geólogo de la Universidad Nacional de La Plata, separó la Formación La Laja de la Formación San Juan, agrupando en la primera las rocas calcáreas del Cámbrico medio que conforman gran parte de la quebrada de Zonda. La sección ejemplar de esta formación se sitúa en el tramo que abarca desde la Hostería Sarmiento hasta el dique Soldano. En 1980, el Dr. Osvaldo Bordonaro, geólogo de la Universidad Nacional de San Juan creó la Formación Zonda, separándola de la Formación La Laja. Recibe su nombre por la quebrada de Zonda donde fue estudiada en mayor detalle. A partir de su relación estratigráfica con otras formaciones de edad conocida, se le asigna una edad cámbrica superior. En 1981, el Dr. Bruno Baldis, geólogo y director del Instituto de Geología de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la UNSJ, junto a otros investigadores definieron la Formación La Flecha que en la quebrada de Zonda aflora en la cumbre del cordón del Cerro Parkinson.

La combinación de la metodología de Medina (2015) y la guía de Segemar (2018) ha permitido realizar un análisis más detallado de este sitio, evidenciando su potencial como Geositio o Sitio de Interés Geológico. Este sitio reúne características únicas y representativas que le otorgan un valor científico, educativo y/o turístico. Su relevancia radica en su capacidad para permitir el conocimiento, estudio y divulgación de aspectos fundamentales de la Geología, incluyendo:

- Procesos que han modelado la Tierra: La geología del sitio revela los procesos geológicos que han dado forma a la superficie terrestre, su geomorfología característica de “hogbacks” con estratos buzando entre 70°-90° evidencia los distintos eventos tectónicos del que ha sido testigo la zona, evidenciando los esfuerzos generados por el movimiento de las placas tectónicas, deformando y elevando estas rocas hasta exponerlas en superficie.
- Climas y paisajes del pasado y el presente: El registro geológico del sitio permite reconstruir climas y paisajes pasados, de manera tal que la litología caracterizada por la presencia de rocas carbonáticas es indicativa de un ambiente marino poco profundo, algo totalmente diferente al paisaje actual, una zona continental árida, elevada aproximadamente 800 msnm.
- Origen y evolución de la vida: El sitio alberga fósiles de trilobites y braquiópodos, y una enorme cantidad de trazas fósiles generadas por organismos vermiformes. La presencia de este contenido fósil evidencia la existencia de organismos que ya no viven en la actualidad, como los trilobites, transformándose en un testimonio del dinamismo de la vida en nuestro planeta.

En definitiva, este sitio se presenta como un recurso invaluable para la investigación científica, la educación ambiental y el geoturismo, contribuyendo a la comprensión y valorización del patrimonio geológico.

Resulta conveniente recordar que para la ley 25.743 “PROTECCION DEL PATRIMONIO ARQUEOLOGICO Y PALEONTOLOGICO” forman parte del Patrimonio Paleontológico los organismos o parte de organismos o indicios de la actividad vital de organismos que vivieron en el pasado geológico y toda concentración natural de fósiles en un cuerpo de roca o sedimentos expuestos en la superficie o situados en el subsuelo o bajo las aguas jurisdiccionales. Por lo cual la Quebrada de Juan Pobre, con la alta concentración de trazas y fragmentos fósiles, debe constituir un lugar de especial protección y preservación por parte de las autoridades, como parte integrante del Patrimonio Cultural de la Nación y el aprovechamiento científico y cultural del mismo.

8 Consideraciones Finales y conclusiones

El estudio sedimentológico e icnológico del Miembro Juan Pobre, perteneciente a la Formación La Laja, permite concluir que:

- El análisis icnotaxonómico de las trazas fósiles recolectadas ha permitido reconocer la presencia del icnotaxón *Balanoglossites triadicus* (Mägdefrau 1932), a lo largo de toda la columna estratigráfica, la cuales se han generado en rocas calizas, predominantemente en las calizas tipo mudstones.
- La diversidad de la asociación de trazas fósiles es muy baja, con presencia exclusiva del icnotaxón *Balanoglossites triadicus*, correspondiente a trazas de alimentación y habitación (fodichnia y domichnia). Estas trazas horizontales a subhorizontales, con presencia de galerías verticales, de *tier* medio, se piensa que fueron producidas principalmente por organismos vermiformes depositívoros.
- La baja diversidad icnotaxonómica dificulta su asignación a alguna de las icnofacies, aunque según las características observadas se sugiere una afinidad con la icnofacies de sustrato blando *Cruziana*, característica de ambiente marino somero.
- La integración de los datos sedimentológicos e icnológicos, permiten inferir como posible paleoambiente de depositación a una plataforma carbonática restringida. La predominancia de mudstones y packstones oolíticos indica un ambiente de baja-moderada energía, donde se depositaba lodo carbonatado junto con ooides provenientes de barras oolíticas cercanas, por otro lado, los niveles de rudstones y las capas tabulares de grainstones-packstones sugieren una redepositación masiva durante episodios de tormenta, nivel de alta energía.
- La amplia distribución de trazas y fragmentos fósiles en el Cámbrico medio de la Formación La Laja, denota que existió una rica presencia de organismos bentónicos en la zona.

El estudio de la Quebrada de Juan Pobre como potencial sitio de interés geológico, permite concluir que:

- La evaluación integral del lugar, considerando tanto sus atributos geológicos como no geológicos, a través del método de asignación de valor propuesto por Medina (2015), indica claramente que dicho sitio exhibe un significativo potencial como área de interés geológico, al tiempo que destaca su relevancia turística y didáctica.

- La evaluación del lugar teniendo en cuenta la “Guía para la descripción y propuesta de Sitios de interés Geológico en la Hojas Geológicas” (2018) elaborada por el Segemar destaca su valor estratigráfico, paleontológico y geomorfológico.

Se propone la elaboración de rutas donde se destaque la presencia de distintos atractivos dentro del geosítio y también cartelería que explique de manera clara y sencilla las principales características del lugar (Anexo 6 y 7). También se recomienda generar acciones de coordinación para la educación y sensibilización en relación al patrimonio geológico y la geoconservación.

La identificación, descripción, divulgación y protección del patrimonio geológico es de vital importancia pues su destrucción o degradación constituye un gran daño, irreversible la mayoría de las veces. Los sitios de interés geológico deben ser considerados como un elemento más del patrimonio, e incluidos en una correcta gestión del territorio. Estos paisajes son inmejorables aliados para introducir a terceros en el tema del patrimonio geológico.

Es importante que los geocientistas sean cada vez más activos, e intervengan en la sociedad, divulgando y promoviendo las geociencias, participando en la explicación de los fenómenos naturales, especialmente geológicos, que forman parte del día a día de un ciudadano común.

9 Bibliografía

- Al-aasm, I. S., & Packard, J. J. (2000). Stabilization of early-formed dolomite: a tale of divergence from two Mississippian dolomites. *Sedimentary Geology*, v. 131, 97-108.
- Alvarado, P., Beck, S., & Zandt, G. (2007). Crustal structure of the South-Central Andes Cordillera and back-arc region from regional waveform modeling. *Geophysical Journal International* 170, 858-875.
- Arche, A. (2010). *Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. CSIC-CSIC Press.
- Armella, C. (1989). Microfacies trombolíticas de un biociclo ideal de Formación La Flecha, Precordillera Oriental, Argentina. *Actas 1° Reunión IGCP Project 270* (págs. 42-52). San Miguel de Tucuman: Universidad Nacional Tucuman .
- Armella, C. (1990). Guía práctica para la clasificación de los trombolitos. *11° Congreso Geológico Argentino, Actas 2*, (págs. 195-198).
- Astini, R., & Vaccari, E. (1996). Sucesión evaporítica del Cámbrico Inferior de la Precordillera: significado geológico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 51(2), 97-106.
- Astini, R., Ramos, V., Benedetto, J., Vaccarí, E., & Cañas, F. (1996). La Precordillera: un terreno exótico a Gondwana. *Actas del 13° Congreso Geológico Argentino*, (págs. 293-324). Buenos Aires.
- Baldis, B., & Chebli, G. (1969). Estructura profunda del área central de la Precordillera Sanjuanina. *4º Jornadas Geológicas Argentinas*, (págs. 47-65). Mendoza.
- Baldis, B., Beresi, M., Bordonaro, O., & Vaca, A. (1982). *Síntesis evolutiva de la Precordillera Argentina*. Buenos Aires: 5° Congreso Latinoamericano de Geología.
- Baldis, B., Bordonaro, O., Beresi, M., & Uliarte, E. (1981). Zona de dispersión estromatolítica en la secuencia calcáreo dolomítica del Paleozoico inferior de San Juan. *8° Congreso Geológico Argentino, Actas 2*; (págs. 419-434).
- Bathurst, R. G. (1987). Diagenetically enhanced bedding in argillaceous platform limestones: stratified cementation and selective compaction. *Sedimentology*, 34(5), 749-778.
- Benedetto, J. L., & Astini, R. A. (1993). A collisional model for the stratigraphic evolution of the Argentine Precordillera during the Early Paleozoic. *2nd Symp. Int. Geodynamique Andine (ISAG 93)*, (págs. 501-504). Oxford.
- Bercowski, F., Ruzycski de Berenstein, L., Johnson, N. M., & Naeser, C. W. (1987). Litofacies y paleoambiente del Terciario en Loma de Las Tapias, Ullum, provincia de San Juan, Argentina, in. *Congreso Geológico Argentino, 10th* (págs. 101-104). Tucuman: Asociación Geológica Argentina.
- Blanc, P. A. (2019). *Inventario y evaluación preliminar de sitios de interés geológico-geomorfológico en el Parque Turístico de la Quebrada de Zonda. Informe Interno*. San Juan: Ministerio de Turismo y Cultura. Gobierno de la Provincia de San Juan.
- Bodenbender, G. (1902). Contribucion al conocimiento de la precordillera de San Juan, de Mendoza, y de las sierras centrales de la República Argentina. *Boletin de la Academia Nacional de Ciencias XVII*, 203-261.
- Bordonaro, O., & Arroqui Langer, A. (1995). Potencial de magnesio de las dolomías cámbricas de San Juan, Argentina. *V Congreso Nacional de Geología Económica*, (págs. 37-42). San Juan.

- Bordonaro, O. (1980). El Cámbrico en la quebrada de Zonda, Provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 35(1) (págs. 203-261). Córdoba: Asociación Geológica Argentina.
- Bordonaro, O. (1983). *El Cámbrico de la Sierra Chica de Zonda, San Juan. Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Tesis doctoral*. San Juan: Universidad Nacional de San Juan.
- Bordonaro, O. (1986). Bioestratigrafía del Cámbrico inferior de San Juan. *Actas del 2° Congreso Latinoamericano de Paleontología*, (págs. 19-27). Mendoza.
- Bordonaro, O. (2003). Review of the Cambrian stratigraphy of the Argentine Precordillera. *Geologica Acta*, 11-22.
- Bordonaro, O. L. (2016). Trilobites laurénticos de la Formación La Laja (Cámbrico), Precordillera de San Juan, Argentina: un aporte biogeográfico al modelo alóctono de Precordillera. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 73(4), 457-467.
- Borello, A. V. (1965). Sobre la presencia del Cámbrico inferior olenellidiano en la Sierra de Zonda, Precordillera de San Juan. *Ameghiniana*, v. 3, 313-318.
- Borello, A. (1962). Caliza La Laja (Cámbrico medio de San Juan). *Notas Comisión Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires*, (págs. 3-8). La Plata.
- Brenchley, P. J., & Harper, D. A. (1998). *Palaeoecology: Ecosystems, environments and evolution*. Londres: Chapman & Hall.
- Brilha, J. (2005). *Património geológico e geoconservação. A conservação da natureza na sua vertente geológica*. Lisboa: Palimage.
- Bromley, R. G. (1996). *Trace Fossils. Biology, taphonomy and applications*. Londres: Chapman & Hall.
- Bromley, R. G., & Ekdale, A. A. (1984). Chondrites: a trace fossil indicator of anoxia in sediments. *Science* (224), 872-874.
- Bruniard, E. D. (1982). La diagonal árida argentina: un límite climático real. *Revista Geográfica* (95), 5-20.
- Buatois, L. A., & Mángano, M. G. (2011). *Ichnology: Organism-Substrate interactions in Space and Time*. Cambridge University Press.
- Buatois, L. A., Mángano, M. G., & Aceñolaza, F. G. (2002). *Trazas fósiles: Señales de comportamiento en el registro estratigráfico*. Museo Paleontológico Egidio Feruglio.
- Cabrera, A. (1976). Regiones Fitogeográficas Argentinas. En *Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería. Tomo II* (págs. 1-85). Buenos Aires.
- Cendrero, A. (1996). El patrimonio geológico. Ideas para su protección, conservación y utilización. En E. Elízaga, & J. Palacio, *El Patrimonio Geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización* (págs. 17-38). Madrid: Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.
- Cristallini, E. O., & Ramos, V. A. (2000). Thick-skinned and thin-skinned thrusting in the La Ramada fold and thrust belt: crustal evolution of the High Andes of San Juan, Argentina. *Tectonophysics*, 317(3-4), 205-235.
- Cuerda, A., Cingolani, C., Varela, R., & Schauer, O. (1981). Geología de la Sierra de Mogna, Provincia de San Juan. *8° Congreso Geológico Argentino, Actas 3*, (págs. 139-158). San Luis.

- D'Alessandro, A., & Bromley, R. G. (1987). Meniscate trace fossils and the Muensteria-Taenidium problem. *Palaeontology*, 30(4), 743-763.
- Dowling, R., & Newsome, D. (2006). *Geotourism*. Oxford: Elsevier Butterworth - Heinemann.
- Dunham, R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W.E. (Ed.), *Classification of Carbonate Rocks. American Association of Petroleum Geologists Memoir 1*, 108–121.
- Ekdale, A. A., Bromley, R. G., & Pemberton, S. G. (1984). *Ichnology, Trace Fossils in Sedimentology and Stratigraphy*. Tulsa, Oklahoma: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists.
- Embry, A. F., & Klovan, J. E. (1971). A Late Devonian reef tract on Northeastern Banks Island, NWT. *Canadian Petroleum Geology Bulletin*, 19, 730-781.
- France, S. d. (1993). Declaración Internacional de Digne. *Actes du Premier Symposium International sur la Protection du Patrimoine, Nouvelle Serie n° 1165*, pág. 276. Paris.
- Frey, R. W. (1973). Concepts in the study of biogenic sedimentary structures. *Journal of Sedimentary Research*, 6-19.
- Frey, R. W. (1975). The realm of ichnology, its strengths and limitations. En R. W. Frey, *The study of trace fossils: A synthesis of principles, problems, and procedures in ichnology* (págs. 13-38). Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Frey, R. W., & Pemberton, G. (1984). Trace Fossils facies models. En *Facies Models* (págs. 189-207). Geological Association of Canada Publications.
- Frey, R. W., & Pemberton, G. (1985). Biogenic structures in outcrops and cores. I. Approaches to Ichnology. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 72-115 .
- Furque, G. (1963). *Descripción Geológica de la Hoja 17b. Guandacol (Provincias de La Rioja y San Juan)*. Buenos Aires: Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 92, 104 p.
- Gallego, E., & García Cortez, A. (1996). *Patrimonio Geológico y Espacios Naturales protegidos*. Madrid: Geogaceta.
- Gardini, M. (1993). Estructura superficial y profunda del valle de Zonda, Precordillera de San Juan. *XII Congreso Geológico Argentino, II Congreso de Exploración de Hidrocarburos Tomo III*, (págs. 93-99).
- Gibert, J. M., Doménech, R., & Martinell, J. (2004). An ethological framework for animal bioerosion trace fossils upon mineral substrates with proposal of a new class, fixichnia. *Lethaia*, 429-437.
- Gómez, F. J., & Astini, R. A. (2006). Sedimentología y paleoambientes de la Formación La Laja (Cámbrico), Quebrada La Laja, Sierra Chica de Zonda, San Juan, Argentina. *Revista Geologica de Chile*, 19-46.
- Gomez, F. J., & Astini, R. A. (2015). Sedimentology and sequence stratigraphy from a mixed (carbonate–siliciclastic) rift to passive margin transition: The Early to Middle Cambrian of the Argentine Precordillera. *Sedimentary Geology*, 316, 39-61.
- Gray, M. (2004). *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. England: John Wiley and Sons.
- Gregg, J. M., & Sibley, D. F. (1984). Epigenetic dolomitization and the origin of xenotopic dolomite texture. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 54, 908–931.

- Groeber, P., & Tapia, A. (1926). *Condiciones geológicas de la Quebrada de Ullún en relación con un proyectado dique de embalse*. Buenos Aires: Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Ministerio de Agricultura de la Nación.
- Harrington, H. J., & Leanza, A. F. (1943). Paleontología del Paleozoico Inferior de la Argentina. Las faunas del Cámbrico medio de San Juan. *Revista del Museo de La Plata*, 2(11), 207-223.
- Hauman, L. (1947). La vegetación de la Argentina, en Sociedad Argentina de Estudios Geográficos. En *Geografía de la República Argentina* (págs. 5-345). Buenos Aires: Casa Coni.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (1990). *Atlas de Suelos de la República Argentina*. Buenos Aires: INTA-Centro de Investigaciones de Recursos Naturales. Vol. 1 y 2.
- Keidel, J. (1921). *Observaciones geológicas en la Precordillera de San Juan y Mendoza*. Buenos Aires: Anales del Ministerio de Agricultura de la Nación. Sección Geología, Mineralogía y Minería.
- Keller, M. (1999). Argentine Precordillera: sedimentary and plate tectonic history of a Laurentian crustal fragment in South America. *Geological Society of America (Vol. 341), Special Paper*.
- Keller, M. (2012). The Argentine Precordillera: a little American carbonate bank. En J. R. Derby, *The great American carbonate bank: The geology and economic resources of the Cambrian – Ordovician Sauk megasequence of Laurentia*: (págs. 985-1000). AAPG.
- Keller, M., Lenhert, O., & Buggish, W. (1994). The transition from diagenesis to low-grade metamorphism in the Argentina Precordillera: an application of the conodont colour alteration index. *Actas del 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, (págs. 294-299). Mendoza.
- Kelly, J. (1962). *Geología de las sierras de Moquina y perspectivas petrolíferas, Dpto. de Jáchal, Provincia de San Juan*. Buenos Aires: Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Gerencia de Exploración, (inédito).
- Knaust, D. (2008). Balanoglossites Mägdefrau, 1932 from the Middle Triassic of Germany: part of a complex trace fossil probably produced by burrowing and boring polychaetes. *Paläontologische Zeitschrift*, 82, 347-372 .
- Knaust, D. (2021). Balanoglossites-burrowed firmgrounds—The most common ichnofabric on earth?. *Earth-Science Reviews*, 220, 103747.
- Knaust, D., & Dronov, A. (2013). Balanoglossites ichnofabrics from the middle Ordovician Volkhov formation (St. Petersburg region, Russia). *Stratigraphy and geological Correlation*, 21, 265-279.
- Knaust, D., Bromley, R. G., & Ekdale, A. (2012). The Ichnofabric Concept. En D. Knaust, & R. G. Bromley, *Trace fossils as indicators of sedimentary environments* (págs. 139-155). Newnes.
- Kobayashi, T. (1937). The cambro-Ordovician shelly faunas of South America. *Journal of the Faculty of Science Imperial University of Tokio*, (págs. 369-522).
- MacEachern, J. A., & Pemberton, S. G. (1992). "Ichnological Aspects of Cretaceous Shoreface Successions and Shoreface Variability in the Western Interior Seaway of North America. *Applications of Ichnology to Petroleum Exploration: A Core Workshop*.
- Mägdefrau, K. (1932). Über einige Bohrgänge aus dem unteren Muschelkalk von Jena. *Paläontologische Zeitschrift*, 14(3), 150-160.
- Martínez, P. (2010). *Valoración de geosítios en volcán Llaima, Parque Nacional Conguillio. Memoria*. Santiago: Universidad de Chile.

- Martinson, A. (1970). Toponomy of trace fossils. *Trace Fossils. Geological Journal Special Issue*, 323-330.
- Medina, W. (2012). *Propuesta Metodológica para el Inventario del Patrimonio Geológico de Argentina. Tesis de Master en Patrimonio Geológico y Geoconservación*. Braga. Portugal: Universidad do Minho.
- Medina, W. (2015). *Importancia de la Geodiversidad. Método de Inventarización y Valoración del Patrimonio Geológico*. Instituto Superior de Correlación Geológica.
- Milana, J. P., Bercowski, F., & Jordan, T. (2003). Paleoambientes y magnetoestratigrafía del Neógeno de la Sierra de Mogna, y su relación con la Cuenca de Antepaís Andina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58(3), 447-473.
- Miranda , F. (2018). *Guía Para la Descripción y Propuesta de Sitios de Interés Geológico en las Hojas Geológicas*. SEGEMAR.
- Ortiz , A., & Zambrano , J. (1981). La Provincia Geológica Precordillerana Oriental. *Actas del Octavo Congreso Geológico Argentino, Tomo 3* (págs. 59-74). San Luis: Asociación Geológica Argentina.
- Pemberton, S. G., & Gingras, M. K. (2005). Classification and characterizations of biogenically enhanced permeability. *AAPG bulletin*, 89(11), 1493-1517.
- Pemberton, S. G., Spilla, M., Pulham, A. J., Saunders, T., Maceachern, J. A., Robbins, D., & Sinclair, I. K. (2001). *Ichnology & Sedimentology of shallow to marginal marine systems*. Geological Association of Canada.
- Peruca , L., Perez, A., & Navarro, C. (2006). Fenómenos de licuefacción asociados a terremotos históricos. Su análisis en la evaluación del peligro sísmico en la Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61 (4), 567-578.
- Perucca, L., & Esper, Y. (2009). El deslizamiento de rocas y detritos sobre el río Santa Cruz y el aluvión resultante por el colapso del dique natural, AndesCentrales de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 65(3), 571-585.
- Perucca, L., & Paredes, J. (2004). *Descripción del Fallamiento activo en la provincia de San Juan. Tópicos de Geociencias. Un volumen de Estudios Sismológicos, Geodésicos y Geológicos en Homenaje al Ing. Fernando Séptimo Volponi*. San Juan.
- Poblete , A., & Minetti, J. (1989). *Los mesoclimas de San Juan. Primera y Segunda parte. Informe Técnico 11 del Centro de Investigaciones de San Juan*. San Juan: CIRSAJ-CONICET-UNSJ.
- Ramos, V. (2002). Cuyania, tectonic evolution and its relationship to the protomargin of Gondwana. *Simpósio Internacional Acrescao do microcontinente Cuyania a proto-margem do Gondwana* (pág. 12). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Laboratorio de Tectónica Andina.
- Ramos, V. A. (2004). Cuyania, an Exotic Block to Gondwana: Review of a Historical Success and the Present Problems. *Gondwana Research*, V 7, No. 4, 1009-1026.
- Ramos, V., & Vujovich, G. (2000). *Hoja Geológica 3169 IV. San Juan. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina 1: 250.000*. Buenos Aires: Servicio Geológico Minero Argentino.
- Ramos, V., Jordan, T., Allmendiger, R., Mpodozis, C., Kay, S., Cortes, J., & Palma, M. (1986). Paleozoic terranes of the central Argentine-Chilean Andes. *Tectonics*, 855-880.

- Rhoads, D. C. (1975). The Paleocological and environmental significance of trace fossils. En R. W. Frey, *The study of trace fossils* (págs. 147-160). Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Rubilar, A., & Perez, E. (2010). Colecciones macropaleontológicas en el Departamento de Geología de la Universidad de Chile. *Simposio Paleontología en Chile, No. 2*, (pág. 18). Concepcion.
- Sarmiento, G. (2005). Aspectos Socioeconomicos del Patrimonio Geológico. *Livro de Resumos do IV Seminario de Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento de Território*. Vila Real.
- Seilacher, A. (1953). Studien zur Palichnologie. I. Über die Methoden der Palichnologie. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 421-452.
- Seilacher, A. (1964). Biogenic sedimentary structures. En N. D. Newell, *Approaches to paleoecology* (págs. 296-316). Nueva York: John Wiley.
- Seilacher, A. (1967). Bathymetry of trace fossils. *Marine Geology*, 413-428.
- Seilacher, A. (1994). From biomats to benthic agriculture: a biohistoric revolution. Biostabilization of sediments. *Biostabilization of sediments. Bibliotheks und Informationssystem der Carl von Ossietzky Universität Odenburg*, 97-105.
- Serafini, R., Bustos, N., & Contreras, V. (1986). Geología de la Formación Loma de las Tapias. *Actas Primeras Jornadas sobre Geología de Precordillera* (págs. 77-82). Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina.
- Shinn, E. A. (1983). Tidal flat environment. In Carbonate depositional environments. *American Association of Petroleum Geologists*, 708.
- Stappenbeck, R. (1910). *La Precordillera de San Juan y Mendoza*. Buenos Aires: Ministerio de Agricultura de la Nación, Sección Geología, Mineralogía y Minería.
- Stelzner, A. (1885). *Beitrage zur Geologie und Paläontologie der Argentinischen Republik. I. Geologischer Theil*. Berlin: Fischer.
- UNESCO. (2008). *Operational Guidelines for the Implementatin of the World Heritage Convention*. Obtenido de [HTTP://whc.unesco.org/](http://whc.unesco.org/)
- Viers, G. (1974). *Eléments de Géomorphologie*. Paris: Fernand Nathan, Universite Information Formation.

10 Anexos

10.1 Anexo 1

Ficha de descripción de geositios					Código: G1
Nombre propuesto del Geositio: Quebrada de Juan Pobre					
Municipio: Rivadavia				Provincia: San Juan	
Coordenadas:	O: 68°41'51.88"	S: 31°33'45.29"	Datum: WGS84		Uso: 19S
Cota (msnm):	Max: 1083	min: 767	Punto	Área	Panorámico
Núcleo urbano mas cercano y distancia (km): Zonda a 3,3 km.					
Descripción de acceso / Grado de dificultad: El acceso se realiza a través de la ruta provincial N°12 desde la ciudad de San hacia Zonda y a la altura de los jardines de la hostería de Zonda hay que girar a mano izquierda. Al momento de iniciar la Quebrada hay un cartel informativo					
Propiedad:	Privada		Publica	No definida	
Interés científico					
Estado de conservación: Buen estado					
Valor científico:	Bajo		Medio	Alto	
Interés científico (principal y secundario)	Paleontológico	Estratigráfico	Petrológico	Tectónico	
	Geomorfológico	Estructural	Sedimentológico	Geológico-Económico	
				Mineralógico	
Otro:					
Descripción del geositio: Corresponde a una zona de muy buena exposición de las formaciones La Laja y Zonda del Grupo Marquesado (Cámbrico medio), donde se observa una alternancia entre calizas, dolomías y margas. Estas rocas carbonáticas contienen una rica fauna de trilobites que han permitido datar de manera efectiva dichas formaciones y también han permitido pensar en la teoría de la aloctonía del terran de Cuyania (Ramos, 2002). La alternancia de estratos de caliza y marga conduce a distintas combinaciones de relieves diferenciales erosivos entre los que destacan los hogbacks. Los estratos buzcan entre 75-90° hacia el sureste. Las calizas se encuentran altamente tectonizadas, con diaclasamiento, venillas rellenas con calcita y brechas tectónicas. El relleno de la quebrada está dominado por depósitos aluviales y coluviales mal seleccionados cuyo material de procedencia son las rocas carbonáticas de las paredes de la quebrada.					
Uso que se le da actualmente: Es parte de recorridos de trekking					

Interés complementario				
Tipo de interés complementario	Ecológico	Cultural	Biológico	Arqueológico
	Histórico	Turístico	Paisajístico	Didáctico - Educativo
Otro:				
Valorización interés complementario	Nulo	Bajo	Medio	Alto
Estado de conservación				
Deterioro de origen antrópico	Nulo	Bajo	Medio	Alto
Riesgo de deterioro	Nulo	Bajo	Medio	Alto
Estado de protección	Con protección	Sin protección	Detalle:	
Necesidad de protección		Bajo	Medio	Alto
Riesgo geológico asociado	Nulo	Bajo	Medio	Alto
Referencias y publicaciones científicas Harrington, H. J., & Leanza, A. F. (1943). Paleontología del Paleozoico Inferior de la Argentina. Las faunas del Cámbrico medio de San Juan. Revista del Museo de La Plata, 2(11), 207-223. Suvires, G. M. (2013). Geomorfología tectónica y evolución del relieve en un sector del piedemonte occidental de la sierra Chica de Zonda, Precordillera Oriental, Argentina. Revista mexicana de ciencias geológicas, 30(2), 324-335. Bordonaro, O. L. (2016). Trilobites laurénticos de la Formación La Laja (Cámbrico), Precordillera de San Juan, Argentina: un aporte biogeográfico al modelo alóctono de Precordillera. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 73(4), 457-467.				
Fotografías				
				

10.2 Anexo 2

Tipo de Valor	Parámetro de Valoración	Análisis de los Parámetros de Valoración
Intrínseco	Abundancia	Número de ocurrencias semejantes. Se valora la rareza del ejemplar.
	Extensión	Extensión superficial del geositio. En general, se considera que un geositio es tanto más importante cuanto mayor es su extensión.
	Condiciones de observación	Se refiere al grado de facilidad que ofrece el entorno para observar el geositio. O sea, el área que va desde la distancia mínima que requiere el geositio para su observación a vista natural hasta la distancia máxima que se requiere para observar las mismas características. Esto dependerá de las características que se desean observar y de la distancia que éstas necesitan normalmente para su observación.
	Estado de conservación	Se analiza el grado de conservación del geositio.
	Variedad de elementos de geodiversidad	Cantidad de elementos de geodiversidad que se pueden identificar con el Geositio (hidrogeología, petrología, mineralogía, etc.)

Cuadro 1. Análisis del valor Intrínseco. Parámetros de valoración del valor Intrínseco de los lugares de interés geológico con su análisis correspondiente.

Tipo de Valor	Parámetro de Valoración	Análisis de los Parámetros de Valoración
Científico/ Educativo	Conocimiento Científico	Marca el grado de importancia que le fue atribuido por la comunidad académica, medido a través de publicaciones y estudios científicos.
	Localidad tipo	Indica si el sitio corresponde a una “localidad tipo” utilizada en la descripción de la geología de la zona de estudio
	Posibilidad de realizar actividades científicas	Informa si el geositio cumple con condiciones para realizar actividades científicas (ej. aporte al conocimiento, valor didáctico).

	Utilidad como modelo para ilustrar procesos geológicos	Es la posibilidad del geositio de poder mostrar fielmente un determinado proceso geológico.
	Posibilidad de realizar actividades didácticas	Informa si el geositio cumple con las condiciones para realizar actividades didácticas teniendo en cuenta el nivel de conocimiento
	Conocimiento divulgativo	Informa sobre el nivel de divulgación que presenta actualmente el geositio en revistas científicas, boletines, etc.

Cuadro 2. Análisis del valor Científico/Educativo. Parámetros de valoración del valor Científico/Educativo de los lugares de interés geológico con su análisis correspondiente.

Tipo de Valor	Parámetro de Valoración	Análisis de los Parámetros de Valoración
Turístico	Asociación con elementos de índole cultural	Informa si el lugar posee elementos considerados de importancia cultural (sensu Medina, 2012).
	Asociación con elementos de índole natural	Informa si el lugar posee elementos considerados de importancia natural flora/fauna (sensu Medina, 2012).
	Posibilidad de realizar actividades turísticas	Informa si el lugar cumple con condiciones favorables para realizar actividades de ocio, relacionado a su potencialidad (sensu Medina, 2012).
	Accesibilidad	Considera la situación de acceso al geositio.
	Proximidad de poblaciones que sería beneficiada con la divulgación del geositio	Informa sobre la población en proximidad que sería beneficiada con la valoración y por las actividades que se realicen en torno al geositio.
	Proximidad a centros de servicios	Ej. Informes sobre la presencia de hoteles, restaurantes, y otros servicios de ocio.
	Capacidad escénica	Es la capacidad que tiene un sitio o paisaje para transmitir un determinado sentimiento de belleza, en función del significado y la apreciación cultural que ha adquirido a lo largo de la historia, en función de los colores, la diversidad, la topografía, entre otros (sensu Medina, 2012).

Cuadro 3. Análisis del valor Turístico. Parámetros de valoración del valor Turístico de los lugares de interés geológico con su análisis correspondiente.

Tipo de Valor	Parámetro de Valoración	Análisis de los Parámetros de Valoración
Vulnerabilidad	Posibilidad de recolectar objetos geológicos	Se valora los geositios que poseen la capacidad dentro de parámetros normales de recolectar muestras sin dañar su integridad.
	Amenazas actuales o potenciales (a variable plazo)	Evalúa el peligro de pérdida o daño del geositio que tiene o puede llegar a tener, asociado a la expansión urbana, industrial, presión rural, infraestructuras, minería, etc.
	Interés para la explotación minera	Se evalúa la existencia de algún interés en el geositio o su alrededor para la actividad minera.
	Fragilidad	Indica la pérdida de integridad del recurso en el lugar, ya sea por sus dimensiones o por su naturaleza. Se privilegia los geositios con mayor capacidad de resistencia.
	Protección del local	Se privilegia los geositios con algún tipo de protección legal o por otros medios.

Cuadro 4. Análisis del valor en Vulnerabilidad. Parámetros de valoración del valor en vulnerabilidad de los lugares de interés geológicos con su análisis correspondiente.

10.3 Anexo 3

<p style="text-align: center;">Valor de Relevancia del Geositio</p> $VRG = \frac{2 \cdot A + 1,5 \cdot B + C + 1,5 \cdot D}{6}$ <p style="text-align: center;">Donde: VRG = Valor de Relevancia del Geositio A, B, C, D = Suma de los resultados obtenidos para cada conjunto de criterios</p> <p><i>Este indicador reúne todos los aspectos valorados en el Geositio, entregando una valoración global.</i></p>
<p style="text-align: center;">Valor de Uso Científico/Educativo</p> $VUCE = \frac{2 \cdot V_{cid} + V_{in}}{3}$ <p style="text-align: center;">Donde: VUCE: Valor de Uso Científico/Educativo Valor intrínseco: (Vin) = (A1+A2+A3+A4+A5)/5 Valor científico/didáctico: (Vcid) = (B1+B2+B3+B4+B5+B6)/6</p> <p><i>El resultado representa el valor científico/educativo global del Geositio.</i></p>
<p style="text-align: center;">Valor de Uso Turístico</p> $VUT = \frac{2 \cdot V_{tur} + V_{vul}}{3}$ <p style="text-align: center;">Donde: VUT: Valor de Uso Turístico Valor turístico: (Vtur) = (C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7)/7 Valor en vulnerabilidad: (Vvul) = (D1+D2+D3+D4+D5)/5</p> <p><i>El resultado representa el valor global del potencial uso turístico del Geositio</i></p>
<p style="text-align: center;">Índice para la Geoconservación</p> $I.G. = \frac{3 \cdot VUCE + 2 \cdot VRG + VUT}{6}$ <p style="text-align: center;">Donde: IG: índice para la Geoconservación VUT: Valor de Uso Turístico VUCE: Valor de Uso Científico/Educativo VRG = Valor de Relevancia del Geositio</p> <p><i>Con este indicador se busca identificar los geositios, que, dadas sus características científicas, su actual nivel de protección y riesgo de destrucción, requieren de algún tipo de gestión para su conservación o estudio</i></p>

Tabla 2. Fórmulas para la obtención de los distintos valores de uso

10.4 Anexo 4

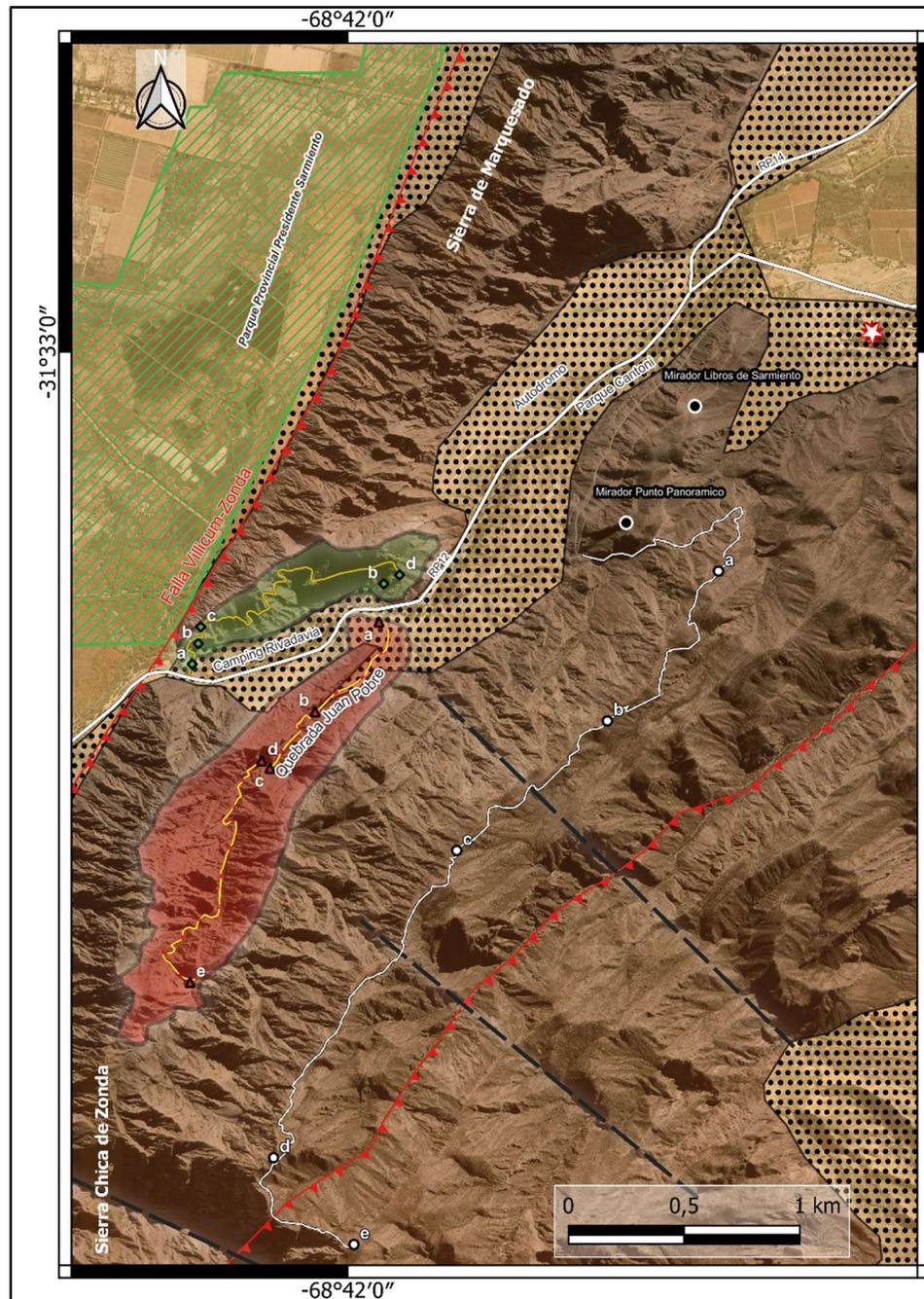
Categorías	Aspectos	Quebrada Juan Pobre
VI	Abundancia	2
	Extensión	3
	Condición de observación	3
	Estado de conservación	3
	Variedad elementos geodiversidad	3
	Sumatoria	14
VC	Conocimiento científico	4
	Localidad tipo	3
	Posibilidad de realizar actividades científicas	4
	Utilidad como modelo para ilustrar procesos geológicos	3
	Posibilidad de realizar actividades didácticas	3
	Conocimiento divulgativo	3
	Sumatoria	20
VT	Asociación con elementos de índole cultural	1
	Asociación con elementos de índole natural	1
	Posibilidad de realizar actividades turísticas	3
	Accesibilidad	3
	Proximidad de poblaciones que sería beneficiada con la divulgación del geositio	3
	Proximidad a centros de servicio	3
	Capacidad escénica	3
	Sumatoria	17
VV	Posibilidad de recolectar objetos geológicos	3
	Amenazas actuales o potenciales (a variable plazo)	2
	Interés para la explotación minera	1
	Fragilidad	2
	Protección del local	2
	Sumatoria	10
Puntaje de aprobación		58
Puntaje de aprobación en porcentaje		63 %

Tabla 3. Detalle de las valoraciones para cada aspecto

10.5 Anexo 5

Interés (geológico) principal	¿Que contempla? (no excluyente según otras apreciaciones propias del autor de la hoja)
Estratigráfico	Localidad tipo de una formación, columna o sección estratigráfica. Unidades cronoestratigráficas y litoestratigráficas. Registros de facies. Sitios de referencia a eventos específicos, etc
Sedimentológico	Secciones con estructuras sedimentarias.
Petroológico	Afloramientos de carácter ígneo/metamórfico. Se incluye el volcanismo. Litologías, composiciones y texturas, etc.
Geomorfológico	Geoformas expresión de procesos de erosión o acumulación de diferente origen (glaciar, periglaciar, desértico, kárstico, fluvial, costero, volcanismo, astroblema, eólicas, entre otras). Morfologías inusuales, paisajes geológicos icónicos.
Mineralógico	Minerales, paragénesis, cristalizaciones, estructuras o texturas, localidades y yacimientos tipo.
Estructural/ Tectónico	Estructuras tectónicas (falla, pliegue, estructuras deformacionales, entre otras) de escala diversa.
Paleontológico ²	Fósiles (restos directos/indirectos), yacimientos paleontológicos, localidades tipo.
Hidrogeológico	Fuentes, manantiales, surgencias, aguas termales, geysers, sumideros. Manantiales de hidroquímica singular.
Museos y colecciones	Principales museos de ciencias y tecnología, centros de interpretación, etc, con minerales, rocas, fósiles y meteoritos ³ , donde las ciencias geológicas sean objeto de un tratamiento museográfico (Se tenderá a hacer hincapié en la colección o en el elemento que albergue en carácter de patrimonio geológico mueble, más que en el edificio en sí).
Historia de la Geología	Localidades clásicas en las que, aun no siendo localidades tipo, se han explicado por primera vez principios importantes o fueron relevantes para la historia de las geociencias.
Minero	Estructuras inmuebles vinculadas con actividades mineras actuales y del pasado (No son parte del patrimonio geológico natural).
Pedológico	Secciones tipo de suelos.
Otro	(indicar o señalar para más detalle si es necesario) Espeleológico/Paleoclimáticos/Petrolero/Geotécnico/Hidrogeológico/Peligrosidad-Riesgo / Volcanológico/ Glaciológico/ etc.

Tabla 4. Detalle de los intereses geológicos principales a destacar dentro de un potencial sitio de interés geológico según Segemar (2018)



Referencias

—	Ruta Provincial	Unidades litoestratigráficas
- - -	Lineamiento	■ Grupo Marquesado
↕	Falla inversa	▨ Dep aluviales y coluviales
★	Cementería Loma Negra	■ Dep Aluviales

Sitios de interés geológico

Circuito Quebrada Juan Pobre

- ▲ a. Terrazas del antiguo abanico aluvial del Arroyo Juan Pobre
- ▲ b. Trilobites
- ▲ c. Deslizamiento de rocas
- ▲ d. Catedral de caliza
- ▲ e. Cañadon y cascadas

Circuito Sendero de los 7 caminos

- ◆ a. Dique Soldano
- ◆ b. Plegamiento en calizas cámbricas
- ◆ c. Mirador Panorámico al Valle de Ullum-Zonda
- ◆ d. Cabeza del Indio

Circuito Ascenso Cerro Parkinson

- a. Vista panorámica del valle de Tulum
- b. Vista panorámica de la Quebrada de Zonda
- c. Vista panorámica de la Quebrada de Zonda y Valle de Ullum-Zonda
- d. Vista panorámica Valle de Ullum-Zonda y relieve de hogbacks
- e. Mirador panorámico cumbre del Cerro Parkinson



Universidad Nacional de San Juan
 Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales
 Departamento de Geología
 Sitios de interés geológico: Quebrada de Zonda



Sistema de referencia: WGS84

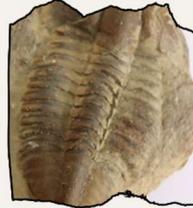
Escala: 1:20.000

Nombre: Esteban Torres

Quebrada Juan Pobre

La Quebrada Juan Pobre alberga rocas calizas de la Formación La Laja, datadas en el Cámbrico, hace unos 500 millones de años, cuando la región era parte de un fondo marino en una plataforma continental similar al actual mar Caribe. Estas rocas se formaron por la acumulación y posterior compactación de restos de organismos marinos como corales, conchas y algas calcáreas. Son de gran valor paleontológico, conteniendo fósiles de trilobites, braquiópodos y trazas de organismos vermiformes. Se piensa que estas rocas se originaron en lo que hoy es el sur de Estados Unidos, siendo luego trasladadas a su ubicación actual. Presentan estratos subverticales y formas denominadas "hogbacks" que testimonian los cambios tectónicos sufridos. Este lugar tiene una relevancia histórica especial en la geología argentina, siendo el sitio donde, en 1873, el geólogo Alfred Stelzner descubrió los primeros fósiles cámbricos del país, marcando un hito con el hallazgo de trilobites y braquiópodos.

Trilobite



Trazas fósiles



Hogbacks

La presencia de rocas carbonáticas de buena calidad, presentes en toda la franja Precordillerana desde Jáchal hasta Sarmiento, ha permitido el desarrollo de la industria calera en la Provincia de San Juan. La cal se utiliza en la minería, la construcción, la siderurgia, la agricultura, entre otros muchos usos

