Universidad Nacional de Catamarca - Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas
Licenciatura en Geología

Seminario

RELEVAMIENTO LITOESTRATIGRÁFICO DEL GRUPO PAGANZO (Cb-Pm) Y ESTUDIO DE SUS NIVELES ORGANÓGENOS EN EL SECTOR LAS ANGOSTURAS. DEPARTAMENTO TINOGASTA, PROVINCIA DE CATAMARCA.

Silvina E. Vázquez
MUN° 440

Director: Dr. Lorenzo Parra (UNCa.)

Asesor Técnico: Geól. Luis Ferreira (CNEA)

2017

AGRADECIMIENTOS

Asumir el desafío personal de elaborar un Trabajo final de grado, requiere de un gran esfuerzo donde se demuestra que poseemos las habilidades necesarias para afrontar un futuro profesional de manera competente.

Afrontar este reto fue embarcarme emocionalmente en el tema, el cual no hubiera sido posible sin la ayuda de un gran número de personas.

A mi director de tesis el doctor Lorenzo Parra quien me brindo una gran libertad y confió en mí, sin condicionarme para desarrollar este trabajo, pero siempre bajo su observación.

Al geólogo Luis Ferreira, quien junto al doctor Sergio Gorustovich me abrieron las puertas de la Comisión Nacional de Energía Atómica, donde encontré una gran motivación junto a sus compañeros José Molina, Jorge Anesa y Estela Ceballos. Especialmente a mi tío Alberto Arias, “Beto”, técnico de la empresa, por brindarme su apoyo incondicional en las campañas y en mi estadía en la ciudad de Salta.

Al departamento de Geología de mi facultad, por brindarme apoyo logístico. Al licenciado Matias Rasjido por ayudarme en la interpretación petrográfica, junto con la doctora Natalia Salado de la Universidad Nacional de Salta.

A la licenciada Ingrid Ovejero por permitirme ser parte del proyecto a su cargo, denominado “diseño de materiales geológicos para el desarrollo de parque geocultural” durante dos años, donde pude iniciarme en el campo de la investigación junto a los compañeros que lo integran.

A mi familia, padres y hermanos, por brindarme su apoyo incondicional, especialmente a mi gran compañero de vida mi padre Jesús, por acompañarme en la mayoría de las campañas. A mi pequeña hija Zoé y a mi madre, por ser los pilares de mi vida.

A mis compañeros, que fueron mi sostén emocional, Nelson Sánchez, Exequiel Barrionuevo, Diego Vargas, Lucia Humana, Gimena Agüero y Eugenia García.

ÍNDICE

RESUMEN 1
CAPÍTULO I. GENERALIDADES 2
1.1 INTRODUCCIÓN 3
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3
1.3 OBJETIVOS 4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL 4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4
1.4. UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO 4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 6
2.1. GEOLOGIA 7
2.1.1. SÍNTESIS DEL PALEOZOICO SUPERIOR 7
2.2. GEOLOGÍA REGIONAL 9
2.2.1. ANTECEDENTES Y AMBIENTES DE DEPOSITACIÓN 9
2.2.2. LÍMITES Y ESTILO ESTRUCTURAL 12
2.3. GEOLOGÍA LOCAL DEL ÁREA DE ESTUDIO 13
2.3.1. FORMACIÓN AGUA COLORADA (Carbonífero) 13
2.3.2. FORMACIÓN DE LA CUESTA (Pérmico) 15
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA 18
3.1. TRABAJO DE CAMPO 19
3.2. TRABAJO DE GABINETE 21
3.2.1. SISTEMAS GLACIALES. 21
3.2.2. SISTEMAS FLUVIALES. 22
3.2.3. SISTEMAS VULCANICLÁSTICOS. 23
3.2.4. SISTEMAS EÓLICOS 24
3.2.5. SISTEMAS LACUSTRES 25
3.3. MÉTODOS ANALÍTICOS UTILIZADOS 28
CAPÍTULO IV. RESULTADOS ESTRATIGRÁFICOS 30
4.1. ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN AGUA COLORADA 31
4.1.1. PRIMER RELEVAMIENTO 31

4.1.2. SEGUNDO RELEVAMIENTO 42
4.2. ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN EL CUERNO 45
4.3. ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN DE LA CUESTA 49
CAPÍTULO V. ESTUDIO DE NIVELES ORGANÓGENOS. RESULTADOS 69
5.1. RELEVANCIA DE LA CUENCA 70
5.2. METODOLOGÍAS DE EXPLORACIÓN 70
5.3. RESULTADOS DESCRIPTIVOS 72
5.4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS. 75
5.5. CORRELACIÓN 76
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES 78
6.1. RECOMENDACIONES 80
TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO 81
BIBLIOGRAFÍA 92
ANEXOS 94
ANEXO 1. PETROGRAFÍA 95
ANEXO 2. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS 99

RESUMEN

El Grupo Paganzo cuenta con un significativo valor cronoestratigráfico del neopaleozoico argentino. Sin embargo, a pesar de las diversas investigaciones que posee la cuenca, la información de sus afloramientos en el ámbito local es escasa y desactualizada. Las exploraciones realizadas en los depósitos neopaleozoicos por YPF S.A. en la provincia de Catamarca, cuenta con información prácticamente desconocida para la comuna científica y en general.

El presente trabajo tiene como finalidad caracterizar los afloramientos del Grupo Paganzo y sus paleoambientes operantes en el área conocida como puerta de Las Angosturas. Las unidades analizadas, corresponden a las Formaciones Agua Colorada y De la Cuesta, donde se postula un análisis detallado de sus facies organógenas y su potencial productivo. Para llevar a cabo este trabajo, se utilizó una recopilación minuciosa de los antecedentes bibliográficos de la cuenca, trabajos de investigaciones e informes internos de prospecciones realizadas en el área de estudio.

Se efectuó un análisis sedimentológico y estratigráfico, a partir del reconocimiento y delimitación de las unidades, con posterior levantamiento de perfiles a detalle, y recolección de muestras con demanda de análisis geoquímicos y petrográficos, para obtener una mayor caracterización litofacial.

La interpretación de datos permitió obtener la caracterización de facies de acción glaciaria y postglacial en la unidad carbonífera, que se caracterizan por la presencia de pavimentos estriados, depósitos diamícticos y pelitas carbonosas con contenidos microflorísticos. Por su parte la unidad pérmica se caracteriza por presentar litofacies de ambientes eólicos, lacustres y marino marginal con presencia de estructuras megaóndulas, icnofaunas, concentración de metales y pelitas oleogenéticas respectivamente, entre los rasgos más destacados. Los métodos analíticos y petrográficos permitieron determinar la particular relación de las unidades con actividad volcánica e intrusiva en el área incidente, manifestada por la presencia de la Formación El Cuerno y Formación Vaquerano. Se determinó que esta última unidad es acompañada por productos de alteración que influyeron en los factores controladores de la depositación de uranio, vanadio, cobre, entre otros metales concentrados en el Miembro Lacustre, perteneciente a la Formación De la Cuesta.

Por otro lado, los contenidos de materia orgánica presentes en carbones y pelitas organógenas, presentan aspectos geoquímicos que confirman indicios de un posible potencial generador de gas e hidrocarburo, lo cual resulta un aporte relevante para futuros investigaciones que confirmen la existencia de depósitos que actúen como potenciales reservorios, trampas, rocas sellos y vías de migración en el área investigada.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como finalidad caracterizar los afloramientos de las unidades litoestratigráficas que conforman el Grupo Paganzo (Azcuy y Morelli, 1970) y sus paleoambientes operantes en el área conocida como puerta de Las Angosturas del departamento Tinogasta. Las unidades analizadas, corresponden a las Formaciones Agua Colorada y De la Cuesta, donde se postula un análisis detallado de sus facies organógenas y su potencial productivo.

Para llevar a cabo este trabajo, se efectuó una recopilación minuciosa de los antecedentes bibliográficos de la cuenca, trabajos de investigaciones e informes internos de prospecciones realizadas en el área de estudio. Se perpetró un análisis sedimentológico y estratigráfico, efectuados a partir del reconocimiento y delimitación de las unidades, con posterior levantamiento de perfiles a detalle, y recolección de muestras con demanda de análisis geoquímicos y petrográficos, para obtener una mayor caracterización litofacial.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los trabajos publicados referidos al Grupo Paganzo en la provincia de Catamarca, abarcan información que cubre el ámbito estratigráfico, palinológico, petrológico y paleoambiental. Sin embargo, la información referida a los niveles litoestratigráficos de interés económico, pertenecen a organismos estatales (CNEA, YPF) la cual es escasa y restringida.

Investigaciones realizadas en rocas pelíticas y sedimentos organógenos de la Formación Tupe y Patquía – De la Cuesta, asignadas al Carbonífero tardío y Pérmico respectivamente, en la provincia de La Rioja, revelan que la materia orgánica contenida en dichas unidades alcanzó la madurez térmica con tendencia a la generación de gas (gas prone) y generación de petróleo (oil prone). Estas pelitas adquieren importancia en el sector norte de la Cuenca Paganzo *(*Fernández Seveso y Tankard, 1995; Villar y López Gamundi, 1993). Por otra parte, los afloramientos que representan al periodo Pérmico en la misma cuenca, se caracterizan por contener paleoambientes con sedimentitas portadoras de uranio, sin embargo, aún se desconoce el comportamiento productivo de los sedimentos neopaleozoicos en nuestra provincia.

Contar con este tipo de información, implica caracterizar los recursos energéticos de dicho sector de nuestra provincia complementándose con investigaciones ya realizadas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

El principal objetivo de este trabajo, consiste en el relevamiento detallado de las unidades litoestratigráficas Formación Agua Colorada y Formación De la Cuesta (Turner, 1967), representando al Grupo Paganzo en el sector Las Angosturas, departamento Tinogasta, provincia de Catamarca, siendo el objetivo principal el análisis de campo de los horizontes organógenos en los sistemas lacustres para determinar características de potenciales hidrocaburíferos, así como también elementos de importancia económica, tales como el uranio.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconocer el marco geológico del área de estudio.
- Efectuar relevamiento litoestratigráfico de la Formación Agua Colorada y de la Formación De la Cuesta. Describir secuencias litofaciales de cada uno de los miembros que integran las unidades.
- Analizar reconstrucciones paleoambientales de los medios sedimentarios presentes.
- Describir muestras manuales de litologías organógenas de la unidad carbonífera, con su respectiva recolección de muestras para análisis geoquímicos, con el objetivo de estimar si estas facies organógenas, pueden llegar a asumir alguna característica que se contempla en las rocas generadoras definidas en la misma cuenca.

1.4. UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

Para acceder a la zona de estudio desde la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, se transita por Ruta Nacional 38 hasta empalmar con Ruta Nacional 60 accediendo por quebrada de La Cébila, atravesando las localidades de Aimogasta, Tinogasta y Fiambalá, camino hacia el Paso Internacional San Francisco. Continuando por el oeste, se cruza los parajes de Loro Huasi y el Algarrobal hasta llegar al sector Las Angosturas, sitio donde el río Guanchín atraviesa la sierra de Narváez, formando un angosto desfiladero con dirección predominante este-oeste. La Ruta Nacional 60 corre paralela a dicho curso fluvial.

Los estudios se realizaron en aquellos sectores donde se consideran los afloramientos más representativos de las sedimentitas del Carbonífero superior y Pérmico, ubicadas entre los 27°42’18” y 27°42’58” de latitud sur, 67°56’42” y 67°55’30” de longitud oeste (Figura 1).

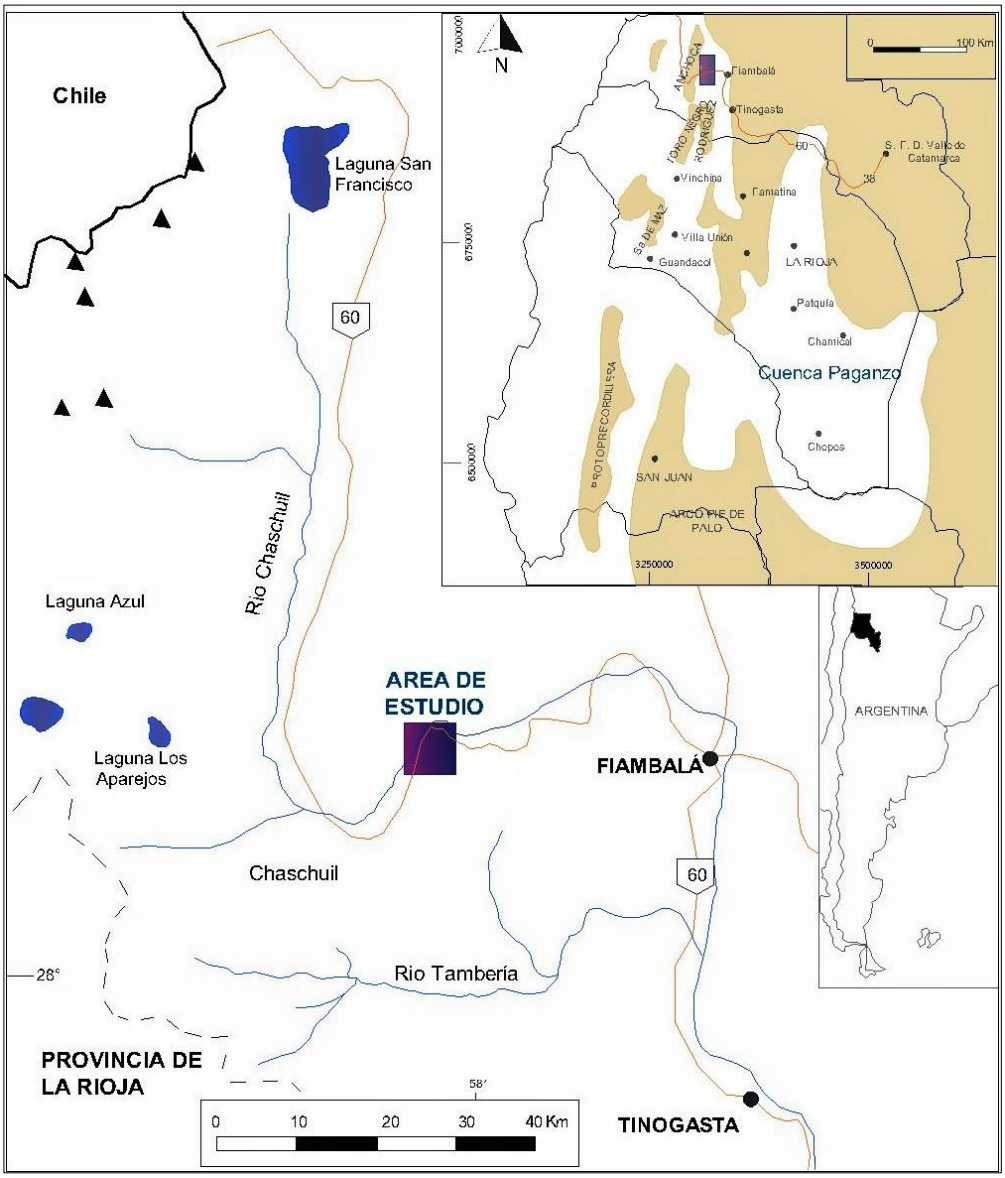


Figura 1. Ubicación del área de estudio y vías de acceso.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. GEOLOGÍA

2.1.1. SÍNTESIS DEL PALEOZOICO SUPERIOR

El Paleozoico es la primera división de tiempo dentro del Eón Fanerozoico, y transcurrió desde los 540 hasta los 251 Ma atrás. Dentro de esta Era, los períodos Carbonífero y Pérmico conforman el denominado neopaleozoico o Paleozoico superior, abarcando el intervalo de tiempo desde los 359 hasta 251 Ma atrás (IUGS, 2013).

Durante el Paleozoico superior sucedieron los procesos tectónicos y magmáticos que culminaron en la conformación de la Pangea Mesozoica. Hacia el inicio del Carbonífero, se reconocen los paleocontinentes de Laurasia desde el Hemisferio Norte hasta la posición septentrional-paleoecuatorial, y Gondwana en el hemisferio meridional, estando conformado este último supercontinente por África, Antártida, Australia, India, América del Sur y el sur de China. Durante el Carbonífero y Pérmico, el continente Gondwana sufrió una rotación y traslación causadas por la tectónica global, que produjo el desplazamiento sobre su superficie del polo Sur, desde África hasta la Antártida, y consecuentemente el cambio latitudinal de los continentes (López Gamundi y Buatois, 2010; Domeier et al., 2011; Isbell et al., 2012) quedando ubicado dentro del circulo de los 60° de paleolatitud sur. El resto de Gondwana ocupó otra franja climática, donde su porción norte se sitúo en el cinturón templado cálido entre los 30° y el Ecuador (Figura 2).

Durante el neopaleozoico, se reconoció la existencia de una serie de glaciaciones que afectaron principalmente a Gondwana. Fueron eventos que emplazaron centros glaciales sobre la superficie emergida, los cuales fueron avanzando y retrocediendo sobre los continentes en forma diacrónica y en periodos que habrían durado entre 1 a 8 Ma (Isbell et al., 2012), Figura 3.

Después de la extinción del Devónico, una vez más la vida se expandió paulatinamente, desarrollando flora y fauna gondwanica durante el Carbonífero que culminó en el Pérmico con ecosistemas complejos (Sánchez, 2013). Las variaciones climáticas, la traslación y rotación continental debida a la tectónica global, provocaron el aumento de temperatura desde mediados hasta fines del Pérmico, condicionando el desarrollo de ambientes depositacionales y la evolución de la biota (Isbell, op cit). A fines del periodo Pérmico un magmatismo desencadenado a gran escala, provocó un cambio climático global, y posterior modificación en la composición química de los océanos y lagos provocando condiciones anóxicas en los mismos. La extinción masiva registrada a fines del Pérmico, conocida como “la gran mortandad” marca el fin de la Era Paleozoica. América del Sur formó el margen occidental de Gondwana durante el neopaleozoico, desarrollando grandes cuencas sedimentarias en toda su extensión. Los depósitos sedimentarios poseen un importante desarrollo estratigráfico, facial y un abundante contenido paleontológico, lo cual redunda en el registro de una gran diversidad de ambientes sedimentarios: son, por ende, herramientas claves para la realización de reconstrucciones paleoclimáticas y ambientales, y un importante aporte para conocer los detalles locales en las reconstrucciones paleogeográficas (Coturel, 2013).

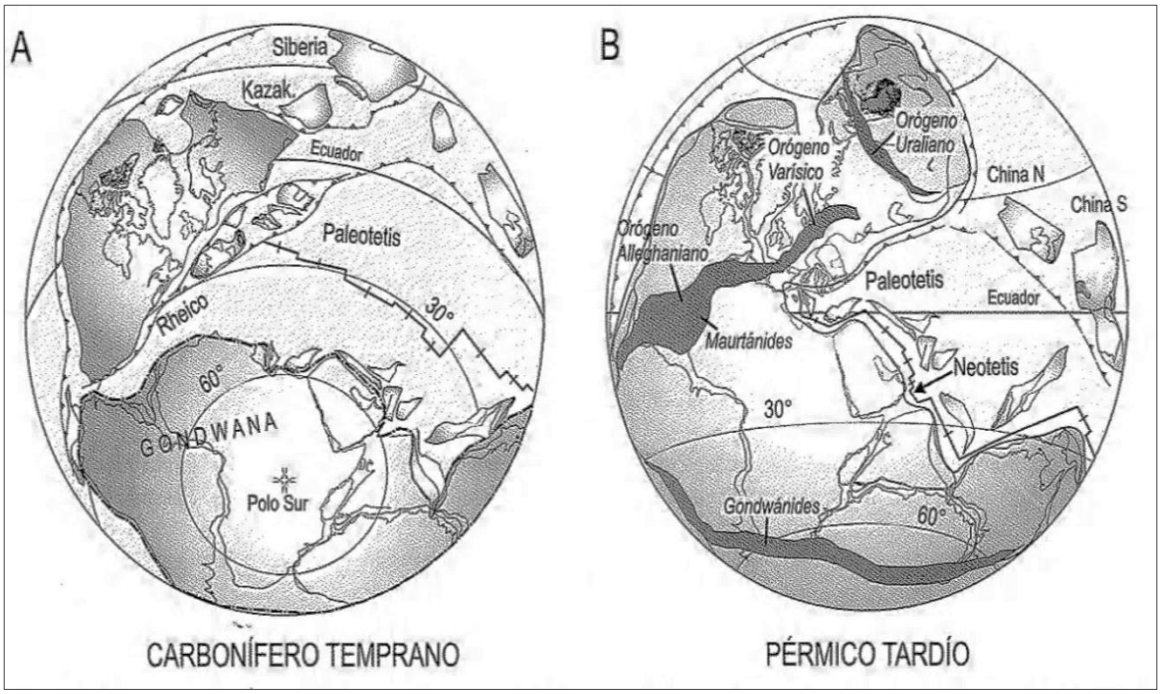


Figura 2. Mapa paleogeográfico. A) Carbonífero temprano mostrando la posición del polo sur. B) Pérmico tardío mostrando los orógenos formados durante la amalgama de Pangea (modificado de Cocksy Torsvik, 2006).

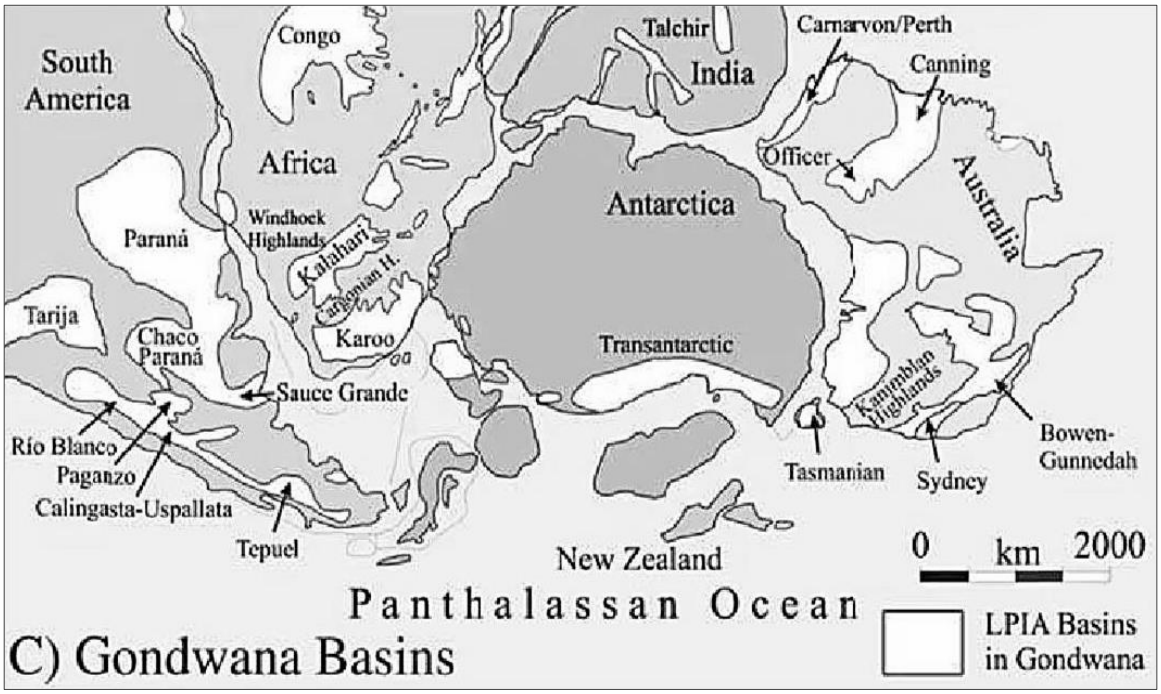


Figura 3. Interpretación de la distribución glacial en Gondwana, durante el periodo Carbonífero (tomado de Isbell et al., 2012).

2.2. GEOLOGÍA REGIONAL

Las cuencas neopaleozoicas de Sudamérica, se pueden agrupar en dos grandes tipos: las cuencas ubicadas en un contexto de intraplaca (cuencas del este) y las relacionadas al margen activo de Gondwana (cuencas del oeste). Estos dos grandes grupos de cuencas estaban divididas por un elemento positivo, conocido como el Arco Pampeano conformado por varias ramas, entre ellas: Arco de la Puna y el Arco de Michicola.

El grupo de cuencas del margen activo de Gondwana, presenta características más complejas que el primer grupo mencionado, debido a que presenciaron el episodio extensional que provocó la fragmentación de Gondwana.

2.2.1. ANTECEDENTES Y AMBIENTES DE DEPOSITACIÓN

La Cuenca de Paganzo consta de numerosos estudios e investigaciones que datan desde finales del siglo XIX y principios del siglo XX. Sus afloramientos descriptos por primera vez por los pioneros de la geología como Stelzner (1873), Brackebush (1891) y la obra marcada de Bodenbender (1911), fueron la base de los estudios del Paleozoico superior en nuestro país.

El ámbito central de la cuenca es el de mayor desarrollo areal, representado por las Sierras de los Llanos, Sañogasta y los nevados del Famatina, donde originalmente fueron definidos los "Estratos de Paganzo" por Bodenbender (1896, 1911) en primera instancia divididos en tres pisos atribuidos al Carbonífero, Pérmico y Triásico respectivamente. Años más tarde, Azcuy y Morelli (1970 a, b) realizan estudios en la comarca de Amaná-Paganzo donde definen el "Grupo Paganzo" fijando un perfil tipo, dividido en dos secciones equivalentes a los Pisos I y II de los Estratos de Paganzo de Bodenbender.

Azcuy y Morelli (op cit) deducen la existencia de la cuenca a partir de los análisis estratigráficos, definiendo un ámbito geográfico, que posteriormente estará representado por el mapa paleogeográfico de la cuenca, definido por Salfity y Gorustovich (1986) Figura 4.

A partir de los estudios paleobotánicos de Archangelsky et al. (1987) y ante las imprecisas correlaciones en la cuenca, surge la necesidad de adoptar la taxonomía de pisos regionales que permitieron una mayor correlación en la cuenca. En el Grupo Paganzo se reconocen dos grandes unidades (secciones) representadas por diferentes formaciones, debido a sutiles cambios faciales y adoptando diferentes nombres de acuerdo al área en particular. La litología incluida en la sección inferior de la unidad, corresponde a diferentes formaciones asignadas al Carbonífero tardío. Por su parte, la sección superior, incluye sucesiones de bancos rojos de gran distribución regional, depositadas mayormente durante el Pérmico (Limarino y Césari, 1987), Tabla 1.

El ámbito central de la Cuenca Paganzo, es el área con mayor desarrollo de depocentros, donde López Gamundi et al. (1989) siguieron los principios de la estratigrafía secuencial y agruparon los depósitos neopaleozoicos en dos "Megasecuencias" que abarcan el Carbonífero y el Pérmico Inferior respectivamente, y finalmente reagrupados por Fernández Seveso et al. (1990, 1998) a partir de perfiles estratigráficos e interpretación de secciones sísmicas, en cuatro supersecuencias denominadas: Guandacol, Tupe, Patquía - De La Cuesta inferior y Patquía - De La Cuesta superior, abarcando el lapso Carbonífero tardío - Pérmico superior.

El inicio de la sedimentación en la Cuenca Paganzo, coincide con el Carbonífero superior (César et al., 2007, 2011) y está caracterizada por la existencia de episodios glaciales. El episodio glacial sucedido a principios del Pennsylvaniano es el mejor registrado y el de mayor distribución areal en las cuencas neopaleozoicas próximas a la región andina (López Gamundi 1997, 2010; López Gamundi y Martínez, 2000). La edad de la transgresión postglacial está definida por diferentes elementos paleontológicos según el ámbito paleogeográfico en particular (Limarino et al., 2002).

El límite entre el Carbonífero y Pérmico en la cuenca aún es motivo de controversias, Bracaccini (1946), describe una transición progresiva entre los pisos I y II de Bodenbender (1911) o disposición pseudotransgresiva sobre el basamento. Sin embargo, a partir de las investigaciones de Net et al. (1999), se interpreta una fuerte discordancia erosiva, especialmente visible en sectores de borde de cuenca, que se habría originado por movimientos de finales del Carbonífero, responsables de la formación de depósitos de abanicos aluviales como discontinuidades menores o paracontinuidades hacia el centro de la cuenca.

En base a rasgos estructurales, petrografía de los sedimentos de distintas áreas de procedencia y grado de soterramiento, quedan definidos tres ámbitos depositacionales en dicha cuenca (Net, 1999):

Ámbito oriental: corresponde al área estable del antepaís, con formaciones mayormente dominadas por sedimentitas fluviales provenientes del basamento plutono-metamórfico de las Sierras Pampeanas.

Ámbito central: sus formaciones demuestran interdigitación de depósitos marinos, vulcanitas y continentales. El área de procedencia de las sedimentitas marinas se sitúa al oeste (Precordillera). Sobre estas secuencias se interponen potentes depósitos fluviales de las Sierras Pampeanas.

Ámbito occidental: representado por las formaciones Punta del Agua y Rio del Peñón, con perfiles que representan la transición a la Cuenca de Río Blanco, compuestas por espesas coladas volcánicas, intercaladas con conglomerados y areniscas. La unidad superior posee los depósitos marinos provenientes del oeste, con algunas intercalaciones deltaicas y fluviales de proveniencia pampeana.

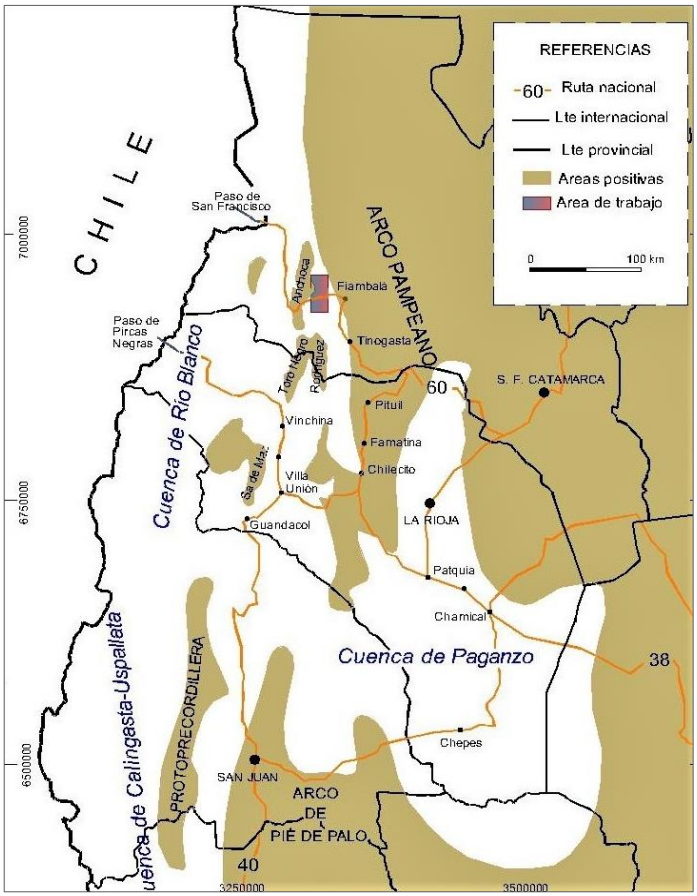


Figura 4. Distribución paleogeográfica de la Cuenca Paganzo y ubicación del área de estudio (modificado de Gorustovich, 2015).

CUENCA PAGANZO

Localidad / Período			Depocentros oriental/ occidental	Río Francia/ Río Uruguay	Guandacol/ Huaco	Las gredas/ Miranda	Chaschuil	Paganzo/ Amaná	Dique Los Sauces	Olta/ Malanzán	Bajo de Véliz	Tasa cuna
PÉRMICO	Sup.		Supersec Patquía-D.L. Cuesta (Sup)	Fm Patquía	Fm Patquía	Fm De la Cuesta	Fm De la Cuesta	Fm La Colina		Fm La Colina		Fm tasa Cuna
	Inf.		Supersec Patquía-D.L. Cuesta (inf)						Fm Prudencia		Fm bajo de Véliz	
CARBONÍFERO	Superior		Supersec Tupe	Fm Tupe	Fm Tupe	Fm Agua Colorada	Fm Agua Colorada	Fm Lagares	Fm Libertad	Fm Solca		
										Fm Loma Larga		
			Supersec Guandacol	Fm Guandacol	Fm Guandacol					Fm Malanzán		
	Inferior											
Paleoz. inferior / Basamento			Paleozoico inferior / Basamento									

Tabla 1. Síntesis de unidades formacionales y equivalentes en la Cuenca Paganzo, señalizando las unidades de estudio (modificado de Net y Limarino, 1999).

2.2.2. LÍMITES Y ESTILO ESTRUCTURAL

La Cuenca Paganzo (Azcuy y Morelli, 1970; Salfity y Gorustovich, 1983) se incluye en las cuencas de retroarco, caracterizadas por una menor deformación y actividad magmática con ausencia de metamorfismo (Limarino y Spalletti, 2006). Se halla ubicada entre los 27° y 33° de latitud sur y los 65° y 69° de longitud oeste, ocupando casi la totalidad de las provincias de San Juan, La Rioja, norte de Mendoza y San Luis, y una limitada área occidental de Córdoba y región suroccidental de Catamarca. Se ubica sobre el sustrato de tres provincias geológicas diferentes: Sierras Pampeanas (noroccidentales y sudorientales), Sistema de Famatina, y Precordillera.

Sus límites están conformados al este por el Arco Pampeano (Bracaccini, 1960), y su prolongación occidental localizada en las Sierras de San Luis y Córdoba. Por el oeste su límite lo constituye la Precordillera Acádica elevada por los movimientos de la fase Chánica (Baldis y Chebli, 1969). Este elemento estructural separa parcialmente la Cuenca Paganzo de otras áreas de sedimentación francamente marina, conocidas como cuenca del Río Blanco (Scalabrini Ortiz, 1970) y de Calingasta-Uspallata (Amos et al., 1965). En el caso del límite noroccidental, se incluyen los depósitos marinos del Carbonífero superior de Río del Peñón hasta laguna Brava (Cuerda, 1948; Borrello, 1955). El límite nororiental sigue una dirección noroeste-sudeste, por la existencia de un área positiva actualmente coincidente con el extremo Sur de las sierras de Ancasti y Ambato, manifestando una inflexión a la altura de la Sierra de Velasco. El límite suroeste lo constituye el Arco de Pie de Palo (Salfity y Gorustovich, 1983) (Figura 4).

Los movimientos chánicos de fines del Devónico y principios del Carbonífero modelaron las depresiones que conforman la Cuenca Paganzo (Azcuy et al., 1987), y dieron origen al piso estructural, sustrato integrado por varios terrenos: Chilenia, Precordillera y Pampia (Ramos, 1988), que sumado a la actividad derivada de grandes lineamientos estructurales, como la megafractura de Valle Fértil (Baldis et al., 1969) y el importante registro de glaciación gondwanica, han originado un fuerte paleorelieve inicial con diferentes depocentros (Fernández Seveso et al*.,* 1993) (Figura 5).

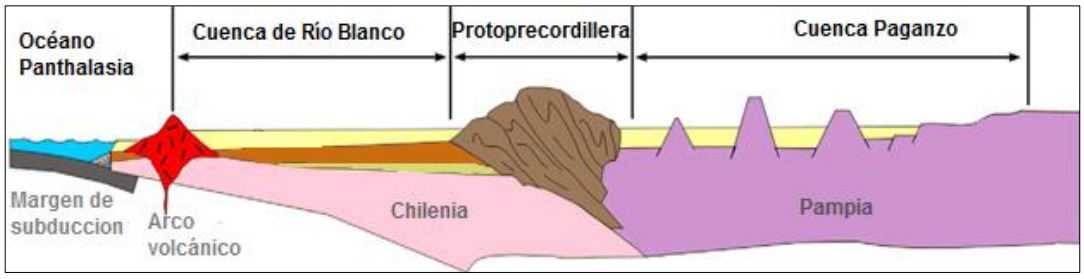


Figura 5. Modelo geodinámico de la Cuenca Paganzo durante el Carbonífero superior (modificado de Limarino y Spalletti, 2006).

2.3. GEOLOGÍA LOCAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio, ubicada en el ámbito del sistema Famatina está conformada por la presencia del granitoide Narváez constituido por filitas, cuarcitas y pelitas de bajo grado metamórfico de edad Ordovícica. También yace en este ámbito la Formación Suri, integrada por lutitas, areniscas, cuarcitas, margas y brechas volcánicas de similar edad. La Formación Suri se interdigita lateralmente con la Formación Las Planchadas. Turner (1967) interpreta el evento eruptivo como posterior a la sedimentación ordovícica media. Por el contrario, Maisonave (1973) plantea que las volcanitas constituyen el evento previo a la sedimentación. También son frecuentes los depósitos cuaternarios continentales aluvio-coluviales, depósitos de arenas y gravas que ocupan las partes bajas de las depresiones, y están compuestos por rodados en matriz arenosa friable. Estos relieves positivos creados por la acción tectónica son el resultado en diferentes pulsos de agradación pedemontana. Así, se han formado niveles de bajada por coalescencia de abanicos aluviales.

Cabe señalar que en el área en particular yace la Formación Vaquerano integrada por depósitos laháricos intercalados en areniscas rojas, basaltos olivínicos y diques de lamprófidos. Turner (1967) describe filones capa y basaltos en areniscas rojas de la Formación De la Cuesta a los que Maisonave (1979) denomina Formación Vaquerano. Dichos cuerpos intrusivos son difíciles de mapear en relación a la escala de la Formaciones estudiadas en el presente trabajo.

A continuación, se realiza un breve resumen de la geología de las unidades que representan al Grupo Paganzo en el área de estudio (Tabla 2) y su relación con unidades adyacentes, Figura 6.

2.3.1. FORMACIÓN AGUA COLORADA (Carbonífero)

En la Sierra de Narváez las sedimentitas de la sección inferior del Grupo Paganzo han sido asignadas por Turner (1967) como Formación Agua Colorada (equivalente al Piso I de los Estratos de Paganzo). Estas sedimentitas carboníferas en el Sistema de Famatina forman una extensa faja de rumbo NNE-SSO. Afloran en las estribaciones occidentales de la Sierra de La Palca y en la vertiente oriental de la Sierra de Narváez. También puede observarse al oeste del Valle de Chaschuil en la Cantera de Las Lajas (Buatois y Mángano, 1994), donde Vergel at al. (1993) realizaron el primer hallazgo de restos palinológicos para esta unidad, asignada al Namuriano-Westfaliano (Pennsilvaniano), que confirma la edad de Carbonífero superior propuesto por Turner (1967). Por otro lado, Fernández Seveso et al. (1993, 1995a), denominó a estos depósitos como supersecuencia Tupe, también descriptas como Carbonífero superior.

La litología de esta formación está constituida por conglomerados, arcosas, areniscas de grano grueso a fino y lutitas carbonosas con restos fósiles de plantas, correspondientes a ambientes glaciarios, aluviales y lacustres someros (Turner, 1960; 1964).

GRUPO PAGANZO	**PÉRMICO**	**Fm. De la Cuesta**	**Secuencia de la Cuesta Superior**	**Mbro. Morado**
				Mbro. Lacustre
			Secuencia de la Cuesta Inferior	**Mbro. Rojo**
	CARBONÍFERO	**Fm. Agua Colorada**		

Tabla 2. Unidades del Grupo Paganzo en el área de estudio.

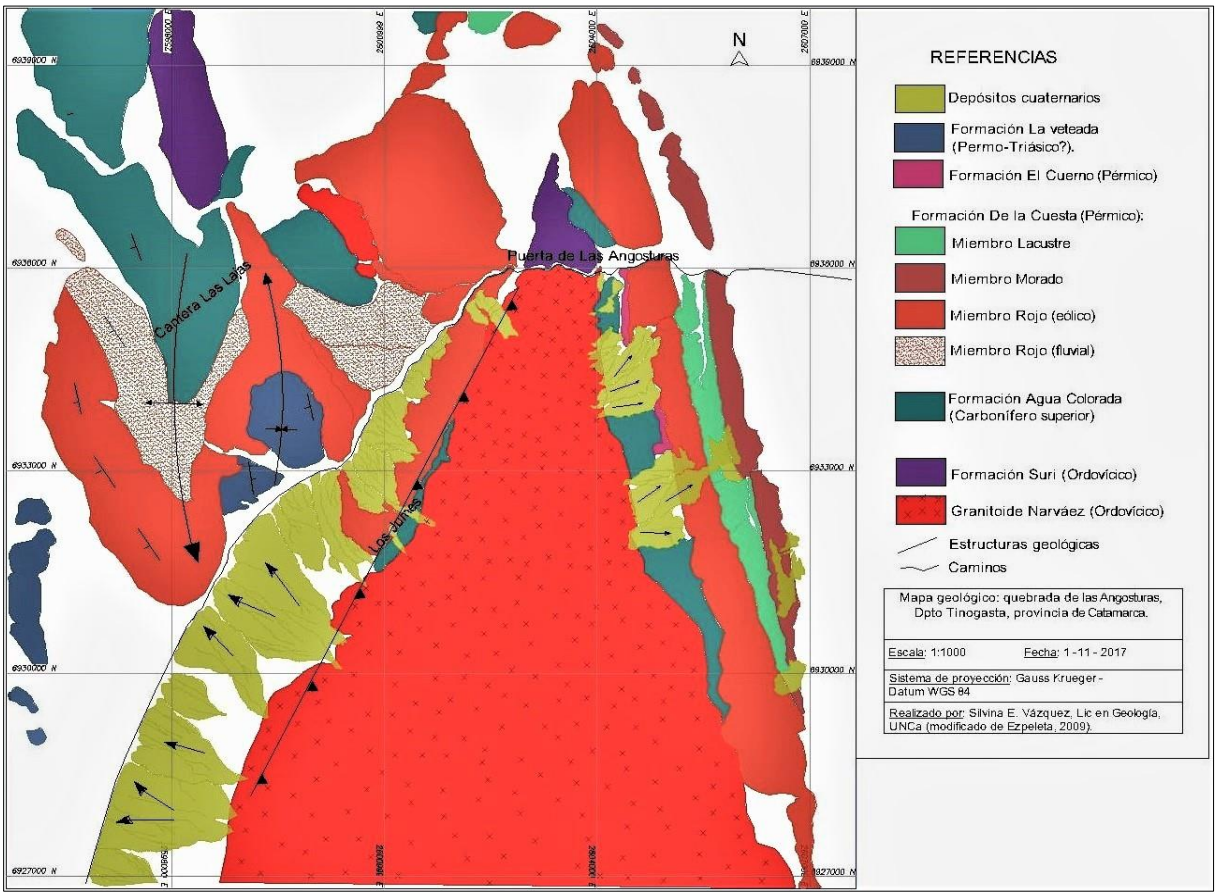


Figura 6. Mapa geológico de las unidades adyacentes al área del estudio (modificado de Ezpeleta, 2009).

En cuanto al ambiente de sedimentación de la Formación Agua Colorada, se registran evidencias de flujos gravitatorios de sedimentos, conformando extensos sistemas turbidíticos y progradación de sistemas deltaicos con direcciones de corriente hacia el ONO (Buatois, 1991; Buatois y Mángano, 1996). Las asociaciones de facies basales incluyen tanto diamictitas macizas como resedimentadas, y se relacionan con el evento glacial gondwánico de edad Namuriana. Por otra parte, las asociaciones de facies superiores muestran la evolución a un ambiente fiórdico, formado como consecuencia de una importante transgresión postglacial que

inundó los valles glaciales en la mayor parte de la cuenca, el cuál fue abruptamente reemplazado por sedimentación lacustre profunda, fluvial y depósitos de planicie deltaica.

Dichos aspectos paleoambientales, permitieron realizan esquemas de correlación regional que vinculan los afloramientos de Narváez con los depósitos de la Cuesta de Huaco, provincia San Juan, y secciones de Olta-Malanzán en el área de Sierras Pampeanas (Limarino et al., 2010).

Relaciones estratigráficas: los depósitos carboníferos presentan una relación basal discordante, sobre la Formación Narváez y Formación Suri de edad Ordovícica, y rocas más antiguas, observado en la puerta de Las Angosturas, Los Jumes y Las Peladas (Rubiolo et al., 2001). Dicha discordancia es reconocida a nivel regional (Bodenbender, 1911; Bracaccini, 1946; Net, 1999).

Con respecto al límite entre las sucesiones carboníferas – pérmicas en el área estudio, es descripta como de carácter normal y de transición progresiva entre areniscas arcósicas del techo del Carbonífero y sedimentitas basales del Miembro Rojo del Pérmico (Rubiolo Op cit.).

2.3.2. FORMACIÓN DE LA CUESTA (Pérmico)

Esta unidad se extiende geográficamente entre los 27° y 30° latitud sur. En la provincia de La Rioja, afloran en el tramo norte de la Sierra de Velasco (1963 pp. 29-32) y en los nevados de Famatina, localidad de Casa Blanca, donde fueron descriptos por primera vez por Turner (1960). Particularmente los afloramientos dela Formación De la Cuesta, en la provincia de Catamarca, están representados en la Sierra de Narváez, de las Planchadas, de La Palca y alrededor del Plutón granítico del Campo de Anchoca. Hacia la sur, forma una estructura sinclinal en la parte más alta de la Sierra de Narváez.

Esta unidad también aflora en las proximidades del Valle de Chaschuil en el Filo de los Asadores y del Matambre (Turner, 1964), donde son descriptos diques basálticos, de lamprófidos cuarcíferos y filones capas intruídos en las sedimentitas de dicha unidad, y asignados al Triásico-Cretácico. Estas sedimentitas equivalen al piso II de los Estratos de Paganzo (Bodenbender, 1911).

En términos estratigráficos, López y Clerici (1990) reconocieron por primera vez los depósitos de origen eólico y lacustre, referibles a la secuencia superior del Pérmico, en el Valle de Chaschuil, definiéndolo como otra unidad denominada Formación La Veteada. En esta última Vergel y Aceñolaza (1987) identifican la microflora pérmica correspondiente a la biozona de *Cristatisporites.* Por su parte López Gamundi et al. (1994) en las proximidades del Valle de Chaschuil, obtienen de sedimentitas referibles a esta unidad, una microflora a la que asignan edad Pérmica, la cual Césari y Gutiérrez (2001), reasignan edad Pérmica temprano-medio (Cisuraliano-Guadalupiano) en base al hallazgo de la biozona palinológica de la asociación: *FusacolpitesfususVittatinasubsaccata y Lueckisporites virkkae Weylandites lucifer*, no más antigua al Artinskiano (270.6 ± 0.7 Ma). Por otro lado, Limarino et al. (2010), definen la

distribución de facies sedimentarias para las sedimentitas de la Formación De la Cuesta, como resultado de la interacción entre ambientes depositacionales entre paleodunas y depósitos fluviales efímeros. Por su parte Spagnuolo et al. (2011), en la misma área de estudio, profundizaron estudios paleomagnéticos en los bancos rojos de la Formación De la Cuesta.

Litología: está compuesta de base a techo por conglomerados, areniscas fluviales y areniscas eólicas, con un característico color rojo ladrillo. Hacia el techo se intercalan areniscas y lutitas de ambiente lacustre somero a barreal, con intercalaciones evaporíticas y areniscas fluviales de sistemas entrelazados efímeros. En Las Angosturas, se observa en la base de la secuencia, margas amarillentas y rojizas con intercalaciones de areniscas de grano fino y pequeños bancos de pedernal (Turner, 1967). Esta sección tiene unos 100 m de espesor y pasa transicionalmente a areniscas rojo ladrillo, de grano fino y desarrollo uniforme.

En las descripciones de la hoja geológica 2769-IV de Fiambalá, Rubiolo et al. (2001), consideran el análisis estratigráfico secuencial de la Formación De la Cuesta, definido por Fernández Seveso (1993) donde señala dos ciclos depositacionales:

Secuencia De la Cuesta (inferior)

2.3.2.1. MIEMBRO ROJO

La primera secuencia está caracterizada por conglomerados y areniscas estratificadas correspondientes a conos aluviales distales y depósitos fluviales efímeros de coloración rojiza. Estos depósitos corresponden a los más septentrionales de la Cuenca Paganzo y se caracterizan predominantemente por arcilitas, fangolitas con areniscas intercaladas, cortadas por canales lenticulares de areniscas. Se infiere un ambiente de barreal y ríos efímeros. En otras localidades de la cuenca, se presentan lavas basálticas y depósitos piroclásticos (Azcuy y Morelli 1970; Fernández Seveso et al., 1993).

Secuencia De la Cuesta (superior)

2.3.2.2. MIEMBRO LACUSTRE

La segunda secuencia refleja los efectos de una trasgresión marina que se registró más al sur (Co. Veladero próximo a Guandacol, provincia de La Rioja), en este caso se presenta como depósitos fluviales y lacustres efímeros. La misma se correlaciona con los depósitos pérmicos marinos en territorio chileno y con ambiente de Precordillera occidental (Fernández Seveso et

al., 1993). Este miembro está compuesto por pelitas y areniscas finas de color ocre amarillento. Corresponde a un ambiente de abanicos aluviales y planicies de inundación en un período de alta tasa de subsidencia. En las partes centrales de la cuenca estas facies aluviales pasan a depósitos arcillosos lagunares (playa-lake). Estos lagos fueron probablemente el resultado de inundaciones en un sistema aluvial o producido por deflación. Ingresiones marinas restringidas son inferidas por microfósiles y calizas intercaladas. Los depósitos lacustres y marinos restringidos contienen niveles de pelitas bituminosas (Fernández Seveso y Tankard, 1995). Aquí se incluye la denominada "Faja Decolorada" como guía de prospección para la exploración de mineralizaciones de cobre y uranio en diferentes localidades de la Cuenca Paganzo (Diez et al., 1981; Gorustovich et al., 1987; Gorustovich y Guidi, 1998). La misma está integrada por pelitas, margas y areniscas finas, con una potencia de 38 m.

2.3.2.3. MIEMBRO MORADO

En la tercera secuencia, se evidencia el máximo evento de aridización representado por espesos bancos de areniscas eólicas (Limarino y Spalletti, 1986). Este miembro está compuesto por dos secuencias superiores de areniscas color rojo a morado y que corresponden al retorno de las condiciones semi-áridas del sistema.

Una discontinuidad regional limita la base de un intervalo eólico, sobre el que se desarrollan depósitos fluviales efímeros y barreales. En la Puerta de Las Angosturas, Turner (1967), asigna un espesor de 1600 m, Maisonave (1973), estima 2000 m, en tanto que Fernández Seveso et al. (1991), midieron un espesor total de 1380 m, de los cuales 730 m corresponden a las secuencias De la Cuesta superior; El ambiente de depositación es de tipo eólico, lacustre somero a barreal, con intercalaciones evaporíticas y areniscas fluviales de sistemas entrelazados efímeros. Se observa una sucesión de estratos rojos en la que se reconoce tres secuencias con arreglo regresivo- transgresivo, (Fernández Seveso, 1991; 1993).

Relaciones estratigráficas: el Miembro Rojo inferior se apoya en discordancia sobre las vulcanitas presentes en las capas superiores de la Formación Agua Colorada. La relación de su techo yace disconforme con las capas plegadas del Miembro Lacustre, manifestando este último una intensa deformación tectónica, que provoca la pérdida parcial de sus afloramientos. La sección superior denominada como la faja decolorada, se ubica en contacto normal con la base del Miembro Morado del lado este. Hacia el Sur afloran depósitos de la Formación Pedernal, compuesta por areniscas, conglomerados, pelitas y calizas del Triásico-Jurásico; yacen en contacto discordante sobre los depósitos pérmicos (Rubiolo et al., 2001).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

La metodología de trabajo llevada a cabo en el presente estudio, abarca técnicas divididas en trabajo de campo, gabinete y laboratorio.

3.1. TRABAJO DE CAMPO

Los métodos básicos de la estratigrafía se basan en la observación, toma de datos, muestreo, relación geométrica y temporal de estratos, que permiten la interpretación genética y ordenamiento de las unidades estratigráficas presentes, además de su correlación con unidades de otras localidades (Vera Torres, 1994). Siguiendo este criterio el trabajo de campo consistió:

3.1.1. Reconocimiento de unidades litoestratigráficas. Formación Agua Colorada y Formación De La Cuesta: su posición relativa y relación de contacto con unidades supra e infrayacentes, se determinó utilizando como referencia principal, investigaciones anteriores realizadas en dicha área de estudio por Buatois y Mángano (1996); López y Clerici (1990); Limarino et al. (2010), entre otros.

3.1.2. Reconocimiento de litologías presentes: fueron reconocidas rocas clásticas (psamíticas y psefíticas), sedimentos pelíticos, organógenos y rocas piroclásticas, a través de parámetros físicos sedimentológicos y la aplicación de clasificaciones existentes.

3.1.3. Reconocimiento y determinación de aspectos sedimentarios: la observación in situ de las propiedades sedimentológicas fueron imprescindibles para definir las litofacies. Estas fueron descriptas a partir de los siguientes parámetros físicos y clasificaciones:

Parámetros físicos

- *Grado de consolidación*: puede ser apreciado empleando una escala relativa (términos: friable, poco consolidado, moderadamente consolidado, consolidado y muy consolidado).
- *Color* (heredado o adquirido).
- *Estructuras sedimentarias*: se reconocen primarias o mecánicas, químicas o biogénicas.
- *Textura:* definida por el tamaño de los componentes: grano y/o cristal, forma de los componentes, grado de selección y madurez textural y su abundancia (textura clasto o matriz soporte). Las texturas macroscópicas de las facies carbonáticas, generalmente no coinciden con las texturas microfaciales. Sin embargo, como en varios trabajos de análisis de facies, en este trabajo se prefiere mantener una dualidad, para que las facies sean identificables en el campo.
- *Composición:* en términos descriptivos, relativamente megascopicos, la composición se define por el tipo de componentes presentes, tipos de cementos y proporción.
- *Tipo de componentes:* definidos por litoclastos y/o cristaloclastos (en rocas psamíticas-psefíticas); bioclastos, oolitas, fragmentos líticos, micritas, componentes siliciclásticos (en rocas carbonáticas y calizas); fiammes, fragmentos líticos (en rocas vulcaniclásticas y piroclásticas).

Clasificaciones:

- Clasificación de fracción psefìtica (Folk et al., 1970; 1974).
- Clasificación de fracción psefítica basada en la matriz, composición de clastos y fábrica (Limarino et al., 1996).
- Clasificación de Dott (modificado de Pettijhon, 1970).
- Clasificaciones de rocas piroclásticas (Pettijhon et al., 1987).

3.1.4. Reconocimiento y determinación de aspectos estratigráficos: permiten definir las asociaciones de facies sedimentarias presentes y obtener la reconstrucción paleoambiental de cada unidad en un determinado sector de la cuenca. Dichos aspectos abarcan:

- *Geometría y orientación de los cuerpos estratificados*: consistió en la medición minuciosa de espesores de estratos utilizando cinta métrica, detallando geometría de los bancos. La orientación en el espacio de las estructuras presentes fue obtenida efectuando medidas con brújula tipo Brunton y datos GPS (estratificación, contactos, fallas y estrías).

- *Reconocimiento del tipo de límite y discontinuidades presentes entre cambios litológicos:* consistió en la observación directa de rasgos geométricos de la superficie del techo y muro, donde se reconoce el tipo de límite de los estratos que separa tanto materiales de la misma naturaleza como diferentes litologías, siguiendo la terminología propuesta por Vera Torres (1994).

- *Reconocimiento de estructuras sedimentarias:* se realizó el levantamiento y análisis de estructuras sedimentarias tanto de ordenamiento interno en estratos, como aquellas presentes en las superficies de estratificación, acudiendo a información previa de sus características, génesis, e ilustraciones de las mismas.

- *Levantamiento de columnas:* se acudió al levantamiento de perfiles estratigráficos a detalle para cada una de las unidades. Se adoptó la elaboración de modelos de doble columna utilizando escala y clasificación granulométrica de Udden-Wentworth (modificado de Pettijhon, 1970) representando las litofacies definidas con su nomenclatura correspondiente.

- *Registro fotográfico*: fue realizado en contactos litológicos, discontinuidades y aspectos particulares del levantamiento.

- *Muestreo:* se llevó a cabo en las dos unidades relevadas, obteniendo un registro de coordenadas en puntos de muestreo.

3.2. TRABAJO DE GABINETE

Inicialmente se llevó a cabo una minuciosa revisión bibliográfica orientada a obtener información básica de las unidades estratigráficas a estudiar. Conjuntamente se analizó el material cartográfico necesario, hoja geológica 2769-IV Fiambalá del SEGEMAR, mapas geológicos a escala local y análisis de imagen satelital, con el fin de identificar las unidades geológicas presentes en el área. En relación a este punto se confeccionó un bosquejo geológico delimitando el área de estudio. Para la descripción estratigráfica, se utilizaron criterios para definir una litofacie y asociaciones de facies, que permitieron su identificación.

"Una litofacie es definida como un cuerpo de roca (sedimentos) con características específicas. Puede ser una simple capa o un grupo de ellas. Idealmente, ésta debería ser una roca distintiva que se formó bajo condiciones de sedimentación reflejando procesos particulares, sets de condiciones o ambientes" (Reading, 1996). Maill (1977) define un sistema de códigos identificatorios de las distintas litofacies que pueden existir en los diferentes sistemas depositacionales.

Los perfiles estratigráficos elaborados en detalle, fueron confeccionados a través de software GIS AutoCAD, acompañados por las litofacies que se definieron en las dos unidades, carbonífera y pérmica. A continuación, se detallan las nomenclaturas utilizadas para las litofacies en relación al medio sedimentario que se identificó:

3.2.1. SISTEMAS GLACIALES.

Para las litofacies glaciales se utilizó la nomenclatura propuesta por Eyles et al. (1983), Tabla 3.

CODIGO	LITOFACIES	INTERPRETACION DE PROCESO SEDIMENTARIO
Dmm	Diamictita matriz-soportada masiva	Flujos sedimentarios gravitatorios. Flujos hiperconcentrado cohesivo.
Dmm (s)	Diamictita matriz – soportada masiva estratificada	Depósitos de flujos detríticos.
Dmm (t)	Diamictita matriz-soportada delgadamente estratificada	Flujos sedimentarios gravitatorios, flujo hiperconcentrado cohesivo.

Tabla 3. Litofacies definidas en el sistema depositacional glaci-lacustre.

3.2.2. SISTEMAS FLUVIALES.

Para las litofacies presentes en estos sistemas depositacionales se utilizó la nomenclatura propuesta por Maill (1996), Tabla 4.

CODIGO	LITOFACIES	INTERPRETACION DE PROCESO SEDIMENTARIO
Gp	Ortoconglomerados con estratificación cruzadas planar tabular	Flujo fluido unidireccional de alto régimendeposita carga de fondoen barras transversales y suconsecuente migración.
Gcm	Ortoconglomerados clasto - soportado masivo	Flujo fluido de alto régimen que deposita carga de fondo con pérdida de competencia.
Ggi	Ortoconglomerados con estratificación gradada inversa	Depósitos de flujos detríticos
Sm	Areniscas finas a gruesa masivas	Flujo fluido de alta carga de sedimentos que deposita rápidamente la carga de fondo como megaóndulas o barras transversales.
Sp	Arenisca medias a muy gruesas con estratificación cruzada planar tabular	Flujo fluido unidireccional de bajo régimen, deposita carga de fondo como ondulas barras transversales. Consecuente migración
Sr	Areniscas finas a muy finas con laminación ondulítica de corriente	Flujo fluido unidireccional de bajo régimen que deposita carga de fondo como ondulas y su consecuente migración.
Srw	Areniscas con laminación ondulítica de oscilación.	Oleaje.
Src_a	Areniscas con laminación ondulítica ascendente (climbirg).	Migración de ondulitas con abundante material en suspensión. Flujo unidireccional de bajo régimen (migración y agradación). Tipo A: elevada carga de lecho. tipo B elevada carga de lecho y en suspensión.
HSC	Arenisca con estratificación entrecruzada tipo hummocky	Flujos fluidos combinados (oscilatorios de bajo y alto régimen y unidireccionales) que depositan cargas de lecho generando domos/depresiones.

Sh	Arenisca con estratificación horizontal	Flujo fluido unidireccional de alto régimen, que deposita carga de fondo.
Sl	Areniscas finas con laminación de bajo ángulo (≤15º)	Flujo fluido unidireccional de alto régimen, que deposita carga de fondo.
St	Arenisca media a muy gruesa con estratificación entrecruzada en artesa	Migración de ondulas de crestas sinuosas (3D) de bajo régimen de flujo.
Fl	Pelitas con laminación paralela	Decantación por carga en suspensión, detención del flujo.
Fm	Pelita maciza	Acreción vertical por decantación, cubierta pelítica.
Fld	Pelitas laminadas con dropstones.	Decantación a partir carga en suspensión y balsaje a partir de hielos flotantes.
C	Carbón, fango carbonoso.	Depósitos de pantanos ricos en vegetación.
Y	Yeso nodular y prismático.	Precipitación de yeso/anhidrita.
M3	Calizas micríticas negras o grises ricas en MO (Mudstones/wackestones)	Por contenido de lodo carbonatado
M4	Alternancias de margas y calizas con fósiles lacustres.	Depósitos ricos en organismos y vegetación.

Tabla 4. Litofacies presentes en los sistemas fluviales y palustres.

3.2.3. SISTEMAS VULCANICLÁSTICOS.

La nomenclatura adoptada para los episodios volcánicos presentes es la de Branney y Kokelaar (2002), siendo su terminología una modificación de la nomenclatura de Cas y Wrigth (1993), Tabla 5.

CODIGO	LITOFACIES	INTERPRETACION DE PROCESO SEDIMENTARIO
rheomLT	Toba lapillítica reomórficamasiva fuertemente soldadas.	Representada por ignimbritas masivas. Flujos piroclásticos de alta temperatura.
emLT	Toba lapillítica eutaxítica masiva	Ignimbritas de bajo grado de soldamiento.
*xs*LT	Toba lapillítica conestratificación.	Lluvias de cenizas, decantación.
FLs	Fragmentos líticos sedimentarios	Estadíos inter-eruptivos

Tabla 5. Litofacies presentes en el sistema vulcaniclástico- piroclástico (modificado de Branney y Kokelaar, 2002).

3.2.4. SISTEMAS EÓLICOS

Los estratos que representan estos ambientes, son generados por la migración de geoformas producidas por areniscas eólicas de diferentes tamaños, ascendiendo unas a otras en diferentes ángulos y direcciones (Brookfield, 1977).

Los modelos de facies en sistemas eólicos se basan fundamentalmente en el tipo de estratificación y en las superficies limitantes de los estratos. Estos conceptos permiten identificar formas de lecho en areniscas eólicas antiguas. Wilson's (1972) propuso formas de lecho de tres escalas principales:

- ***Ondulas:*** son más aplanadas que las subácueas y con crestas más regulares (menores a 0,1 m de altura).
- ***Dunas:*** son de mayor tamaño que las óndulas (entre 0,1 y 100 m de altura).

- ***Draa***: geoforma arenosa que se caracteriza por la superposición de pequeñas dunas (entre 20 y 450 m de altura).

Para el reconocimiento de facies se tuvieron en cuenta las clasificaciones de Brookfield (1977) quien reconoce tres tipos de superficies basadas en la extensión y la jerarquía de la misma (Tabla 6) y los principales tipos de laminación eólica de Hunter (1977). Para las litofacies presentes, se adoptaron los códigos de nomenclatura propuesta por Caselli (1998), Tabla 7.

SUPERFICIE	DESCRIPCIÓN	INTERPRETACIÓN
1º orden	Superficies planas o ligeramente inclinadas muy extensas que truncan las dunas ubicadas debajo.	Se atribuyen a la migración de formas de lecho en la escala de draas
2º orden	Son superficies planas o ligeramente cóncavas inclinadas que limitan sets o paquetes de sets entrecruzados.	Migración de dunas sobre los draa. Algunas superficies inclinan suavemente en la dirección del paleoviento, sugiriendo esto un probable descenso de dunas sobre la cara frontal del draa.
3º orden	Superficies curvas y cóncavas hacia arriba. Inclinan con menor ángulo que las caras frontales y desaparecen gradualmente en el sector inferior del set.	Superficies de reactivación que reflejan los efectos de vientos de corta duración, que soplan en distinta dirección que los vientos dominantes de la región.

Tabla 6. Clasificación de superficies limitantes de Brookfield (1977).

CODIGO	LITOFACIES	LAMINACIÓN	INTERPRETACION DE PROCESO SEDIMENTARIO
SP	Arenisca con estratificación entrecruzada tabular planar	SFL y GFL	Dunas de pequeño y gran porte, con caras frontales compuestas por flujos granulares (SFL) alternando con caídas de grano (GFL).
Sh	Arenisca con estratificación horizontal	Sh	Lecho plano generado por vientos de alta velocidad y en ocasiones migraciones de ondulitas.
Sr	Arenisca con laminación ondulítica	Sr	Migración de ondulitas eólicas.
Sgi	Areniscas con gradación inversa	Sgi	Migración de ondulitas eólicas.

Tabla 7. Litofacies presentes en el sistema eólico.

3.2.5. SISTEMAS LACUSTRES

Para definir este sistema en forma ordenada se utilizaron los dominios o cinturones ambientales definidos por Gierlowski y Kordesh (1994a). Desde el margen hacia el centro del lago los dominios pueden dividirse en:

- **Zona supralitoral – orla palustre**: zona en la que dominan rasgos de exposición aérea y vegetación enraizada. Normalmente controlada por oscilaciones del nivel freático.
- **Zona litoral (zona lacustre marginal):** comprende un ambiente fótico y oxigenado afectado por oleaje. En esta zona se producen la entrada de sedimentos y es la que mayor bioproducción de sedimentos. En ella, se reflejan exposiciones periódicas por oscilaciones de la lámina de agua.
- **Zona sublitoral:** es una zona generalmente inundada. No registra exposiciones subaéreas, es fótica y oxigenada. La zona puede quedar sometida al oleaje periódico durante episodios de tormentas.
- **Talud:** constituye la zona de ruptura de pendiente, que separa la zona litoral-sublitoral de la zona central y pelágica. Puede no estar presente.
- **Zona pelágica o de cuenca:** corresponde a las zonas centrales del lago. Son las zonas más profundas y planas que se encuentran fuera del alcance del oleaje, donde la bioturbación es escasa o está prácticamente ausente. Está dominada por procesos de decantación, precipitación y llegada de flujos turbidíticos.

A continuación, se reúnen las siguientes litofacies sedimentarias reconocidas en el relevamiento del sistema lacustre y la nomenclatura aplicada en su descripción (Tabla 8):

CODIGO	LITOFACIES	INTERPRETACION DE PROCESOS SEDIMENTARIOS
Src_a	Areniscas con laminación ondulítica de corriente ascendente ("climbing").	Migración de ondulitas con abundante material en suspensión.
Srw	Arenisca con laminación ondulítica de oscilación	Oleaje
C	Calcarenitas	Flujos turbidíticos ocasionados en un régimen de alta energía.
Fl	Pelitas con laminación paralela	Decantación por carga en suspensión, detención del flujo.
GR	Grainstones	Textura clasto-sostén. Conformada por ooides y fragmentos calcáreos. Depósitos de flujos traccionales originados por flujos de sedimentos de baja concentración, turbulentos, desarrollados en un ambiente con alta tasa de producción de fragmentos calcáreos esqueletales y no esqueletales.
Chm	Chert estratificado	Precipitación de sílice
Cho	Chert nodular	Precipitación de sílice
Y	Yeso nodular y prismático	Precipitación de yeso/anhidrita.

Tabla 8. Litofacies presentes en el sistema lacustre.

· NIVELES ORGANÓGENOS EN SISTEMAS LACUSTRES

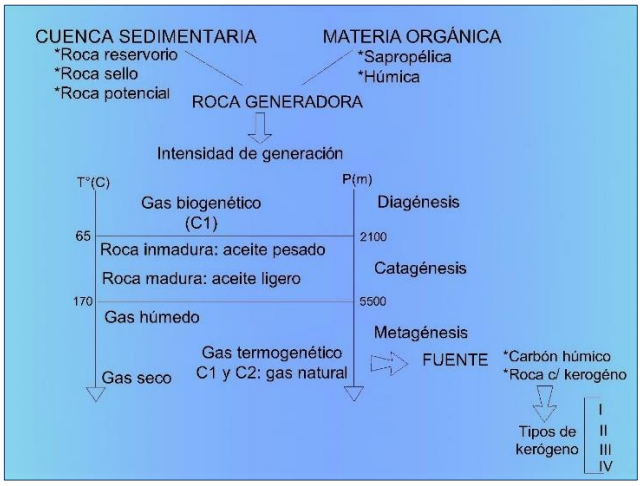
Prácticamente toda la materia orgánica puede ser clasificada en sapropélica y húmica (Potonié, 1909). La generación de hidrocarburos, dióxido de carbono (CO_2) y otros gases por maduración térmica de la materia orgánica, es uno de los procesos que más influye en la diagénesis de enterramiento de las rocas carbonáticas cuando cesa su descomposición por diferentes causas(como el agotamiento de agentes oxidantes y aumento de temperatura), luego de varios millones de años y a mayores profundidades de sepultamiento, la materia orgánica remanente (humina) se transforma en kerógeno y bitumen (Coleman, 1985).

Dependiendo de la naturaleza de la materia orgánica se obtendrán diferentes tipos de kerógenos, compuestos por diferentes tipos de macerales, los cuales representan una unidad orgánica (mineral) de una planta o material derivado, cada kerógeno evolucionará por diferentes caminos y con diferentes potenciales generadores (Cuadro 1).

TIPOS DE KERÓGENOS		ORIGEN	MACERALES	RANGO DEL KERÓGENO	MATERIA ORGÁNICA ORIGINAL
SAPROPÉLICOS	Amorfo Algáceo Herbáceo	Marino	Alginita	I	Algas de agua dulce.
			Exinita	II	Polen y esporas.
			Cutinita	II	Cutículas de plantas terrestres.
			Resinita	II	Resinas de plantas terrestres.
HÚMICOS	Leñoso Carbonoso o inerte	Terrestre	Liptinita	II	Lípidos de plantas terrestres y algas marinas.
			Vitrinita	III	Material leñoso y celuloso de plantas terrestres
			Inertita	IV	Carbón: materia altamente oxidada - retrabajada.

Cuadro 1. Tipos de Kerógenos (modificado de Hunt, 1979).

Las zonas donde evoluciona la materia orgánica son dependientes de la profundidad, y los procesos que involucran se denominan diagénesis (o eogénesis), catagénesis y metagénesis (Tissot y Welte, 1978) (Cuadro 2). La catagénesis es la etapa principal para la formación de aceites, condensados y gas húmedo (zona en donde la roca genera y expulsa petróleo), denominada ventana de petróleo. Por encima de estas temperaturas se genera un gas húmedo (gas acompañado por una fase líquida), pero más allá de los 150°C solo aparece una fase gaseosa compuesta por metano termogenético, gas seco, zona denominada metagénesis.



Cuadro 2. Cuadro resumen de generación de hidrocarburos y gas (modificado de Tissot y Welte, 1978).

Para describir las pelitas carbonosas y el carbón como principales objetos de estudio del presente trabajo, se utilizó la nomenclatura y clasificación de Stopes (1919), donde se consideran términos descriptivos aplicables a muestras manuales del carbón y sus componentes visibles, lo cual permite estimar el tipo de materia orgánica. Los litotipos considerados visibles en esta metodología constan de:

Vitrita: se reconoce por ser un carbón brillante, vítreo que se dispone en capas horizontales y fractura concoidea, en forma de películas grafíticas de brillo lustroso.

Fusita: se reconoce por ser muy frágil y porosa, presenta curvas irregulares en muestras manuales. Su componente predominante es la fusinita.

Durita: se caracteriza por ser un carbón con falta de brillo, de aspecto mate, color negro a gris plomo que carece de estratificación. Su componente principal es la micrinita.

Exinita: consta de esporinita y cutinita que son restos de esporas y materiales cuticulares respectivamente. Pueden ser reconocidos por sus colores translucidos.

El kerógeno es un componente orgánico metaestable y durante la diagénesis de enterramiento tiende a transformarse en fases estables como agua (H_2O),dióxido de carbono (CO_2),metano (CH_4), sulfuro de hidrogeno (H_2S).Esta transformación se denomina maduración, y se inicia entre los 50-80°C, consiste en una serie de reacciones termocatalíticas con pérdida de hidrógeno (H_2), en forma de hidrocarburo y gas, y oxígeno (O_2) en forma de dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O), y si la materia orgánica tiende a ser rica en lignina, se transforma en carbón e incluso grafito. La progresiva maduración de la materia orgánica es cada vez más rica en compuestos de carbono y aumenta al aumentar la exposición del kerógeno a intervalos de tiempo, temperatura y presión (Tissot y Welte, 1984), siendo la reflectancia de la vitrinita (R_o) el parámetro indicador más utilizado actualmente, para la determinar de la maduración térmica.

Por otro parte, el contenido de materia orgánica, fue determinado a través de métodos analíticos, representado por el porcentaje en peso de carbono orgánico total, el cual permite estipular la calidad del kerógeno presente (Tabla 9).

Contenido orgánico total (%en peso)	Calidad del Kerógeno
< 0.5	Muy pobre
0.5 a1	pobre
1 a 2	Regular
2 a 4	Buena
4 a 12	Muy buena
>12	Excelente

Tabla 9. Valores estimados de carbono orgánico total, según el kerógeno presente (Mc Carthy et al*.,* 2011).

3.3. MÉTODOS ANALÍTICOS UTILIZADOS

3.3.1. Análisis petrográfico: se efectuaron láminas petrográficas para definir mineralogía presente y procedencia de facies en las dos unidades estratigráficas analizadas. Para la obtención de microfotografías se utilizó microscopio Leica DFC 295 en las instalaciones de la Comisión Nacional de Energía Atómica, regional NOA.

3.3.2. Contenido total de materia orgánica (COT): es una técnica que se utiliza para medir la cantidad de carbono de origen biológico que ha sido depositado, luego soterrado y conservado a través del tiempo geológico. Consiste en pulverizar la muestra y remover el carbono inorgánico mediante un tratamiento químico con ácido clorhídrico. Luego la muestra es introducida en un equipo LECO en el cual, básicamente, se oxida el carbono a dióxido de carbono (CO_2). Este último es detectado mediante un detector de conductividad térmica. La relación entre el peso de dióxido de carbono (CO_2) generado y el peso original de la muestra es el porcentaje de carbono orgánico presente en la misma. Se obtuvieron los valores de contenido orgánico total en muestras de la Formación Agua Colorada, extraídas en superficie, las cuales fueron enviadas al Instituto LANAIS CONICET, del departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur.

3.3.3. Uranio químico total y trazas: se realizó la preparación y análisis de muestras en laboratorio, aplicando los métodos de absorción molecular (DBM), con límite de detección 30 µg/g y fluorescencia laser, con límite de detección de 0.1 µg/g.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS ESTRATIGRÁFICOS

4.1. ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN AGUA COLORADA

El levantamiento de la columna estratigráfica de la unidad carbonífera se efectuó en dos sectores aflorantes del área de estudio, con el objetivo de analizar la evolución lateral de las asociaciones de facies sedimentarias presentes (Figura 7). Las características estratigráficas tienen en cuenta principalmente los tipos de fábrica, la ocurrencia y geometría de los estratos, que nos aportan información de las condiciones paleoclimáticas e hidrodinámicas que prevalecieron en el momento de la deposición.

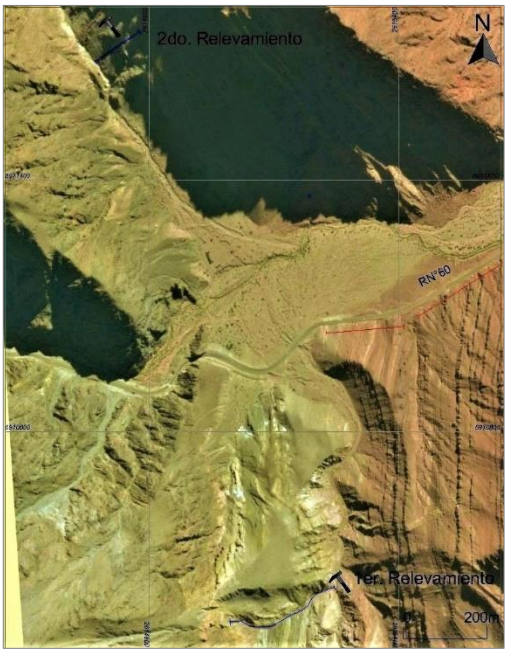


Figura 7. Secciones levantadas de la Formación Agua Colorada.

4.1.1. PRIMER RELEVAMIENTO

En el área de Las Angosturas departamento Tinogasta, la Formación Agua Colorada aflora en dos fajas en sentido meridional. Anteriormente la unidad fue dividida en siete asociaciones de facies sedimentarias, de acuerdo a sus características sedimentológicas y paleoambientales (Limarino et al., 2010) (Fotografía 1). En el presente trabajo se realizó la descripción y reconocimiento litofacial de la unidad carbonífera en los afloramientos ubicados a los 27°42’35.0” de latitud sur y 67°56’39.8” de longitud oeste. A continuación, se detallan las siguientes características observadas, acompañadas de su respectivo perfil estratigráfico *(Anexo 2, Perfiles Nº1 y 2).*

Fotografía 1. Vista panorámica de la Formación Agua Colorada y unidades adyacentes.

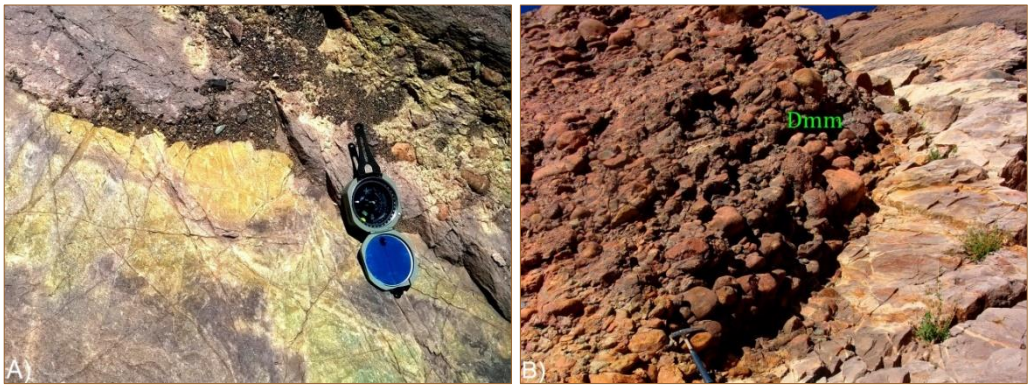
Asociación de facies 1: diamictitas monomícticas, areniscas guijarrosas.

Descripción: la asociación está conformada por tres litologías principales: diamictitas masivas (Dmm), diamictitas brechosas y areniscas guijarrosas, exhibidas en 10 m de potencia. La secuencia se inicia con diamictitas brechosas fuertemente consolidadas al sustrato local. Están formadas por clastos de granitos, feldespatos, y cuarzos lechosos de formas angulosas a subangulosas, sumergidos en matriz de arena fina a media, con clastos inferiores a 0.40 m de diámetro. En el basamento granítico son frecuentes estructuras lineales (estriaciones) agrupadas en dos direcciones, predominando la orientación NE-SO (Fotografía 2A).

Posteriormente, afloran diamictitas macizas quienes conforman el 70% de la asociación. Se exhiben en bancos de geometría irregular de hasta 3 m de potencia, con tonos rosados a gris verdosos. Están compuestas por bloques que alcanzan hasta 1 m de diámetro máximo, contenidos en una matriz arenosa de granulometría media. Sus individuos son de composición predominantemente granítica y en ocasiones de composición lutítica, presentando formas subredondeadas-redondeadas de contraste clasto-soportante. En las superficies externas de los afloramientos, puede observarse el desarrollo de clavos de deformación como resultado del reavance del hielo (Fotografía 2B). La asociación finaliza con areniscas guijarrosas de tonos gris blanquecino, estratificadas en bancos de geometría tabular a irregular. En su interior se exhiben guijarros de composición feldespática, de 5 a 8 cm de diámetro. Las estructuras internas que se manifiestan son la estratificación entrecruzada y horizontal, contenidas en bancos de 1.50 m de potencia. El contacto basal con las diamictitas es neto, presentando un techo de geometría difusa (Fotografía 3A).

Interpretación paleoambiental: las diamictitas son depósitos similares y estrechamente relacionados a las tillitas, pero depositados por flujos gravitacionales y corrientes de turbidez (López Gamundi, 1983). La existencia de niveles de diamictitas, estructuras direccionales como estrías y lineaciones en el sustrato local, son evidencias claras de la impronta glacial que

existió. Estos depósitos son generados directamente por el hielo, pero transportados por diferentes tipos de flujos hacia las zonas más profundas de la cuenca. La presencia de diamictitas no estratificadas (macizas) presentes como en este caso, suprayaciendo sobre una superficie erosiva, de tipo pavimento estriado, es indicativa de un episodio glacial subaéreo. El acompañamiento de una matriz de textura arenosa, indica que las condiciones hidrodinámicas estaban representadas por corrientes fluidas asociadas a la masa glacial. En general los depósitos glacimarinos se depositan en cuencas de continua sedimentación y son cubiertos rápidamente por depósitos marinos; por el contrario, los depósitos glaciales depositados subaéreamente están expuestos a la erosión contemporánea. Por su parte, las areniscas guijarrosas, reflejan la existencia de un retrabajamiento fluvial conformando barras y formas de lechos de varias dimensiones.

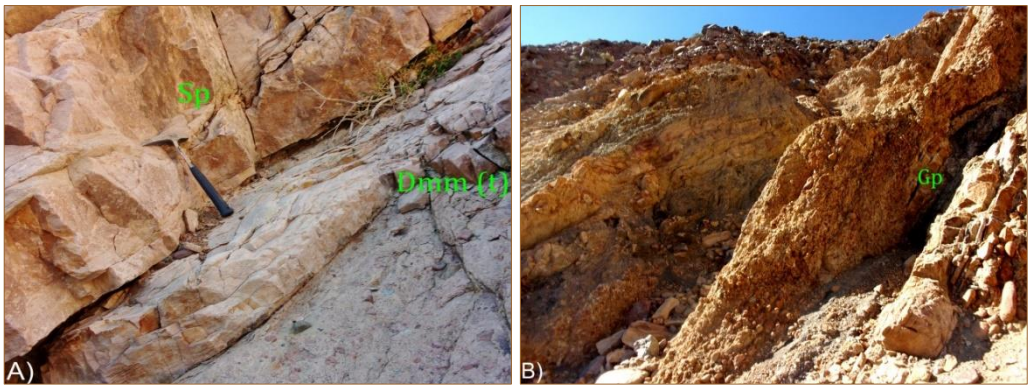


Fotografía 2. A) Estriaciones en el basamento. **B)** Diamictitas matriz-soportante masiva; Formación Agua Colorada.

Asociación de facies 2: diamictitas resedimentadas, conglomerados.

Descripción: a diferencia de la primera asociación, esta suele presentar menor proporción de depósitos diamícticos. Las diamictitas se encuentran finamente estratificadas (Dmm t), acompañadas por depósitos conglomerádicos dominantes, en una secuencia que alcanza 7 m de potencia. Las diamictitas resedimentadas, se presentan en bancos irregulares de tonos rosados a pardos amarillentos, compuestas por clastos de 15 a 20 cm de diámetro, contenidos en una matriz de arenisca guijarrosa de contraste textural matriz-soportante. La composición de sus elementos mayores es de amplia variación (paraconglomerados polimícticos), con predominio local de clastos graníticos, seguidos de fragmentos pelíticos. Por otro lado, se presentan ortoconglomerados polimícticos en bancos con geometría lenticular acrecional, exhibiendo clastos de 10 a 15 cm de diámetro máximo. Manifiestan imbricaciones contenidas en una matriz de arenisca media, que varía en tonos gris verdoso a blanquecinos. El paquete exhibe en su interior capas masivas y estructuras entrecruzadas planares (Fotografía 3B).

Interpretación paleoambiental: los ambientes glaciarios son complejos y se pueden dividir en glacimarinos que abarcan los subambientes de fiordos, canales submarinos, talud y plataforma; y los glaciterrestres conformados por glaci-lacustre, subglacial, glacifluvial y periglacial (Eyles et al., 1983). Esta asociación es típica de perfiles de ambiente de fiordo, con diamictitas resedimentadas en este caso por flujos detríticos. Según la diagnosis que sugiere el tipo de matriz, se tratan de flujos hiperconcentrados de alta energía, que transportaron sedimentos de composición granítica junto a su roca de caja pobremente seleccionada, acompañados de elementos con elevado diámetro (paraconglomerados). Por otra parte, las condiciones hidrodinámicas son diferentes en el período de depositación de los ortoconglomerados. La existencia de estructuras planares, entrecruzadas e imbricaciones de clastos, asociada a una matriz arenosa, sugiere que la sedimentación estuvo dada por la presencia de corrientes fluidas con prevalencia de transporte traccional, probablemente por la presencia de sistemas múltiples canalizados.



Fotografía 3. A) Areniscas guijarrosas. **B)** Conglomerados polimícticos; Formación Agua Colorada.

Asociación de facies 3: pelitas carbonosas, areniscas, calizas negras.

Descripción: en primera ocasión se presentan bancos de areniscas finas de tono gris a blanquecinos, estratificadas en geometría tabular, con 3.80 m de potencia. Están compuestas por granos de cuarzo con abundantes minerales micáceos, que se disponen formando estructuras entrecruzadas tipo “hummocky” (HSC). Estas areniscas presentan cambios litológicos laterales, con presencia de margas con tonalidades amarillo pálido. Su techo presenta geometría erosiva, pero ocasionalmente hay arreglos grano-crecientes, con presencia de óxidos en granos de cuarzos subangulosos. Hacia los topes se observan gradaciones inversas donde se destacan ciclos pelíticos con 17.50 m de potencia. Estos ciclos presentan niveles de areniscas de tonalidad gris rosado, con una granulometría media que aumenta en sentido vertical y poseen continuidad lateral (Fotografía 4A). Los ciclos pelíticos varían en sus tonalidades, desde colores verdes parduzcos en la zona de contacto basal, a tonos negros de composición carbonosa en la sección media y superior, acompañados por calizas micríticas a margosas (M3) con restos de vegetación en buen estado de preservación (Fotografía 4B).

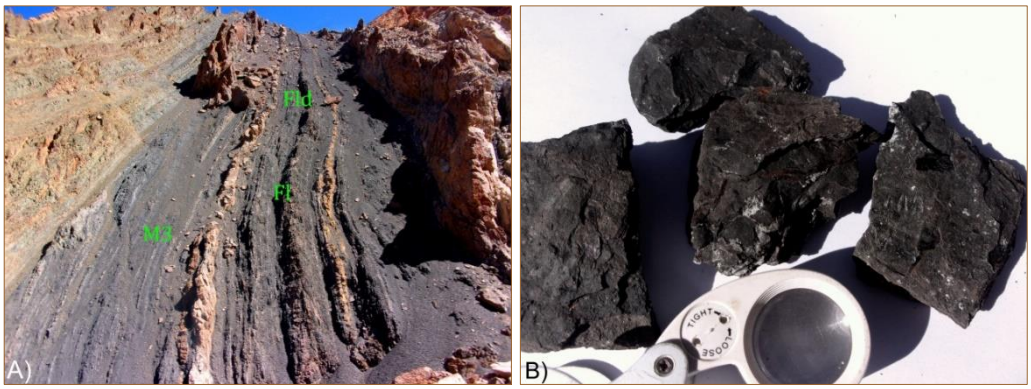
También suele ser común la presencia de óxidos de hierro y azufre en la sección media e inferior del perfil, sumados a eflorescencias con diminutos cristales de sulfatos. En dicha sección se realiza la recolección de muestras a los 27º42'33.7" de latitud sur y 67º56'39.1" de longitud oeste para la realización de su análisis químico.

Las pelitas presentan estructuras que varían desde laminaciones paralelas muy finas (Fl) y onduladas, a nódulos no estructurados de alta porosidad. En ellas son frecuentes los cadilitos (Fld) de 10 a 15 cm de diámetro a cuerpos de gran escala, que perturban la laminación inferior a ellos (Fotografía 5A), compuestos por sedimentitas gris verdosas de mayor predominancia, y en menor medida clastos graníticos. Estos depósitos son muy característicos de fenómenos glaci-marinos (López Gamundi, 1997) que se depositaron por balsaje a partir de masas de hielo flotantes. La asociación finaliza con pelitas intercaladas por areniscas de tonalidades gris verdosas de composición frecuentemente micácea.

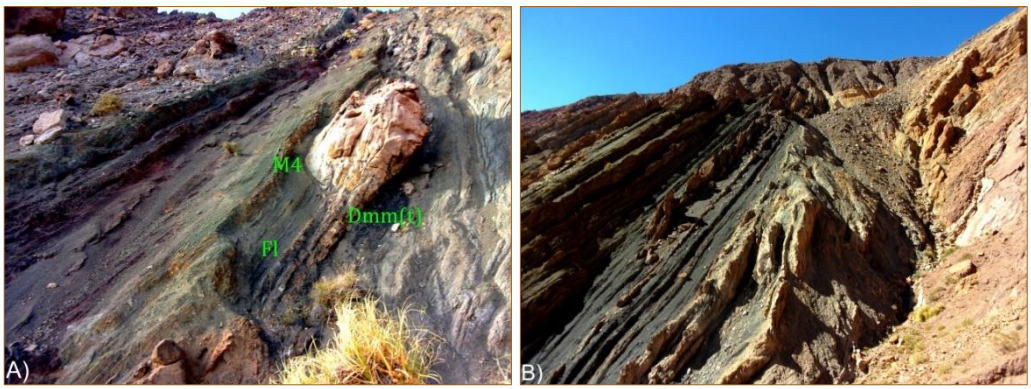
Interpretación paleoambiental: en la formación de este sistema palustre intervienen dos factores: un alto gradiente topográfico del lago, que en este caso estaría representado por un ambiente de fiordo como consecuencia del derretimiento glacial, y las consecuentes descargas altas que recibe el delta que se habría formado en una posición prácticamente somera. El delta, habría estado directamente conectado a los "lóbulos de arena" que se ubicarían sobre el propio talud. La terminología utilizada en estos depósitos fue definida en la Formación Agua Colorada, por Buatois y Mángano (1995), en el sector de la cantera Las Lajas. La mayor parte de las pelitas fueron depositadas por corrientes fluidas, seguido por procesos de decantación, acompañados por restos vegetales (fauna de agua fría) que se sugiere fueron transportados desde zonas costeras y movilizados por flujos de fondo de baja energía (*under flows*). En cuanto a la perturbación por presencia de cadilitos en pelitas, se infiere que la zona de acumulación, podría haber estado ubicada próxima a la línea de costa, en un ambiente de transición, perturbado por las masas de hielo. El buen grado de selección que presentan los cadilitos, se atribuye a procesos de depositación final en medios fluidos o acciones de retrabajamiento parcial del drift glacial. Así mismo, la incipiente estratificación y ordenamiento de clastos en las diamictitas, también presentes en las capas pelíticas, son atribuibles a las denominadas acuatillitas, descriptas por diferentes autores (Schemerhorm,1966; López Gamundi, 1983) y que se habrían formado cerca de la zona de despegue entre la capa de hielo y el fondo lacustre.

Particularmente, esta asociación presenta lóbulos de arena. Mutti et al. (1996) destacaron el rol sobre las avenidas fluviales catastróficas en el control de la depositación fluvial y la importancia de dichos depósitos asociados a cuencas marinas y lacustres someras. La presencia de la estratificación tipo hummocky en estas areniscas, son indicativas de la disminución de velocidad de un flujo de fondo, cargado de arenas finas bajo condiciones de tracción - decantación, seguido de laminación paralela (Zavala, 2004). Dichos depósitos de arena se habrían formado por flujos gravitativos de sedimentos de alta densidad, originados en sistemas fluviales que ingresaron al cuerpo de agua estacionario de transgresión post-glacial. Al ingresar estos flujos se hunden y se mueven cuenca adentro, impulsados por fuerzas gravitativas e inerciales, conformando los denominados flujos hiperpícnicos (*hyperpycnal flow*s) que contribuyen a una

sedimentación turbidítica profunda, definiendo un sistema “fluvio-turbidítico” en menor medida, dentro del sistema glaci-lacustre (Fotografía 5B).



Fotografía 4. A) Vista panorámica de pelitas carbonosas y areniscas de la AF3. **B)** Calizas con trazas de tallos y películas grafíticas. Formación Agua Colorada.



Fotografía 5. A) Vista de dropstone perturbando capas pelíticas. **B)** Vista panorámica de sistema glaci-lacustre, Formación Agua Colorada, provincia de Catamarca.

Asociación de facies 4: pelitas, areniscas, calizas negras.

Descripción: esta asociación esta compuesta por pelitas, areniscas y calizas comprendidas en 21 m de potencia, que guardan estrecha relación con la asociacion anterior. En su seccion basal se exhiben pelitas de tonalidades gris verdoso en contacto normal, que conforman cuerpos tabulares de hasta 2 m de potencia con una marcada laminación horizontal (Fl), que gradan a estratificaciones de mayor espesor en los niveles superiores alternandos con capas milimétricas de areniscas. Los niveles peliticos estan acompañados por oxidos de hierro, pelitas carbonosas y calizas micríticas con restos de plantas (M4) y ocasionalmente margas (M3). Finalmente, hacia el techo de la asociación se destacan niveles lenticulares de sabulitas arcósicas y diamictititas de grano fino, estratificadas en bancos macizos (Dmm t). Las niveles diamícticos poseen textura matriz-soportada con clastos de 5 cm de diámetro máximo de

composición variable: clastos graníticos, y pelitas verdosas. Cabe mencionar, que las pelitas se encuentran consolidadas y fuertemente plegadas conformando un 80 % de la asociación.

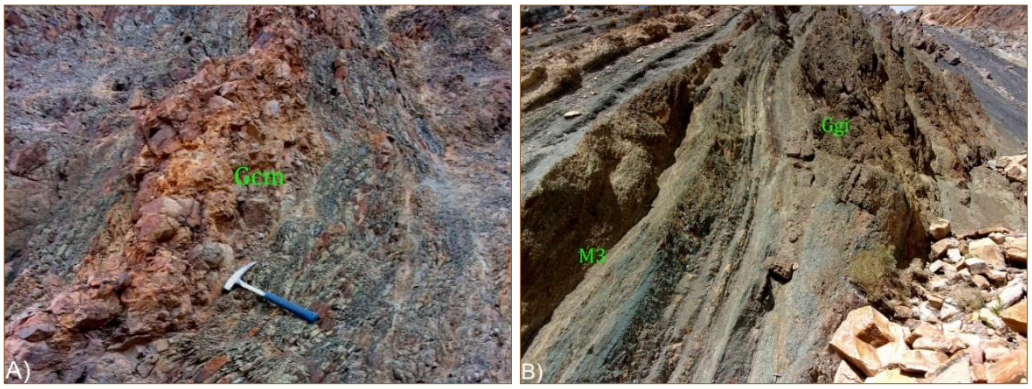
Interpretación paleoambiental: se sugiere que los flujos de superficie (*overflows*), son los agentes que llevarían al interior de la cuenca los sedimentos mas finos por procesos de decantación. En el fondo lacustre dichos flujos puedencombinarse con la accion de flujos de fondo de baja energía (*underflows*), dando como resultado final una alternacia textural en la laminación. De igual similitud a la asocación anterior, las margas y calizas negras micríticas incluyen restos vegetales con buena preservación, infiriendo que dicha materia orgánica fue transportada desde las zonas costeras, con inmediato soterramiento que permitió su preservación. Por último, la presencia de niveles de diamictitas intercaladas en las pelitas, corresponderían a las zonas mas distales de flujos de detritos subácueos.

Asociación de facies5: conglomerados monomícticos, pelitas verdosas.

Descripción: esta asociación está compuesta principalmente por ortoconglomerados de tonalidades verdosas que se encuentran estratificados en bancos lentiformes de 7 m de potencia junto a pelitas infrayacentes. Se presenta en contacto basal erosivo, donde se manifiesta con amalgamientos en sentido grano-decrecientes (Ggi) a niveles pelíticos con laminación horizontal (Fl). En las zonas próximas al contacto basal, se observan pequeños niveles arenosos con estratificación planar (Sp) (Fotografía 6A) y ciclos alternos de margas y pelitas verdosas (Fotografía 6B). Particularmente, se observan lentes de conglomerados penetrando las capas limo-arcillosas, mecanismo que genera estructuras de deformación como laminación convulta, por efectos de la sobresaturación de agua en dichas capas en el momento de la depositación de la fracción psefítica (Limarino et al., 2010). Los clastos presentes en el conglomerado son de composición predominantemente pelítica, seguidos por areniscas verdosas y clastos graníticos. Los individuos de mayor tamaño alcanzan hasta 40 cm de diámetro máximo, de contrastes angulosos a subangulosos en pelitas y redondeados en granitos, contenidos en una matriz arenosa media, de igual composición y color que los fenoclastos pelíticos. El contraste textural es predominantemente clasto-soportado ocasionalmente masivo formando bancos con acreción lateral (Fotografía 7A). Se presentan algunas imbricaciones con orientación predominantemente al SE-NO, manifestando la dirección de las paleocorrientes, destacándose algunos fragmentos de contornos pentagonales y facetados (Fotografía 7B). Finalmente, el techo de la asociación se caracteriza por presentar superficies irregulares con estructuras de carga presentes en el material pelítico. La asociación se contempla en 27.80 m de potencia.

Interpretación paleoambiental: se interpreta que los niveles de conglomerados son el producto del ingreso de depósitos glaciales resedimentados en un ambiente de baja energía, provenientes de áreas positivas adyacentes a la cuenca. La presencia de clastos pentagonales

facetados y el predominio de material de roca de caja con matriz arenosa de igual composición, son evidencias claras de que el transporte habría ocurrido por el desarrollo deflujos friccionales de alta energía. Estos canales subácueos suelen desarrollarse por crecidas excepcionales desde áreas positivas, motivadas por precipitaciones intensas o por fenómenos de súbita ablación del hielo (Limarino et al., 2010). Otro factor que favorece la depositación de estos materiales, es el ascenso glacieustático, el cual proporciona como resultado la formación de un ambiente de fiordo glacial. Por otra parte la silicificación que afecta a estos depósitos, es un proceso contemporáneo que se estima, pudo haber derivado de los fluidos migratorios que acompañan a diques intruidos en la unidad carbonífera.



Fotografia 6. A) Conglomerados monomicticos. **B)** Alternacia de pelitas verdosas con margas; Formación Agua Colorada.

Fotografía 7. A) Conglomerados clasto-soportados. **B)** Vista de contornos facetados; Formación Agua Colorada, provincia de Catamarca.

Asociación de facies 6: conglomerados polimícticos acanalados, areniscas.

Descripción: los ortoconglomerados se presentan en bancos lentiformes amalgamados, desde 3 m de potencia. Están compuestos por clastos de pelitas silicificadas, metacuarcitas y fragmentos de areniscas verdosas, estratificados en cuerpos lenticulares de base erosiva.

Dichos individuos están contenidos en una matriz de composición diferente, dominantemente arcósica con fenocristales de cuarzo, líticos de areniscas y en parte material pelítico, exhibiendo un contraste textural clasto-soportado (Ggi). Los individuos muestran formas redondeadas a subredondeadas de pelitas negras silicificadas y granitos, y formas subangulosas en areniscas verdes. En la sección basal, el perfil grada en sentido inverso, desde psefitas seguidas por areniscas medias a finas de composición micácea (Sgi). Hacia los topes, las fracciones se alternan con pelitas donde cada vez son más frecuentes las sabulitas arcósicas macizas (Sm) con superficies muy meteorizadas. Entre los niveles de los depósitos psamíticos se exhiben pelitas verdosas laminadas (Fl) que varían de tonalidad y composición, desde tonos violáceos y negros de composición carbonosa; todo el paquete conforma 13 m de espesor (Fotografía 8A). Ocasionalmente las pelitas presentan niveles de carbón(C) de tamaños centimétricos, exhibiendo trazas de raíces que sugieren la existencia de paleosuelos.

Interpretación paleoambiental: la transición de los depósitos psefíticos de alta energía depositados en una superficie erosionada, demuestran una transición a sistemas fluviales de menor energía. El sistema fluvial desarrolla depósitos de canal y playas de inundación, asociados al desarrollo de paleosuelos, próximos al sistema en general. El perfil indicado muestra una clara evidencia de las fluctuaciones climáticas en el momento de la deposición.

Asociación de facies 7: sabulitas, conglomerados, pelitas.

Descripción: la asociación está dominada por conglomerados (Ggi), seguido de areniscas gruesas arcósicas de tonalidad gris blanquecina a rosadas y en menor medida pelitas laminadas (Fl). La fracción psamítica es definida como sabulitas debido a las características que se observan (clasificación de Doott, modificacada por Pettijhon, 1987). Está compuesta por cuarzo dominante y feldespatos levemente cloritizados, de contrastes angulosos a subangulosos. La textura de las sedimentitas es clasto-soportante, lo cual dificulta la descripción de la matriz que se exhibe en bajas proporciones. Se identifican cementos silíceos y ferruginosos, también presentes en forma de patinas hematíticas alrededor de los clastos, generalmente entre sus contactos. El color de las sedimentitas es variable, se manifiestan tonalidades oscuras en formas bandeadas, por aporte de litoclastos de origen máfico y sulfuros subordinados. Los sedimentos se estratifican en cuerpos tabulares a lentiformes de hasta 4 m de potencia, relativamente muy consolidados. La mayor parte de los bancos exhibe diferentes estratificaciones entrecruzadas, tabular planar (Sp), en artesa (St), y en menor medida estratificación horizontal (Sh). Hacia los topes, las sabulitas se encuentran fuertemente meteorizadas y gradan en sentido decreciente a areniscas medias gris blanquecinas, que poseen niveles de pelitas carbonosas con estructuras laminares y moldes de raíces. Estos niveles poseen 24.80 m de espesor y se disponen en contacto superior con conglomerados de tonalidad violácea que se amalgan formando estratificaciones lentiformes. Estos conglomerados poseen de 6 a 14 m de espesor, presentando textura predominantemente clasto-soportada con individuos de 7 cm de diámetro máximo, compuestos por pelitas oscuras silicificadas de

contrastes subangulosos, contenidos en una matriz limo-arenosa. La asociación se contempla en 60 m de potencia aproximadamente, exhibiendo zonas suprimidas por falla (Fotografía 8B).

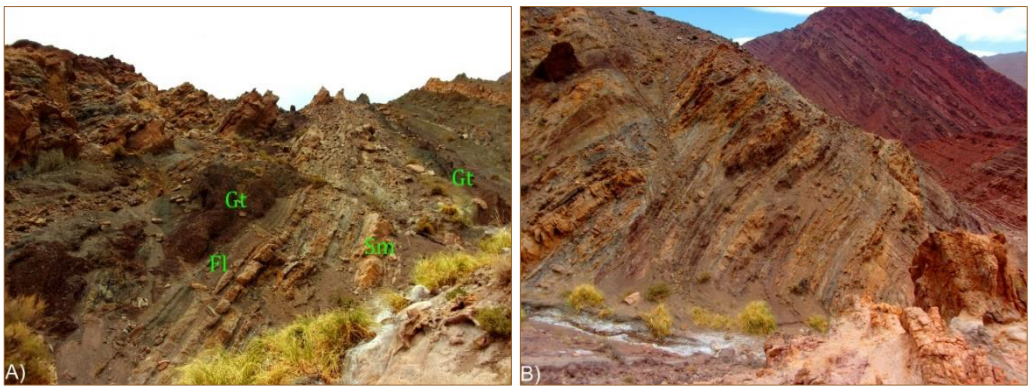
Interpretación paleoambiental: esta asociación fue interpretada como depósitos resultantes de fajas fluviales en canales múltiples, separados por planicies de inundación de variable continuidad lateral. La presencia de pelitas carbonosas, sugieren un ambiente asociado a cuerpos de agua de pequeña dimensión dentro de la cuenca (Limarino et al., 2010), con ríos anastomosados de moderada a baja interconexión de canales. Los conglomerados finos son indicadores de condiciones de reapertura de esos cursos fluviales dentro de las fajas de canales estables. Cabe destacar, que la procedencia y área fuente de las sabulitas arcósicas presentes en la asociación es de compleja interpretación. Las areniscas de la sección inferior de la Cuenca Paganzo abarcan un amplio rango textural y composicional, determinando a través de investigaciones que serían el resultado en función del tipo del basamento de la cuenca y cambios en las áreas de procedencia que se registraron a lo largo del tiempo (Andreis et al., 1975; López Gamundi et al., 1989; Net, 1999). La composición de las areniscas varía fuertemente de acuerdo a la ubicación paleogeográfica. En base a composiciones modales y contenidos de matriz, Net (1999) define tres grupos de areniscas en la cuenca: arenitas de afinidad feldespática, arenitas de afinidad lítica y arenitas fangosas. Las características de las sabulitas arcósicas en el presente trabajo, se asemejan al grupo de arenitas con afinidad lítica. Éstas incluyen grupos de areniscas con menos del 15% de matriz y mayores contenidos de fragmentos líticos que feldespatos. Estos fragmentos líticos en las areniscas tienen afinidad plutono-metamórfica, los cuales pueden proceder del basamento precordillerano o pampeano.

· RELACIÓN ESTRATIGRÁFICA: DIQUES ASOCIADOS

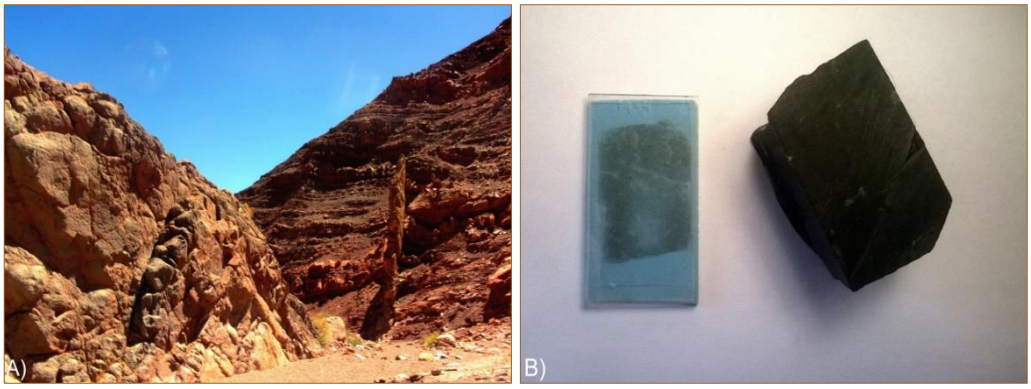
Descripción: en el área de trabajo se identificaron diques intruídos en forma discordante a la sección media y superior de la secuencia carbonífera. Se caracterizan por emplazarse perpendicular a la estratificación sedimentaria, con una orientación NE-SO a los 27º42’32.9” de latitud sur y 67º56’35.9” de longitud oeste (Fotografía 9A). Presentan contactos netos sin generar una deformación considerable en las sedimentitas, lo cual sugiere que, en el momento de la intrusión, la permeabilidad que presentaban dichos sedimentos fue predominantemente baja. Cabe destacar, que son cuerpos de gran escala y afectan también a las sedimentitas de edad pérmica. Se realizó la recolección de muestras a los 27º42’30.48” de latitud sur y 67º56’30.44” de longitud oeste, para su respectiva preparación y descripción petrográfica (Fotografía 9B). La misma sugiere que dichos intrusivos corresponderían a diques de composición diabásica *(Anexo 1, Muestra Nº1).* Trabajos previos del área, identifican la presencia de diques diabásicos lamprófidos cuarcíferos y filones capas, atribuidos a la Formación Vaquerano, asignando edad Triásico-cretácico en base a relaciones estratigráficas (Turner, 1964). Por otro lado, Rubiolo et al. (2001) describen en la hoja geológica 2769-IV

Fiambalá, la presencia de vulcanitas afectando las arcósas presentes en el Carbonífero superior.

Interpretación paleoambiental: el ciclo gondwánico abarca mayormente períodos eruptivos representados por la provincia magmática Choiyoi, se manifiesta desde el Carbonífero temprano hasta el Triásico temprano, siendo el Pérmico y Triásico temprano el lapso de mayor actividad magmática (Llambías, 2011). Según el registro geológico, durante el Triásico tardío se produce la extensión que marca un cambio importante del régimen tectónico de la región, etapa de apertura, que da lugar a la formación de intrusivos a nivel regional y posterior conformación de cuencas y depocentros (Llambías, op cit). Por lo tanto, se deduce en que estos cuerpos responden a estas manifestaciones ocurridas durante el periodo Mesozoico. Estas aperturas provocaron fallas estructurales a nivel regional, siendo las secuencias más viejas, las que responden en forma de ascensos y vasculamientos.



Fotografía 8. A) Vista de conglomerados y psefitas de la AF 6. **B)** Vista de la sección superior de la Formación Agua Colorada.



Fotografía 9. A) Vista panorámica de diques intruídos en la sección superior de la unidad carbonífera. **B)** Preparación de muestra pulida y corte delgado, Formación Agua Colorada.

4.1.2. SEGUNDO RELEVAMIENTO

El segundo relevamiento de la unidad carbonífera, se efectuó en los afloramientos ubicados a los 27º41'47.7" de latitud sur y 67º56'51.43" de longitud oeste, a 2 km de distancia del primer relevamiento efectuado (Fotografía 10). El trabajo consistió en la descripción de aspectos sedimentológicos y características estratigráficas que permitieron la confección de una sección a detalle de las dos primeras asociaciones de facies sedimentarias, siendo las demás asociaciones de la unidad, poco representativas en el área para su levantamiento *(Anexo 2, Perfil Nº3).* A continuación, se detallan las siguientes características observadas:

Fotografía 10. Vista panorámica de los afloramientos de la Formación Agua Colorada.

Asociación de facies 1: pavimento de bloques, areniscas.

Descripción: se reconoce una superficie de pavimento de bloques a través de 150 m aproximados de extensión aflorante, tapizada con clastos de composición dominantemente granítica. El tamaño de los individuos varía desde guijones hasta bloques, de formas subangulosas a subredondeadas, con ejes paralelos al plano. Por debajo de la superficie del pavimento se hallan depósitos de diamictitas masivas estratificada (Dmm s) y areniscas incluidas en ellas. El contacto basal de estas sedimentitas es de carácter tectónico, yaciendo sobre la Formación Suri, de edad ordovícica (Fotografía 11A).

La superficie de bloques se encuentra parcialmente cubierta por areniscas de tonalidad gris blanquecina, estratificada en bancos de 1 m de espesor. Su granulometría varía de media a fina, marcando arreglos grano-decrecientes con estructuras internas de oscilaciones (Srw) de baja amplitud de onda, que se disponen en capas milimétricas y recubiertas por material pelítico (Fotografía 11B). También son frecuentes en dichas superficies, surcos, estrías, y una red de fracturas que afectan tanto las areniscas como el pavimento de bloques, producto de movimientos traccionales.

Interpretación paleoambiental: los pavimentos de bloques son estructuras que se producen como consecuencia de la deformación de un sedimento saturado en agua, característico de un till inferior (Boulton y Hindmarsh**,** 1987). La mayoría de estas estructuras de origen glacial, están en contacto con facies de diamictitas tanto macizas como estratificadas (Eyles et al., 1993; Clark, 1991; López Gamundi y Martínez, 2000). Se infiere esta superficie de pavimento como el resultado de la erosión de diamictitas con posterior relleno de las superficies por corrientes fluviales. Se estima que su formación estuvo dada en posición subglacial, debido a las evidencias que se presentan, como los clastos paralelos a la superficie, aplanamientos, surcos y estrías que demuestran una intensa abrasión in situ del depósito por material subyacente y por el movimiento del till o hielo suprayacente rico en detritos.

Las areniscas con estructuras de ripples por oscilaciones, son indicadoras de las condiciones subácueas de sedimentación, siendo una superficie que demarca los cambios generados por los mecanismos de deshielos. Este tipo de estructura permite aplicar criterios de polaridad vertical para dichos estratos (Vera Torres, 1994), siendo posible atribuirlos como parte del techo de los depósitos glacigénicos. El pavimento de bloques, adosado a la unidad ordovícica representa una discordancia regional muy característica de las cuencas de Sudamérica. Frecuentemente, la base de las sucesiones carboníferas, yacen en discordancia regional sobre unidades de distintas edades, desde ordovícicas a devónicas (Net y Limarino, 1999).

Fotografía 11. A) Pavimento de bloques. **B)** Ondulitas de oscilación en areniscas medias, Formación Agua Colorada.

Asociación de facies 2: pelitas, mantos de carbón, sabulitas.

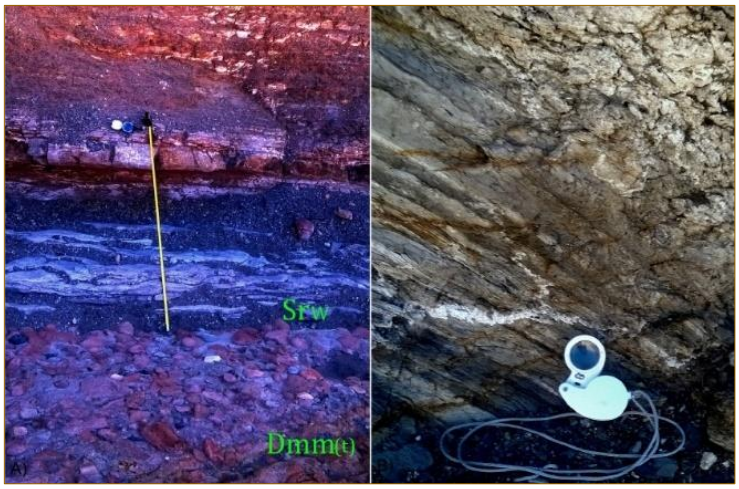
Descripción: la secuencia presenta un contacto basal de carácter neto en relación a los depósitos infrayacentes, donde se inicia con niveles de areniscas medias que gradan a depósitos de menor granulometría, estratificados en bancos de 7 m de espesor (Fotografía 12A). La sección media de la asociación presenta areniscas de granulometría media y pelitas carbonosas, formando estratificaciones gradadas que se disponen en capas centimétricas, conformando los denominados varves glaci-lacustres (Fotografía 12B). Estas estructuras

demuestran una disminución en su espesor desde su base hacia su techo, una característica muy frecuente en varves glaciarios debido al retroceso del hielo (Pettijhon, 1975).

En los topes de la asociación, las pelitas carbonosas se disponen en forma de agregados con dominios de alta porosidad exhibiendo eflorescencias blancas, probablemente sulfatos y óxidos de hierro, en contacto difuso con un manto de carbón que posee 3.50 m de espesor, antiguamente explotado (Fotografía 13A). La disposición geométrica de los niveles carbonosos es mantiforme, en capas más o menos densas y macizas a escala afloramiento. Las muestras de mano exhiben fractura concoidea y fisilidad interna de brillo graso a lustroso, acompañado por venillas de tonalidad rojiza que se infiere podrían tratarse de resinas orgánicas fosilizadas (Pettijhon, op cit). El contacto del techo es de carácter irregular, donde subyacen areniscas arcósicas con intercalaciones de pelitas carbonosas estratificadas en bancos de 2 m de espesor, siendo cada vez más frecuentes las psefitas hacia los topes. Se realiza la recolección de muestras en la boca de un socavón del manto carbonífero, ubicado a los 27º41’43.1” de latitud sur y 67º56’53.3” de longitud oeste, a 2735 msnm, para su respectivo análisis geoquímico.

Interpretación paleoambiental: posterior a la sedimentación de la primera asociación de facies, se establecen cambios en las condiciones paleoclimáticas que infieren un retroceso glacial. La inundación postglacial inicia un episodio de sedimentación que se documenta en aguas profundas, por debajo del alcance de corrientes y olas, en zonas pelágicas de la cuenca, donde la tasa de sedimentación aumenta a causa de los procesos de decantación y balsaje. Las pelitas carbonosas presentes en los varves, son el resultado de microfaunas subacuáticas presentes en las zonas más profundas, que se intercalan con la decantación de sedimentos más gruesos, para dar lugar a su estructura gradada. Por su parte, la materia orgánica terrestre fue depositada en un ambiente palustre en un lapso de sin sedimentación clástica, que permitió su formación y acumulación, siendo los procesos diagenéticos y de soterramiento somero, que dieron origen a la formación carbón sub-bituminoso. Los cambios de subsidencia en la cuenca, se manifestaron por el aporte de las psefítas de alto régimen fluvial, siendo las zonas más profundas de la cuenca las que reciben frecuentemente el aporte.

Las secuencias se relacionan a procesos y flujos gravitativos de sedimentos que ingresan a cuencas marinas o lacustres someras, por mecanismos definidos como avenidas fluviales catastróficas (Mutti et al., 1996). Los depósitos resultantes en áreas de plataforma o pelágicas, quedan representados por espesas acumulaciones de cuerpos arenosos tabulares, también denominados lóbulos de arenas (Buatois y Mángano, 1996) con estratificación entrecruzada, que se interdigita con sedimentos de menor granulometría, como los presentes en dicha área (Fotografía 13B).



Fotografía 12. A) Vista de litofacies. **B)** Varves glaci-lacustres con predominio de pelitas, AF2. Formación Agua Colorada.

Fotografía 13. A) Vista panorámica de mantos de carbón, donde se visualizan viejas explotaciones. **B)** Alternancia de areniscas guijarrosas y finas con estructuras tipo hummocky; resultantes de procesos fluviales gravitativos; Formación Agua Colorada.

4.2. ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN EL CUERNO

En el presente trabajo se efectuó el levantamiento de datos y características estratigráficas en los afloramientos correspondientes a la unidad pérmica ubicados sobre Ruta Nacional 60, a partir de los 27º42'10.6" de latitud sur y 67º56'31.5" de longitud oeste (Figura 8). Dichos aspectos permitieron establecer que las facies sedimentarias presentes en la sección basal, difieren del resto de la unidad pérmica que representa a la sección superior del Grupo Paganzo, presentando las características estratigráficas y petrográficas que se asemejan a la Formación El Cuerno.

Las características estratigráficas, sedimentarias y petrográficas, permitieron definir las dos siguientes asociaciones de facies sedimentarias. Para su descripción se consideró la nomenclatura, indicada en la metodología correspondiente (página 23), con sus correspondientes perfiles estratigráficos *(Anexo 2, Perfil Nº4).* A continuación, se detallan las

asociaciones de facies sedimentarias definidas para esta última formación representando la sección basal, de las secuencias pérmicas en el área de estudio:

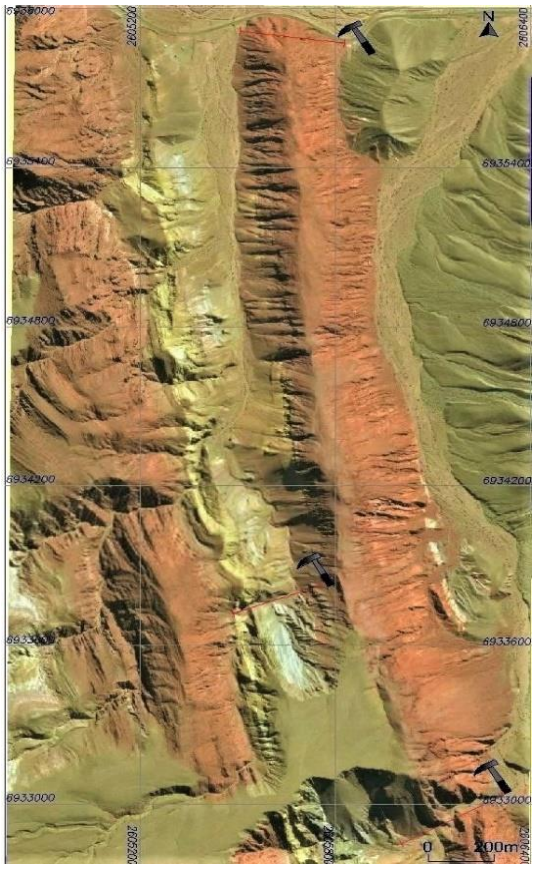


Figura 8. Ubicación de las secciones estratigráficas de la Formación El Cuerno y De la Cuesta (Pérmico).

Asociación de facies 1: areniscas, fangolitas masivas.

Descripción: esta asociación se caracteriza por presentar areniscas arcósicas de tonalidad rosada, depositadas en bancos tabulares estratificados (Sp). Están formadas por partículas de tamaño grueso a medio, compuestas por feldespato potásico, cuarzo cristalino de contraste subanguloso, y filosilicatos, exhibiendo en forma esporádica capas de yeso con disposición milimétrica. Hacia los topes de la asociación, las areniscas gradan en sentido decreciente a fangolitas de tonalidad castaña con estructuras inicialmente masivas (Fm), donde son frecuentes los niveles de yeso cristalino. Las fangolitas se disponen con mayor frecuencia y espesores en sentido vertical, alternándose con areniscas y en disposición laminar (Fl). La asociación se contempla en 7.50 m de espesor finalizando con un techo de contacto neto a difuso, perturbado por depósitos vulcaniclásticos suprayacentes.

Asociación de facies 2: depósitos vulcaniclásticos, areniscas arcósicas.

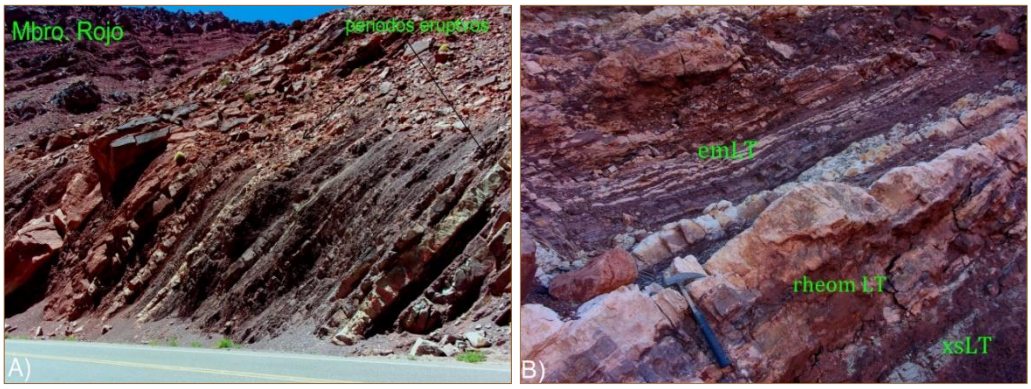
.

Descripción: en primera ocasión se presentan tobas lapillíticas reomórficas (rheomLT), representadas por ignimbritas masivas de alto grado de soldamiento (Llambías, 2003) que se extienden mantiforme sobre toda la unidad carbonífera, y en contacto basal difuso sobre areniscas arcósicas (Fotografía 14A). Por encima de estos depósitos, se desarrollan niveles de fangolitas con alto contenido en minerales micáceos, que se alternan con depósitos de caída, representados por tobas estratificadas (xsLT) que desarrollan gradaciones inversas a ignimbritas de bajo grado de soldamiento (emLT), quienes pasan nuevamente a un alto grado. Particularmente, en las zonas de contacto los materiales líticos de composición limo-arcillosa se adosan fuertemente soldados a las tefras, cubriéndolos en su total extensión (Fotografía 14B). Estos depósitos clásticos se fueron incorporando a la matriz piroclástica conformando los denominados fragmentos líticos sedimentarios (FLs) observados también a nivel microscópico. Las ignimbritas desarrollan estructuras internas de deformación, denominadas fiammes (Fm) fragmentos pumíceos aplastados y estirados, que se disponen en forma paralela a la depositación y que pueden ser observadas en muestras macro (Fotografía 15A). La secuencia conforma 10 m de espesor, finalizando con niveles de tefras intensamente meteorizados. En segundo lugar, afloran areniscas arcósicas de tonalidad rosada estratificadas en bancos tabulares, con estructuras internas de ripples de corrientes de baja amplitud de onda en la superficie basal, y laminación horizontal a ondulada. Su composición consta de granos de feldespato potásico, cuarzo, de contraste subredondeados retransportados. Hacia los topes, la asociación finaliza en bancos de areniscas que se disponen en contacto con lutitas verdosas y fangolitas de tonalidad parda muy meteorizadas con superficies de desecación. Cabe destacar, que los niveles superiores presentan nuevamente alternancias de depósitos piroclásticos de iguales características que los primeros afloramientos.

Interpretación paleoambiental: las ignimbritas son depósitos ocasionados por flujos piroclásticos (Cas y Wright, 1993), desencadenados por el colapso de la parte inferior más densa de la columna eruptiva, o bien por colapso o desintegración de un domo (Llambías, 2003). En esta asociación se realizó el muestreo de los depósitos piroclásticos presentes confines petrográficos, donde las características microscópicas *(Anexo 1, Muestra Nº2)* sugieren que los estadíos eruptivos se manifestaron por mecanismos de transporte de flujos piroclásticos, debido a la presencia de estructuras fluidales y deformacionales, originados por procesos de mesogenesis (Scasso y Limarino, 1997) observadas tanto en lámina delgada como en muestra pulida (Fotografía 15B). La clasificación modal sugerida para este tipo de roca se encuentra dentro de los parámetros y características típicas de una toba lapillítica por decantación (clasificación de Teruggi et al., 1970).

Este tipo de ignimbritas presentan un alto grado de soldamiento que sólo puede producirse a altas temperaturas. La temperatura del flujo piroclástico se puede apreciar en forma cualitativa de acuerdo con la densidad de las rocas, que depende del grado de soldamiento, y cuyo efecto es disminuir la porosidad. Cuanto mayor es la temperatura menor es la densidad de las rocas

(Llambías, 2003). Este mecanismo produce la incorporación de fragmentos líticos de los sedimentos hospedantes a la matriz tobácea, como puede observarse en este caso. El abundante material fino y de cristaloclastos y el bajo contenido en pómez, son características típicas de la acción de flujos piroclásticos como mecanismo de transporte. A su vez los depósitos de ignimbritas están acompañados por tobas lapillíticas estratificadas presentes como depósitos de caída, que con frecuencia se interdigitan formando secuencias complejas de cuerpos tabulares y continuos. La presencia de gradaciones inversas (transición de xsLT a em LT) sugiere variaciones en la intensidad de los estadíos eruptivos. De acuerdo a las características estratigráficas y petrográficas realizadas en el presente trabajo, se estima de manera tentativa que dichos depósitos eruptivos corresponderían en parte a la Formación El Cuerno definida por González Díaz (1971). Los estadíos inter-eruptivos de esta asociación están representados por sistemas fluviales, playas de inundación o lacustres proximales, con litofacies que sugieren niveles bajos de agua en exposición, en un entorno hipersalino y que a nivel regional representan disminución del vulcanismo en un estadio generalizado de subsidencia en el área estudiada.



Fotografia 14. A) Vista del estadíos inter-eruptivospresentes, en la unidad Permica. **B)** Facies definidas en la secuencia.

Fotografía 15. A) Muestra de mano donde se visualiza componentes y estructuras piroclásticas. **B)** Preparación de muestra pulida y corte delgado.

- **ANTECEDENTES DE LA FORMACIÓN EL CUERNO**

Esta unidad conforma un extenso bloque entre Laguna Tres Quebradas, Laguna Verde y Valle Ancho, compuesto por secuencias volcano-sedimentarias y vulcanitas ácidas a mesosilícicas. Koukharsky (1969) describe secuencias de rocas volcánicas ácidas y mesosilícicas en la localidad de Tres Quebradas, a quien González Díaz (1971) designa como Formación El Cuerno a rocas de igual similitud en el filo homónimo al oeste de Cazadero Grande. Dataciones por el método 40Ar/39Ar en biotita sobre muestras en territorio chileno, al oeste del volcán Tres Quebradas, indican edades pérmicas 264 ± 5 Ma y 267 ± 5 Ma (Mpodozis et al., 1998), que se correlacionan con la Formación Río Tendal de la hoja geológica 14C Cerros Cuminchango (Maisonave, 1979). Dicho magmatismo es equivalente del Grupo Choiyoi presente en la Cordillera Frontal. La secuencia vulcano-sedimentaria aflorante en la sección basal de la Formacion De la Cuesta (Pérmico) se halla en sentido discordante a la Formación Agua Colorada y en contacto normal a la Formacion De la Cuesta.

A partir del Cisuraliano se desarrolló en el sector chileno un complejo volcánico-sedimentario denominado Grupo Peine, cuya edad se extiende hasta el Triásico. Estos depósitos se acumularon en la cuenca de intrarco relacionada con el arco magmático desarrollado a lo largo de la faja andina. La actividad de este arco fue de tal magnitud que sus eyectos se intercalan con las secuencias pérmicas de la Cuenca Madre de Dios-Arizaro, Cuenca Paganzo, San Rafael, Cuenca del Paraná y la Cuenca de Karoo en sudáfrica (Benedetto, 2010). Este magmatismo es reconocido en el ámbito de la Cordillera Frontal, equivalente al Grupo Choiyoi, conocido como la Formación Pantanoso en territorio chileno (Mercado, 1982). Este episodio está representado por manifestaciones volcánicas y piroclásticas (Formación El Cuerno) y plutónicas (Pórfido granítico de la Sierra Pintada – Vidal Gormáz e intrusivos gábricos). Tales secuencias se desarrollan sobre el margen suroccidental de Gondwana, durante la transición entre la amalgamación final de Pangea y el inicio de su fragmentación. Las cuencas del margen oeste están asociadas a una actividad magmática que acompañó el episodio extensional que tuvo lugar a lo largo del margen activo de Gondwana durante el Pérmico y Triásico temprano (Llambías et al., 1993, López Gamundi, 1989; Limarino et al., 2006).

4.3. ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN DE LA CUESTA

La sección superior del Grupo Paganzo está representada en la provincia de Catamarca por los depósitos de la Formación De la Cuesta (Turner, 1964; 1967) presentes en el sector de Las Angosturas, departamento Tinogasta, a la cual se le asigna edad Pérmico temprano (Césari y Gutiérrez, 2001) a partir del hallazgo microflorístico realizado en el valle de Chaschuil (López Gamundi et al., 1994). Esta unidad es equivalente a los afloramientos de Formación De la Cuesta ubicados en los nevados de Famatina, a las secuencias de la Formación La Colina (Azcuy y Morelli, 1970) ubicadas en la Sierra de Sañogasta, y a la Formación Patquía aflorante en el área de la Sierra de Maz, provincia de La Rioja.

4.3.1. MIEMBRO ROJO

La caracterización a detalle de los sistemas depositacionales continentales fluviales y eólicos presentes en este miembro, fue indispensable para entender la dinámica del sistema. El levantamiento de rasgos estratigráficos y sedimentológicos efectuados en los afloramientos ubicados sobre Ruta Nacional 60, a los 27º42'10.5" de latitud sur y 67º56'29.2" de longitud oeste, permitieron obtener las siguientes tres asociaciones de facies sedimentarias para el Miembro Rojo, considerando la nomenclatura detallada en metodología (página 24), y su correspondiente perfil estratigráfico *(Anexo 2, Perfiles Nº5 y 6).*

Asociación de facies 1: areniscas, arcilitas.

Descripción: esta asociación comprende aproximadamente un 60 % de la unidad y está conformada por areniscas arcosas alternadas con arcilitas y mudstones, que se presentan en bancos tabulares estratificados, con espesores superiores a 2.5 m. El contacto basal de esta asociación con las vulcanitas presentes en las asociaciones anteriores, es de tipo gradacional. Las areniscas se presentan en bancos masivos de contactos netos y tamaños granulométricos variables, que oscilan de medios a finos, compuestos principalmente por cuarzo, feldespato potásico y micas. El contraste textural es matriz-soportante, con bancos de espesores cada vez más ocurrentes hacia el nivel superior. Se observa en sus topesun marcado cambio textural interno grano-decreciente, con presencia de laminaciones horizontales (Fl) y ondulitas (Sr) de bajo régimen (Fotografía 16A).

Se infiere, que las arcilitas son de tipo arcilitas arenosas (clasificación de Folk, 1970). Se presentan en primera ocasión con tonalidades castañas, variando en los niveles superiores a tonos verdosos, por presencia de filosilicatos secundarios (cloritas o glauconitas) que le otorgan el respectivo color. Dichas pelitas presentan baja a nula fisilidad. En los topes de los estratos son apreciables las superficies con grietas de desecación indicadoras del techo del mismo, sometido a condiciones de insolación y desecación (Fotografía 16B). Esta superficie tiende a constituir una discontinuidad erosiva, de gran escala en la unidad, representando ciclos depositacionales de 49.5 m de espesor.

Asociación de facies 2: areniscas, limos, arcillas.

Descripción: en la sección media del perfil, se observan bancos tabulares de areniscas finamente estratificadas, con alternancias granulométricas que varían desde limos arenosos a pequeños niveles de arcosas dominantes en las secciones basales de las estructuras, siendo las laminaciones de bajo ángulo (Sl) las más prominentes (Fotografía 17A). Tanto los niveles

pelíticos como las areniscas están acompañadas por la presencia esporádica de concreciones carbonáticas (Fotografía 17B). Sobre los topes se presentan arcilitas arenosas, que se alternan con bancos de areniscas que exhiben estratificaciones tipo hummocky (HSC) (Fotografía 18A). La asociación conforma ciclos alternos con una potencia aproximadamente de 260 m de espesor, datos obtenidos a través de coordenadas en GPS.

Interpretación paleoambiental: la deposición de estas facies se atribuye a cuerpos de agua poco profundos que se desarrollaron durante períodos de inundaciones episódicas en planicies de inundación. Los paquetes con intervalos heterolíticos formados por finas alternancias de fangos y areniscas de grano fino, se atribuyen a un sistema fluvial efímero no canalizado, por manifestación de flujos laminares crecientes (*sheet flows*). Los depósitos de grano fino, se consideran el producto de suspensión en los cuerpos de agua sometidos a una última etapa de desecación, infiriendo que el sistema transportaba gran cantidad de carga en suspensión, con frecuentes desbordamientos que introducían en forma constante la carga de las planicies fangosas. Por otro lado, la sección media del perfil representada por manifestaciones de areniscas de mayor granulometría, con estratificación planar y entrecruzada de bajo ángulo y tipo hummocky, demuestran que los episodios de crecientes eran de variable régimen de flujo.

La estratificación planar en este caso, representaría flujos de alto régimen indicativos por presencia de minerales pesados y lineación parting. Se cree que el origen de las laminaciones unidireccionales estaría relacionada a flujos ubicados próximos al lecho (Zavala, 2004).

Los productos secundarios ubicados en el techo de la asociación, son el resultado de la transformación de minerales de arcilla durante la diagénesis. Los sulfatos acompañados por grietas de desecación, se infiere corresponderían a la última etapa de sedimentación de las pelitas en condiciones hipersalinas. El techo de la asociación representaría una discontinuidad erosiva a gran escala, producida por factores alocíclicos, particularmente atribuida a cambios climáticos con progresiva aridización.

Asociacion de facies 3: depósitos de interdunashúmedas (ID).

Descripción: se reconocieron principalmenteareniscas finas con estratificacion horizontal (Sh) y laminaciones de geometría lenticular, formadas por caída de granos (*grain fall lamination*) y flujos de granos (*sheet fall lamination*) (Fotografía 18B). Esporádicamente se superponen laminaciones ondulíticas integradas por areniscas de granulometría media, de bajo régimen de flujo (Sr). Cabe señalar que las litofacies exhiben superficies de erosión, que delimitan los depósitos eólicos de los sistemas fluviales.

Interpretación paleoambiental: de acuerdo a las características litofaciales, esta asociación reúne las condiciones que se manifiestan en ambientes de interdunas húmedas, según la clasificación de Kocurek (1981). Las áreas interdunares se desarrollan entre dunas individuales,

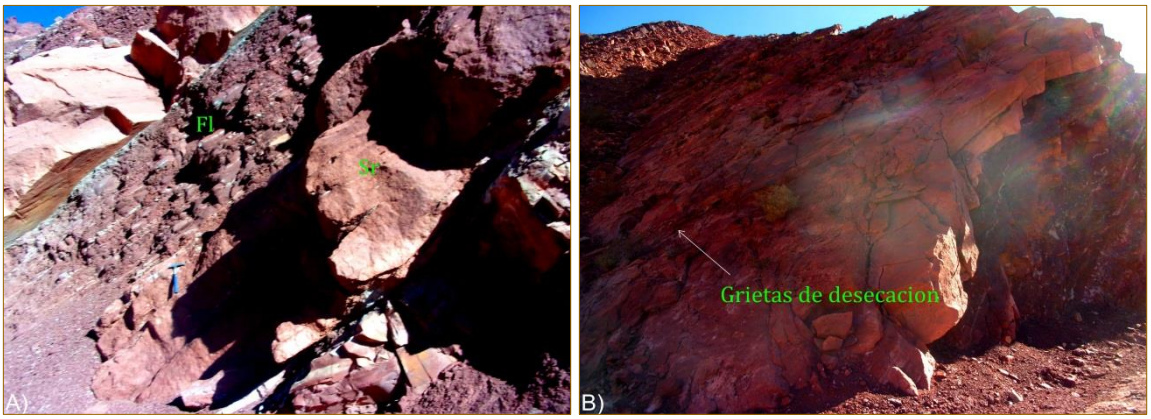
dentro de los campos de dunas y son áreas relativamente planas. Se clasifican según la importancia relativa del agua en el proceso sedimentario (Ahlbrandt y Fryberger, 1982). Los lechos planos presentes en la asociación (Sh) generalmente se originan por desaceleración del viento (Fryberger y Ahlbrant, 1979). Las superficies erosivas son rasgos muy notables e indicadoras de los cambios de área fuente. La existencia de una cierta escorrentía superficial en algunos casos origina la presencia de canales de pequeño tamaño y ripples de corriente. En general estas áreas se caracterizan por la presencia de sedimentos arenosos ricos en arcillas. La preservación potencial de estos sedimentos interdunares es bastante alta, puesto que quedan normalmente cubiertos por el movimiento de las dunas, lo que incrementa las oportunidades de preservación en el registro estratigráfico (Ahlbrandt y Fryberger, op cit).

Asociación de facies 4: depósitos de dunas(SP).

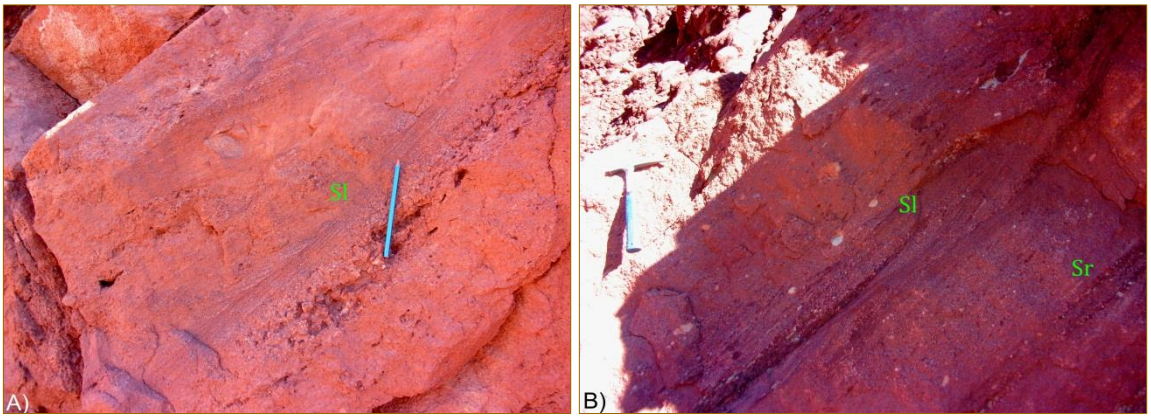
Descripción: el contacto basal de esta asociación se caracteriza por ser difuso con presencia de grietas de desecación inicialmente (Fotografia 19A), y posteriormente areniscas de granulometría relativamente fina, con buen grado de selección y redondeamiento, desarrollando alternancias de laminaciones por caída de grano (GFL), laminación por flujos de granos (SFL) y ocasionalmente laminaciones de bajo ángulo (Sl). Son estratificaciones entrecruzadas que conforman sets superpuestos de escala métrica, separados por superficies limitantes de segundo orden. Las laminaciones por caidas de grano, son las más prominentes, de espesores milimétricos y acompañadas por escasas laminaciones generadas por flujos de granos representadas por colores claros (Fotografia 19B).

Interpretación paleoambiental: las laminaciones por caídas de grano se originan por partículas que viajan en suspensión/saltación, que al superar la cresta de una duna entran en la zona de separación de flujo donde la velocidad del viento disminuye y los granos decantan. Las laminaciones por flujos de grano se originarían por avalancha sobre la cara de sotavento de granos acumulados en la cresta de la duna, se transportaron como carga de lecho (principalmente por impacto-reptaje) sobre la cara de barlovento (Clemmensen y Abrahamsen, 1983).

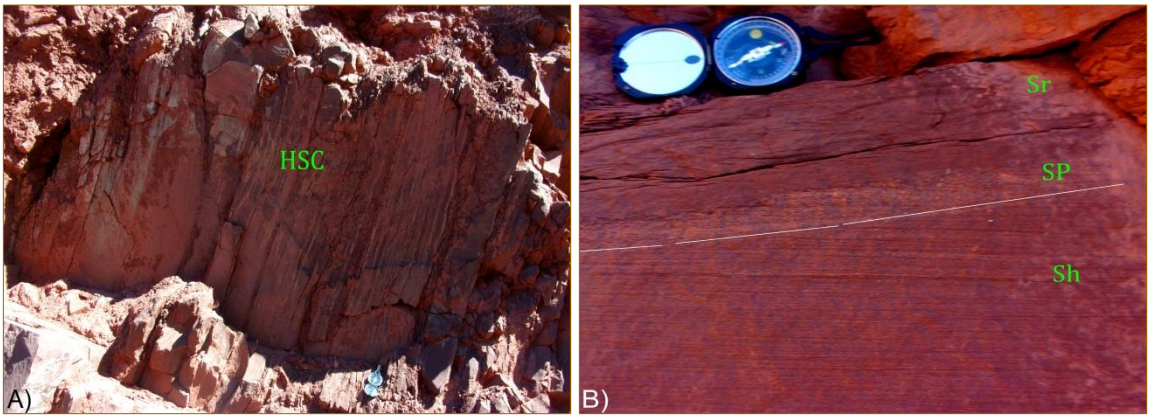
Es común encontrar los set entrecruzados en las caras de sotavento de las eolianitas la Formación De la Cuesta, donde las asociaciones de facies sedimentarias 3 y 4 alcanzan una potencia de 150 m de espesor aproximadamente (Fotografia 20). Cabe señalar que la tonalidad rojiza de la unidad se debe al cemento de hematita, formado en su mayor parte por alteración intraestratal de minerales ferromagnesianos y clastos de vulcanitas alteradas (Limarino et al., 2015). Para una mayor interpretación de los subambientes en sistemas eólicos, se incluye las reconstrucciones de las eolianitas pérmicas de Inglaterra (Figura 9).



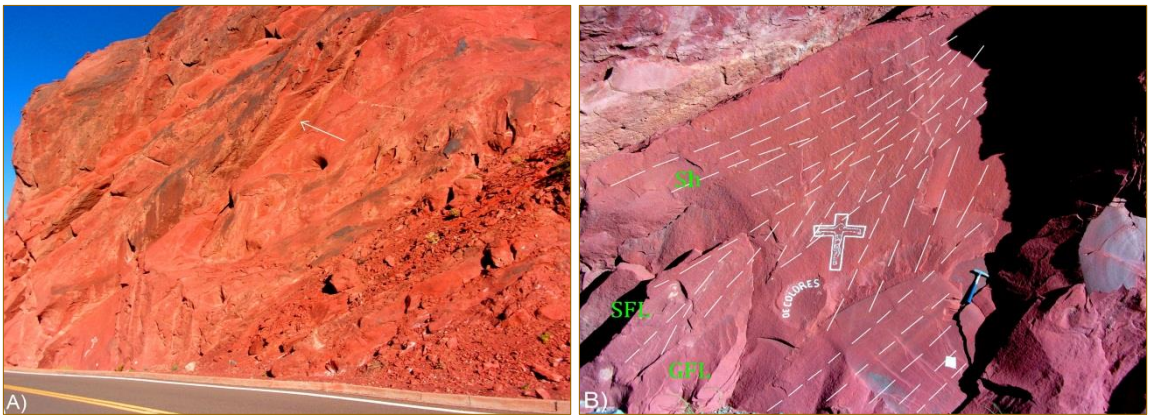
Fotografia 16. A) Areniscas finas con laminación ondulítica de corriente con material pelítico en suspensión.**B)** Grietas de desecación (mud craks) presentes en las superficies de estratificación, AF1. Formación De la Cuesta, provincia de Catamarca.



Fotografía 17. A) Laminaciones entrecruzadas de bajo ángulo, (Sl) con presencia de arcosas en la base de las estructuras fluidales, AF2. **B)** Presencia de litofacies (Sr) y (Sl) acompañadas de concreciones carbonáticas, AF2.



Fotografía 18. A) Areniscas con estructuras tipo hummocky(HSC), AF2. **B)** Areniscas con estratificación horizontal (Sh), AF3.



Fotografía 19. A) Presencia de grietas de desecación (mud craks). **B)** Laminación en las eolianitas, obsérvese laminación por flujos de granos (SFL) en bajas proporciones con colores blanquecinos, y por caídas de granos en (GFL) en colores rojizos, AF4.

Fotografía 20. Vista panorámica de asociaciones de facies en la unidad pérmica, provincia de Catamarca.

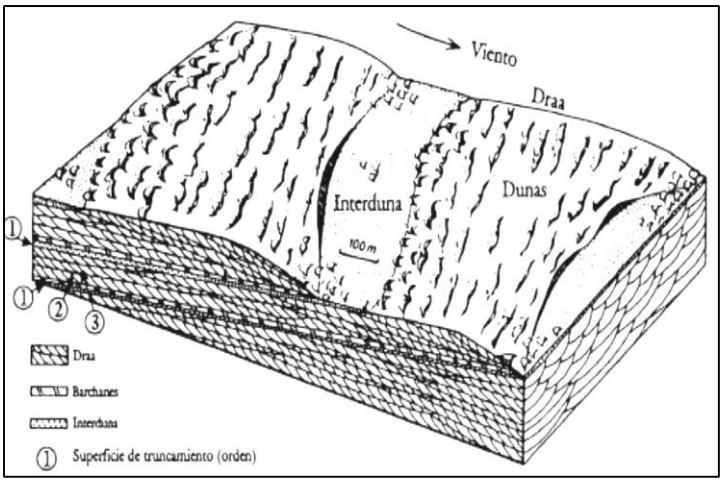


Figura 9. Representación de las zonas de dunas y áreas interdunares, depósitos del Pérmico de Inglaterra (modificado de Clemmensen y Abrahamsen, 1983).

Cabe acotar, que la tasa de subsidencia tuvo que ser relativamente importante para posibilitar la preservación y acomodamiento de estos estratos dentro de la llanura. De igual manera que la tasa de agradación vertical, la cual se considera que debió ser elevada, teniendo en cuenta la enorme potencia de los depósitos y su constante presencia en la unidad. De este modo las asociaciones presentes en el Miembro Rojo pueden ser consideradas asociaciones alocíclicas, controladas mayormente por la tasa de subsidencia de la cuenca y las condiciones climáticas globales.

4.3.2. MIEMBRO LACUSTRE

Las zonas supralitorales, litorales e intralitorales constituyen los denominados lacustres marginales. Aunque también suelen llamarse en la literatura depósitos marginales, a los depósitos que presentan rasgos propios de estos subambientes y que, por lo general, son de gradiente topográfico bajo y carente de una zona de talud (Fregenal y Meléndez, 2010).

El levantamiento estratigráfico de este miembro perteneciente a la Formación De la Cuesta, se efectuó en los afloramientos ubicados sobre Ruta Nacional 60. Cabe destacar, que debido al fuerte vasculamiento que presenta esta unidad, lo cual provoca pérdida de información, el levantamiento fue realizado en los afloramientos más representativos de la zona, ubicados a 27º42’10.5” de latitud sur y 67º56’29.2” de longitud oeste (Fotografía 21). A continuación, se detallan cinco asociaciones de facies sedimentarias definidas para el Miembro Lacustre. En cada asociación se consideran subambientes que integran el sistema lacustre, factores de control que influyen en su sedimentación y la nomenclatura de la metodología indicada en página 26, con su correspondiente perfil estratigráfico *(Anexo 2, Perfil Nº7).*

Fotografía 21. Vista panorámica de los afloramientos del Miembro Lacustre, Formación De la Cuesta.

Asociación de facies 1: areniscas carbonatadas, lutitas.

Descripción: esta asociación se inicia en un contacto de carácter neto con el Miembro Rojo, ubicado a los 27º43'28.2" de latitud sur y 67º55'48.9" de longitud oeste. En primera ocasión se presentan areniscas carbonatadas de tonos amarillos, estratificadas en bancos de geometría tabular de 1.50 m de espesor. Posee una granulometría media compuesta por cuarzo, óxidos de hierro, contenidos en una matriz de composición carbonática. Estas areniscas se intercalan con lutitas de tonalidad verdosa, que se disponen en bancos masivos (Sm), con presencia de bioturbación pasiva en la base de la secuencia. La superficie que conforma el techo de las litofacies es muy irregular (Fotografía 22A).

Interpretación paleoambiental: en esta asociación, las facies presentan el desarrollo de bioturbaciones en condiciones subácueas. Sin embargo, estos depósitos exhiben abundantes alteraciones de la fábrica por exposición subaérea posterior, manifestada por altas precipitaciones de óxidos de hierro ubicados principalmente en el techo de la secuencia, a causa de una mayor oxigenación. La ausencia de canales y homogeneidad litológica con dominio de laminación horizontal de esta asociación, es interpretada como depósitos de lacustres efímeros o probable zona intralitoral.

El marco geotectónico, así como también el área de drenaje de una cuenca son esenciales para comprender los patrones hidrológicos de los subambientes continentales, incluyendo la procedencia de carbonatos (Gierlowski-Kordesch, 1998). Las facies carbonáticas de ambientes lacustres continentales son principalmente de origen químico y bioinducído, siendo los análisis isotópicos futuros los que permitirán definir la procedencia de los carbonatos de esta asociación.

Asociación de facies 2: cherts (ftanitas), pelitas.

Descripción: esta asociación está representada principalmente por margas de tonos pardos grisáceos, que se disponen en bancos tabulares estratificados en 2.50 m de espesor con contacto basal gradacional, de granulometría media y composición carbonática. Se exhiben particularmente en el interior de sus capas, concreciones nodulares alargadas (Fotografía 22B). Hacia los niveles superiores predominan cherts estratificados (Chm) que se presentan en capas tabulares muy resistentes a la erosión, compuestas por sílice de color negro a gris oscuro de estructura amorfa, que exhiben en su interior lineaciones subestratales. Cada nivel de sílice está limitado por capas de margas arcillosas, fosilizadas de tonalidad parda grisácea de espesores centimétricos y conjuntamente conforman bancos tabulares de continuidad lateral. Los espesores de los cherts gradan en sentido decreciente hacia el techo (Fotografía 23A). En la sección superior, se intercalan con lutitas verdosas que se disponen en espesores

centimétricos. Estas pelitas presentan en las superficies, grietas de desecación con bioturbación, afectadas y suprimidas por fallas.

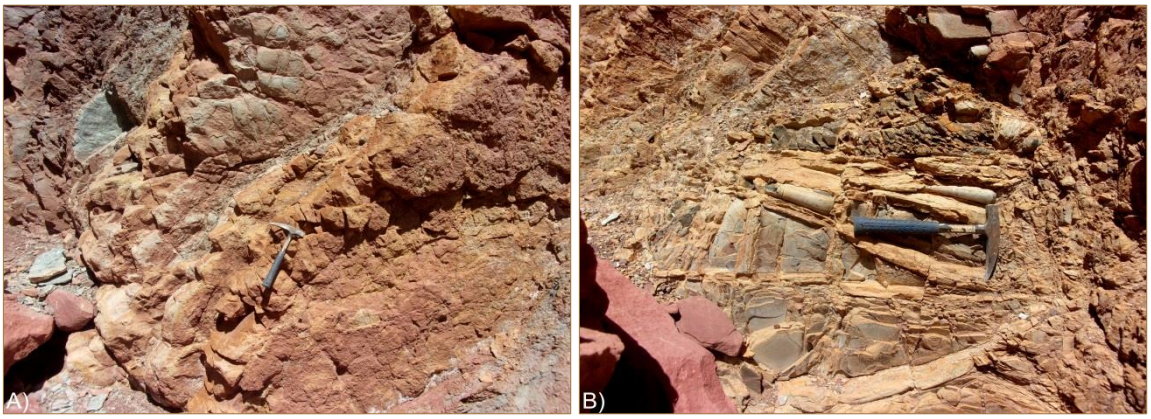
Finalmente, en la sección superior de la asociación se exhiben cherts nodulares (Cho), contenidos en margas (Fotografía 23B) con intercalaciones de pelitas carbonosas, moderadamente fisibles (Fotografía 24A). Estos individuos disminuyen su tamaño en sentido decreciente y se disponen paralelos a la estratificación en los niveles más superiores, exhibiendo tamaños milimétricos donde se estratifican en láminas de1 cm de espesor, conformando facies grainstones (GR) de 50 cm de espesor, de rasgo textural clasto-soportante (Fotografía 25A). La asociación se contempla en 31 m de espesor.

Interpretación paleoambiental: en ambientes continentales estos tipos de acumulaciones pueden estar vinculadas a diferentes procesos:

Por acumulaciones biogénicas en ambientes lacustres y como precipitación química en lagos que fueron muy alcalinos; por precipitación química (bacteriana) en aguas termales continentales o bien por silcretos, suelos de regiones áridas - semiáridas, donde aguas alcalinas actúan sobre materiales de composición silícea (depósito vulcaniclástico) produciendo disolución y reprecipitación edáfica de microcuarzo (Spalletti, 2009). El mecanismo de acumulación de microorganismos silíceos es difícilmente aplicable en cherts continentales de edad paleozoica, debido a la falta de organismos silíceos de hábitat terrestre durante el Paleozoico superior (Blatt, 1992).

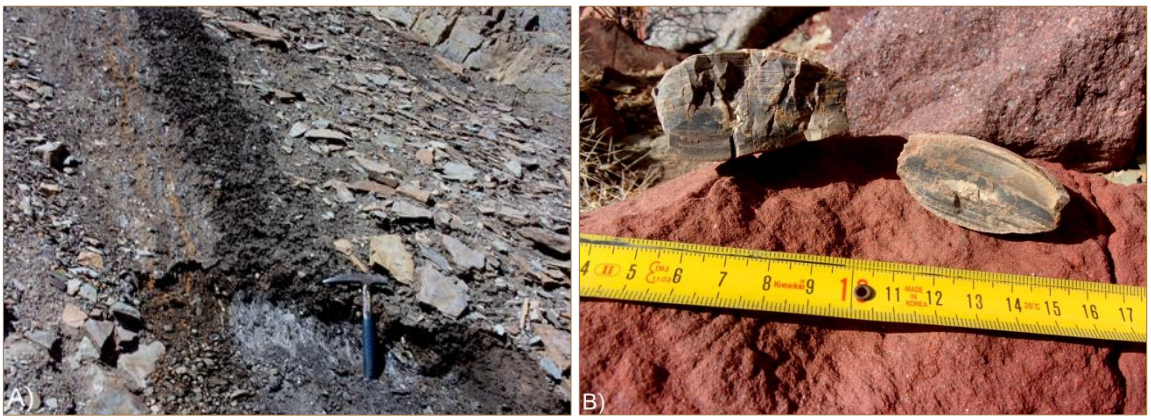
El origen de la sílice de los cherts puede ser determinada a través de la difractometría de rayos X y microsonda por fluorescencia para determinar su composición. Si bien no se ha realizado estas técnicas analíticas en el presente trabajo, se considera que las características sedimentológicas y posiciones estratigráficas no coinciden con las establecidas para los cherts definidos en la sección superior de la unidad equivalente en la provincia de La Rioja (Ilustración 1, Anexo 2). El origen de la sílice de los cherts en la sección superior del Grupo Paganzo (equivalente al Piso II, Bodenbender, 1916; Azcuy y Morelli, 1970) procedería de la transformación de niveles de tobas y chonitas (Limarino y Caselli, 1995). Los niveles de cherts tienden a concentrarse por debajo de las potentes facies eólicas en los afloramientos de la Formación De la Cuesta ubicados en los nevados de Famatina, provincia de La Rioja (Limarino 1985; Limarino y Spalletti, 1986). Hacia el sur de la Sierra de Sañogasta, la Formación La Colina (Azcuy y Morelli, 1970) muestra varios niveles de cherts en idéntica posición, por debajo de las areniscas eólicas.

Por otro lado, se cree que los cherts nodulares que se observaron en la sección superior de la asociación, representan productos post-depositacionales que se formaron como resultado de procesos diagenéticos, puesto a que se observan en ellos reemplazos que se produjeron en el interior del sedimento alojante (Fotografía 24B).



Fotografía 22. A) Intercalaciones de areniscas con lutitas bioturbadas, AF1. **B)** Cherts nodulares ovalados, AF2, Miembro Lacustre.

Fotografía 23. A) Cherts interestratificados con margas (Che). **B)** Cherts nodulares (Cho).



Fotografía 24. A) Niveles de pelitas carbonosas con cherts nodulares incluidos. **B)** Chert nodular, obsérvese centros de intercrecimientos.

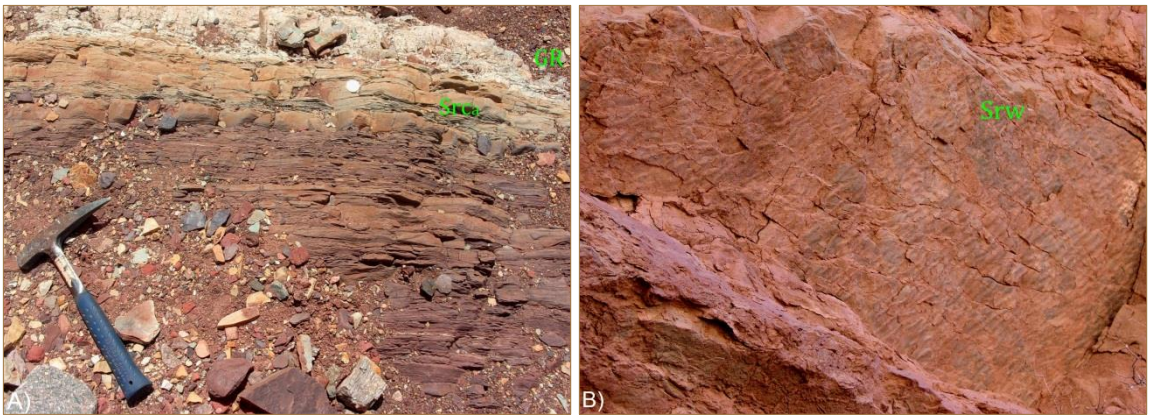
Asociación de facies 3: areniscas verdosas, areniscas micáceas.

Descripción: en primera ocasión se presentan areniscas de tonos gris verdosos, estratificadas en bancos tabulares de 20 cm de espesor. El contacto basal con la asociación anterior es neto, presentando como estructura interna laminación ondulítica ascendente (Src_a) (Fotografía 25A) y laminación ondulítica por oscilación es expuestas en la superficie del techo (Srw). Esta última estructura es de baja amplitud de onda y de crestas rectas, compuesta por cuarzo y recubierta por material pelítico (Fotografía 25B). Las areniscas manifiestan cambios faciales verticales rápidos, con modificación en su composición, pasando a ser predominantemente micáceas en los niveles superiores con tonalidades castañas. Se presentan en bancos de 12 m de espesor y se encuentran afectadas por dos niveles de silicificación, concordantes a su estratificación (Fotografía 26).

Interpretación paleoambiental: las condiciones climáticas y el régimen de viento durante la depositación de las areniscas basales favorecieron el oleaje periódico, representando posiblemente la zona sublitoral o litoral del sistema lacustre. La dinámica del oleaje demarcó una superficie superior limitante, sin embargo, las areniscas varían en su composición, siendo dominantemente micáceas en las capas superiores, que sugieren cambios en los factores de control del sistema lacustre. Estos últimos depósitos representarían facies distales de playas de inundación *(playa lake)* desarrollando depósitos arcillosos lagunares en el sistema lacustre anterior. Las características mineralógicas de las areniscas castañas, sugieren el aporte externo desde otra área fuente, la cual estuvo controlada por las condiciones climáticas y el régimen tectónico de la cuenca. También se destacan niveles de silicificación que afectan a estos depósitos. Estos lagos fueron probablemente el resultado de inundaciones en un sistema aluvial o producido por deflación (Rubiolo et al., 2001).

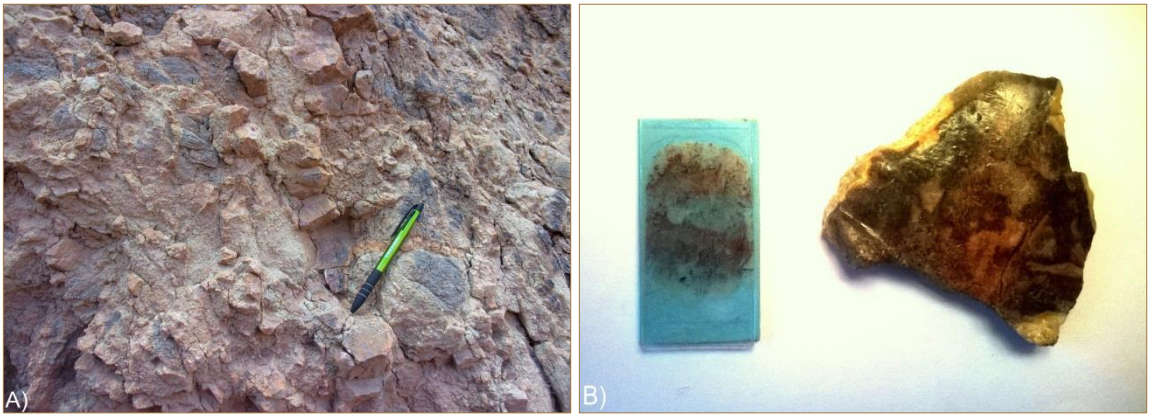
Diques intruídos y depósitos de alteración.

Descripción: en contacto con la asociación anterior se presentan depósitos que demuestran ser productos de alteración hidrotermal a partir de sus características petrográficas *(Anexo 1, Muestra 3)*. Su disposición geométrica es irregular y discordante a las secuencias psamíticas infrayacentes, donde exhiben altas concentraciones en sílice, carbonatos y sulfuros en cantidades subordinadas, las descripciones sugieren que estos producto residuales podrían haberse formado a partir de procesos de reemplazo o lixiviación (Fotografía 27A). En contacto superior a estas alteraciones se presenta un cuerpo magmático intruído, el cual guarda una disposición aproximadamente concordante con la estratificación de las areniscas que se encuentra en los niveles superiores, y es aproximadamente continuo en todo el afloramiento (Fotografía 27B).



Fotografía 25. A) Areniscas exhibiendo estructuras de laminación interna. **B)** Ondulitas de oscilación, expuestas en el techo de areniscas con láminas pelíticas de AF3, Miembro Lacustre, Formación De la Cuesta.

Fotografía 26. Areniscas micáceas; obsérvese niveles de silicificación (flechas azules) y productos de alteración hidrotermal (flecha verde) a escala de afloramiento.



Fotografía 27. A) Productos de alteración hidrotermal. **B)** Preparación de muestra pulida y corte delgado.

Asociación de facies 4: pelitas, calcarenitas.

Descripción: la asociación está dominada por depósitos pelíticos que conforman un afloramiento de 60 m de potencia, con disposición geométrica tabular y plegamientos suaves a gran escala (Fotografía 28). La sección basal, se inicia con calcarenitas estratificadas en bancos de geometría lenticular, conformando arreglos grano-decrecientes con sedimentos pelíticos (Fotografía 29A). Estas areniscas exhiben tamaños granulométricos de hasta 2 a 3 mm, contenidos en una matriz clasto-soportante de composición carbonática. Adoptan mayormente estratificación planar tabular, donde se observa precipitación de carbonatos en forma de venillas con espesores centimétricos (Fotografía 29B).

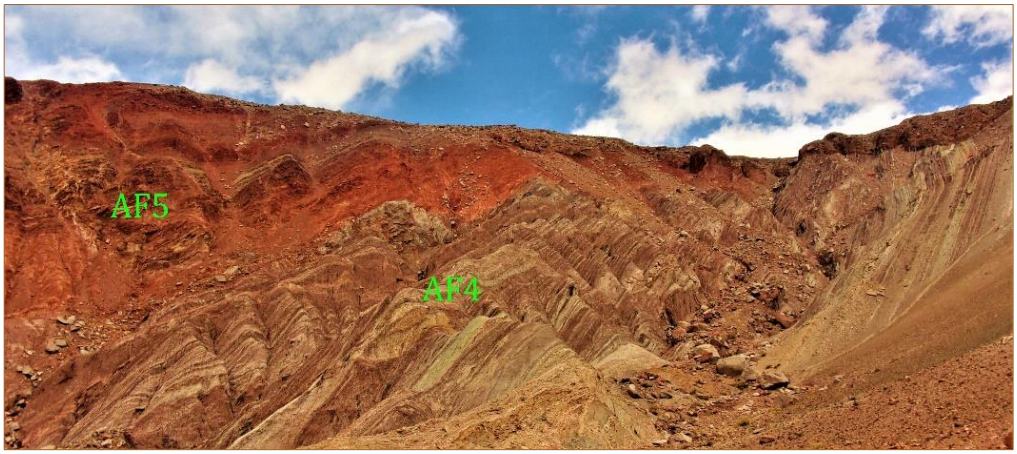
Los sedimentos pelíticos se presentan en diferentes tonalidades, abarcando inicialmente colores verdosos en pelitas que adquieren poca fisilidad, donde se observan estructuras de deformación como calcos de flujos, muy notables en el techo de los estratos (Fotografía 29A). Estas estructuras están íntimamente relacionadas al hábito de los minerales dominantes, pero principalmente vinculadas a procesos físico-químicos o de origen biológico (Reynold y Gorsline, 1992).

Hacia los niveles superiores predominan pelitas de tonalidad castaña, alternadas con pelitas verdosas, con laminaciones paralelas de baja fisilidad. Se caracterizan por presentar en su base, delgadas capas de areniscas blanquecinas con intensa bioturbación. En varios sectores del afloramiento las pelitas suelen encontrarse altamente deformadas, y su continuidad es parcial en toda la unidad del Miembro Lacustre, debido a la alta susceptibilidad que presentan las pelitas ante los procesos de meteorización (Fotografía 30A). Ocasionalmente se observó entre las capas pelíticas el desarrollo de niveles evaporíticos que adoptan tonalidades rosa cristalino (Fotografía 30B).

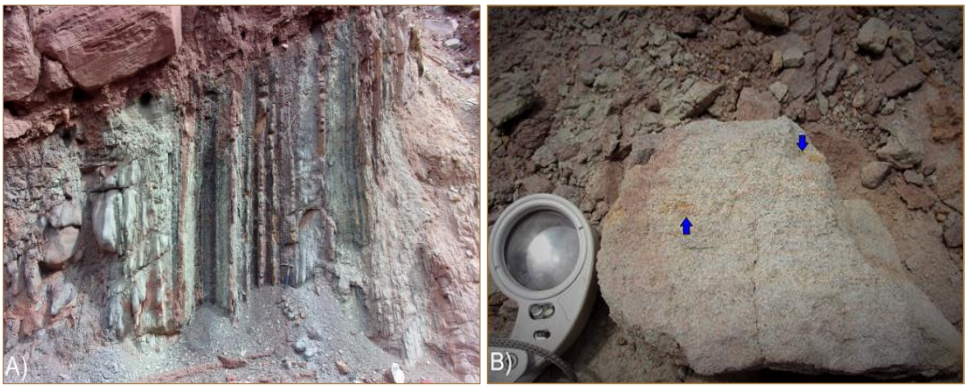
Interpretación paleoambiental: en primera instancia, se establece que la acumulación de los sedimentos pelágicos presentes, están vinculados a procesos de decantación y floculación en una zona pelágica o de cuenca que fue dominada por bajas condiciones de energía, alcanzando un buen desarrollo de su estratificación. Las pelitas castañas que se mezclan en cierta medida en los niveles superiores de esta asociación, lo cual podría asociarse a una zona de mezcla de la columna de agua lacustre con mayor oxigenación. Por otro lado, las calcarenitas depositadas en un rango de alta energía, se relacionan a la llegada de flujos turbidíticos en esta zona. Estas facies con carbonatos son controladas por factores geotectónicos y climáticos, determinan las posiciones relativas del nivel del mar y los geotectónicos que controlan el tipo de plataforma.

Esta asociación está relacionada a ingresiones marinas restringidas, que fueron inferidas por Fernández Seveso y Tankard (1995) a través del reconocimiento de microfósiles que generaron el aporte de materia orgánica sapropélica. La ingresión se involucra a un periodo con aumento de la tasa de subsidencia de la cuenca. Los factores que controlaron la depositación son, probablemente, los factores geotectónicos, la tasa de subsidencia de la cuenca y la variación

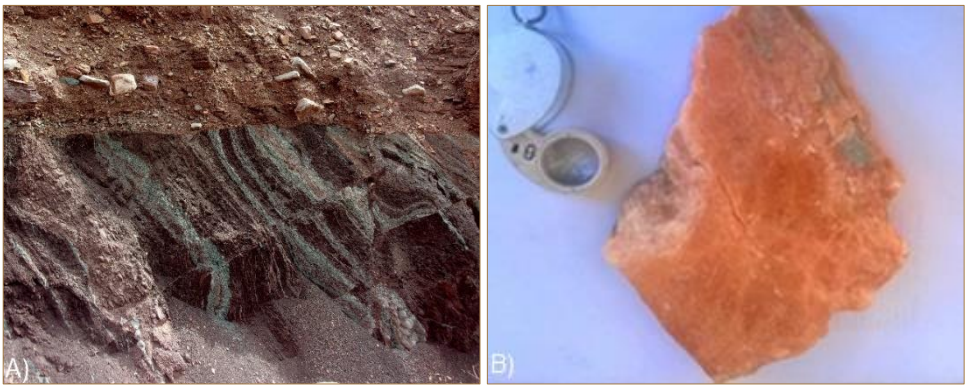
del nivel base, y los factores climáticos, principalmente el calor percibido por el cuerpo de agua lacustre. Se admite que el ascenso del nivel base genera mayor espacio de acomodamiento para los sedimentos produciéndose una transgresión caracterizada por el solapamiento (*onlap*)de los estratos sobre la superficie de sedimentación y una retrogradación (avance en dirección del continente y agradación (crecimiento vertical) de los sedimentos costeros (Fregenal y Meléndez, 2010). Por otro lado, el calor percibido por el agua, tanto por insolación y como por origen geotérmico, controla la densidad del agua y en menor medida la salinidad y concentración de los sedimentos. Se asume que cuanto más cálido es un lago, mayor facilidad tendrá para estratificarse y más difícil será romper su estratificación (Fregenal y Meléndez, op cit). Todas estas características pudieron ser observadas en los afloramientos descriptos en esta asociación.



Fotografía 28. Vista panorámica de las asociaciones de facies sedimentarias 4 y 5, Miembro Lacustre.



Fotografía 29. A) Areniscas en la sección basal y presencia de calcos de flujos en el techo, AF4. **B)** Calcarenitas, obsérvese flechas señalizando precipitación de carbonatos en su interior; AF4.



Fotografía 30. A) Pelitas fuertemente deformadas. **B)** Evaporitas presentes conformando cuerpos lentiformes entre los estratos.

Asociación de facies 5: fangolitas, areniscas y margas.

Descripción: la asociación está integrada por pelitas y areniscas que conforman el 80% de la asociación, y en menor medida por niveles de margas y calizas. En primera instancia, se presentan fangolitas de tonalidad castaña rojiza estratificadas en bancos tabulares que inicialmente presentan poca consolidación. Su contacto basal con la asociación anterior es gradacional, caracterizada por presentar estratificaciones entrecruzadas con precipitación de carbonatos secundarios entre las superficies, y particularmente el desarrollo de concreciones nodulares de yeso/anhidrita que alcanzan tamaños métricos aflorando entre los sedimentos. Esta sección comprende 30 m de espesor. El desarrollo de lentes evaporíticos perpendiculares a la estratificación, sugiere un ambiente subaéreo.

Hacia los topes, las arcilitas se estratifican con mayor grado de consolidación poniéndose en contacto con niveles de areniscas finas de tonalidades parduzcas, intercaladas con niveles centimetricos de margas y calizas. Esta sección es conocida con el término de “faja decolorada” nombre adoptado en relación directa a su alteración (Fotografía 31A). En ocasiones alcanza 38 m de potencia, sin embargo, su presencia es irregular a lo largo de todo el afloramiento. Se realizó el muestreo en niveles de areniscas para determinar su composición geoquímica y características petrográficas.

Las areniscas conforman bancos de geometría tabular con laminación paralela y suaves entrecruzamientos, poseen cementos carbonáticos asociados a calizas micríticas de tonalidad parduzca verdosa de aspecto opaco. A partir de su petrografía se las asigna a la serie de litoarenitas *(Anexo 1, Muestra 4)*, con trazas fósiles no inferidas (Fotografía 31B).

Interpretación paleoambiental: en primera ocasión, el ambiente estuvo condicionado por un medio que aportó altas concentraciones de detritos finos, conformando una llanura fangosa (*mud flats)* a causa de las oscilaciones climáticas que afectaron al propio sistema lacustre. Las evaporitas que precipitan entre los sedimentos, son indicadoras de un ambiente mayormente subaéreo.

Fotografía 31. A) Vista panorámica de faja decolorada, Miembro Lacustre, en contacto con el Miembro Morado. **B)** Trazas fósiles no inferidas, Formación De la Cuesta.

4.3.2.1. GEOQUÍMICA

Por otro lado, a partir de la petrografía *(Anexo 1, Muestra 4)*, y análisis geoquímicos realizados en muestras de roca de la faja decolorada, se lograron describir tres aspectos que caracterizan al depósito uranífero y metales asociados, la fuente de procedencia, el transporte y su deposición.

El contenido de uranio (U) químico total fue determinado por el método de absorción molecular (DBM) (Tabla 10), mientras que los elementos trazas de molibdeno (Mo), cobre (Cu), plomo (Pb), zinc (Zn), plata (Ag), níquel (Ni), cobalto (Co), manganeso (Mn), cadmio (Cd), vanadio (V), cromo (Cr), estroncio (Sr) y litio (Li), fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica (Tabla 11).

	MUESTRAS		
U Químico Total µg/g U	PAN 1	PAN 2	PAN 3
	26	9	28

Tabla 10. Análisis de uranio químico total, Faja decolorada, Miembro Lacustre, Formación De la Cuesta.

TRZAS ppm	MUESTRAS		
	PAN 1	PAN 2	PAN 3
Mo	<10	<10	40
Cu	1.090	40	30
Pb	10	50	20

Zn	50	60	140
Ag	<10	<10	<10
Ni	20	20	20
Co	<10	10	10
Mn	400	520	470
Cd	<10	<10	<10
V	200	140	120
Cr	20	30	20
Sr	180	290	650
Li	20	20	20

Tabla 11. Geoquímica de elementos trazas, Faja Decolorada, Miembro Lacustre, Formación De la Cuesta.

Las concentraciones de los cationes de cobre (Cu), plata (Ag), plomo (Pb) y zinc (Zn), específicamente están relacionadas a basaltos o diques diabásicos alcalinos como los presentes y descriptos anteriormente (pág. 56). Las muestras analizadas no presentan anomalías de cobre (Cu) y uranio (U) considerables, sin embargo, son notables los valores anómalos de vanadio (V) y estroncio (Sr) siendo este último, un elemento móvil íntimamente relacionado a rocas graníticas. El catión vanadio alcanza las 200 ppm en las muestras analizadas, siendo que su valor normal generalmente no supera las 100 ppm en rocas y meteoritos (Dunn et al., 1956). Cabe destacar que existen antecedentes de concentraciones de este elemento asociado a anomalías de uranio (U), cobre (Cu) y tierras raras (REE) registradas en la secuencia de bancos rojos aflorantes en el extremo sur de la sierra de Maz correspondiente a la Formación Patquía (Caselli et al., 1997). Las mineralizaciones se hospedan en niveles permeables de sedimentitas clásticas decoloradas dentro de una sucesión de rocas continentales pérmicas en contacto y cementadas por óxidos e hidróxidos de hierro del Miembro Morado.

El origen y el aporte del uranio (U), revela afinidad con rocas graníticas verificado por las altas concentraciones del catión estroncio (Sr). Se considera que la movilización de ion uranilo se produjo en disolución en forma de sales complejas de manera contemporánea con la sedimentación, precipitando a partir de un sistema de mezcla de aguas calientes profundas con aguas meteóricas fluviales. Durante su evolución, estas aguas se enriquecieron de elementos metálicos a partir de las rocas máficas asociadas a la cuenca, migrando a través de las estructuras principales. Los tipos de agentes bioquímicos que actúan en la fijación de uranio aún es indefinido, pero es evidente que la actividad de la materia orgánica actúa como agente de precipitación y fijación del uranio. Actualmente está aceptada la hipótesis de formación de pechblenda por reducción de uranio hexavalente (U^{6+}) contenido en soluciones supergénicas. Sin embargo, algunos autores siguen pensando que el origen hipogénico del uranio no está en las rocas ácidas, sino en los diques hipoabisales de rocas intermedias o básicas. Esta suposición, se apoya en que muchos de los yacimientos o distritos de gran importancia contienen abundantes diques máficos de diabasas, basaltos, andesitas y lamprófidos. Estos diques son indistintamente anteriores o posteriores a la mineralización, los cuales no están

evidentemente en relación directa con ella, sino más bien con los magmas infrayacentes de donde proceden los minerales como líquidos magmáticos. Las rocas básicas parecen que expulsan el uranio durante la cristalización de tales rocas.

Roubault y Coppens (1958) sugieren que los diques de diabasas pueden aportar uranio suficiente a las aguas profundas. Los yacimientos sedimentarios asociados a depósitos de Cu-U estratiforme se clasifican en dos tipos: red bed, en el cual la mineralización se aloja en rocas clásticas grises dentro de las sucesiones dominadas por capas rojas, generalmente entre el contacto entre las unidades rojas y grises (Hitzman et al., 2005) y el kupershiefer, que consiste en depósitos hospedados en rocas sedimentarias carbonosas formadas en ambientes marinos lacustres o someros.

El origen de la mineralización en ambas clases ha sido atribuido a la interacción de fluidos oxidantes que transportan cobre en solución con la roca reductora que contiene pirita (Brown 2005; Hitzman et al., 2005) y/o a mezclas de fluidos (Sutton y Maynard 2005). En el caso de los depósitos de la faja decolorada sólo se asemejan a ciertas características de estos tipos de yacimientos.

4.3.3. MIEMBRO MORADO

El levantamiento de esta unidad fue efectuado en los afloramientos ubicados sobre Ruta Nacional 60, a los 27º42’10.5” de latitud sur y 67º56’29.2” de longitud oeste (Fotografía 32), sin embargo debido a la poca representación de los afloramientos sobre el camino, se optó por realizar un reconocimiento a partir de la quebrada ubicada a los 27º42’10.9” de latitud sur y 67º55’23.8” de longitud oeste, lo cual permitió obtener una mejor interpretación y definición de dos asociaciones de facies sedimentarias, considerando la nomenclatura seleccionada para dichos ambientes, descripta en la metodología de la página 24, con su correspondiente perfil estratigráfico *(Anexo 2, Perfil Nº8).* A continuación, se detallan las características descriptas para cada facies:

Asociación de facies 1: areniscas, pelitas.

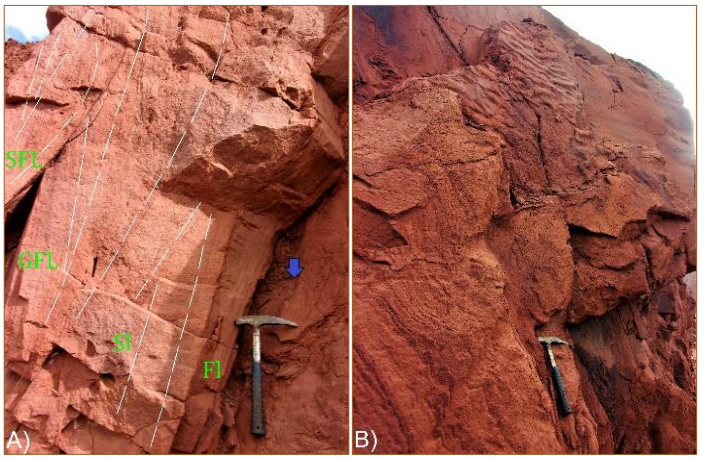
Descripción: en primera ocasión se presentan areniscas de tonos rojizos, estratificadas en bancos de geometría tabular de 8 m de espesor. Se exhiben con arreglos grano-crecientes que varían desde limos arenosos con estructuras laminares a niveles de areniscas gruesas con estructuras masivas. Hacia el techo predominan alternancias de pelitas con tonos morados, donde las estructuras más prominentes son las laminaciones ondulíticas (Sr) de composición filosilicática.

Asociación de facies 2: depósitos eólicos, depósitos de planicies.

Descripción: se superponen depósitos eólicos desarrollados en bancos de 7 m de potencia de contacto basal difuso, donde inicialmente las areniscas presentan tonalidades gris blanquecinas de granulometría fina y con buen grado de selección. En ellas se observanalternancias de laminaciones por caída de grano (GFL) y por flujos de granos (SFL), donde también son frecuentes estratificaciones debajo ángulo (Sl) separados por superficies limitantes de segundo orden (Fotografia 33A). Las laminaciones predominantes son producidas por caídas de granos de espesores milimétricos, y acompañadas por escasas laminaciones dadas por flujos de granos representadas por colores claros. Estos depósitos están limitados en su sección superior por una discordancia erosiva. La sección superior de la asociación se caracteriza por presentar areniscas con alternancias de arcilitas, que exhiben frecuentemente superficies con grietas de desecación y estructuras de corrientes (Fotografía 33B). A lo largo del afloramiento particularmente, se observan coladas máficas de gran escala, intruídos entre las sedimentitas, y niveles tobáceos adosados lateralmente a la secuencia (Fotografía 34A).

Interpretación paleoambiental: las litofacies que conforman el Miembro Morado son depósitos que reflejan frecuentemente rasgos de exposiciones periódicas, por oscilaciones en la lámina de agua a varias escalas temporales (Fotografía 34B). Pueden considerarse depósitos de playas de inundación (playa lake), siendo la predominancia de sedimentitas de grano fino estratificadas en bancos muy delgados, la tabularidad de los bancos y frecuentes niveles con grietas de desecación y estructuras de corrientes, los elementos que avalan esta interpretación. Entre ambas asociaciones se reconocieron 220 m de espesor.

Fotografía 32. Vista panorámica del Miembro Morado, Formación De la Cuesta.



Fotografía 33. A) Distintos sets entrecruzados en depósitos eólicos, obsérvese grietas de desecación indicadas con flecha azul. **B)** Depósitos de planicies de inundación donde se exhiben estructuras de corrientes.

Fotografía 34. A) Depósitos volcánicos entre las sedimentitas. **B)** Exposiciones periódicas por oscilaciones**.**

CAPÍTULO V. ESTUDIO DE NIVELES ORGANÓGENOS. RESULTADOS

5.1. RELEVANCIA DE LA CUENCA

En este capítulo se describen las principales características del potencial productivo de las secuencias del Paleozoico superior en la Cuenca Paganzo, y el análisis de las tendencias geoquímicas en el área de Las Angosturas, en relación a otras investigaciones realizadas en dicha cuenca.

En las décadas del ’80 y ’90 se dieron inicio a las exploraciones en los bolsones intermontanos del oeste argentino, para estudios de su potencial hidrocaburífero. Al igual que la cuenca Precordillera, la Cuenca Paganzo es calificada como no productiva y se las considera como “exploración de frontera” debido a su alto riesgo exploratorio.

Cabe señalar que, en la provincia de Catamarca, el área de Narváez-Fiambalá, La Cébila, y el Campo de Belén -Salar de Pipanaco han sido áreas propicias para las exploraciones realizadas por YPF y consultoras privadas entre ellas ESIN consultora S.A., demostrando interés tanto en las formaciones neopaleozoicas como secuencias miocenas-pliocenas que incluyen las secuencias paranaenses (Fernández Garrasino, 1992).

5.2. METODOLOGÍAS DE EXPLORACIÓN

La técnica de la estratigrafía secuencial creada originalmente para plataformas marinas de márgenes pasivos es actualmente utilizada en las proporciones continentales de ciertas cuencas o en depocentros enteramente continentales (López Gamundi et al.,1989). La búsqueda de petróleo y gas exigió la implementación de análisis estratigráficos cada vez más minuciosos, el cual a través de las técnicas de la estratigrafía secuencial y en complemento de captura de perfiles en pozos de coronas, sísmica convencional y 3D, lograron generar modelos de alta resolución en la prognosis de la distribución de la roca madre, reservorios y sello tanto en análisis de tipo regional, como a escala de yacimiento.

A partir de estas técnicas, Fernández Seveso et al. (1993) definieron las supersecuencias Guandacol, Tupe y Patquía-De la Cuesta, integradas por cuatro secuencias que se encuentran limitadas por discontinuidades erosivas.

Para llevar a cabo este trabajo, se analizaron 44 perfiles estratigráficos a detalle junto con la interpretación de secciones sísmicas en los diferentes bolsones de la cuenca (Figura 10) mediante la aplicación de análisis de facies, con el fin de obtener la tendencia evolutiva. Cada una de estas supersecuencias representa un ciclo de reactivación tectónica extensional. A partir de esta diagnosis y la realización de numerosos análisis geoquímicos en la materia orgánica, Fernández Seveso y Tankard (1995) obtienen una ventana de generación de gas e hidrocarburo en las secuencias neopaleozoicas.

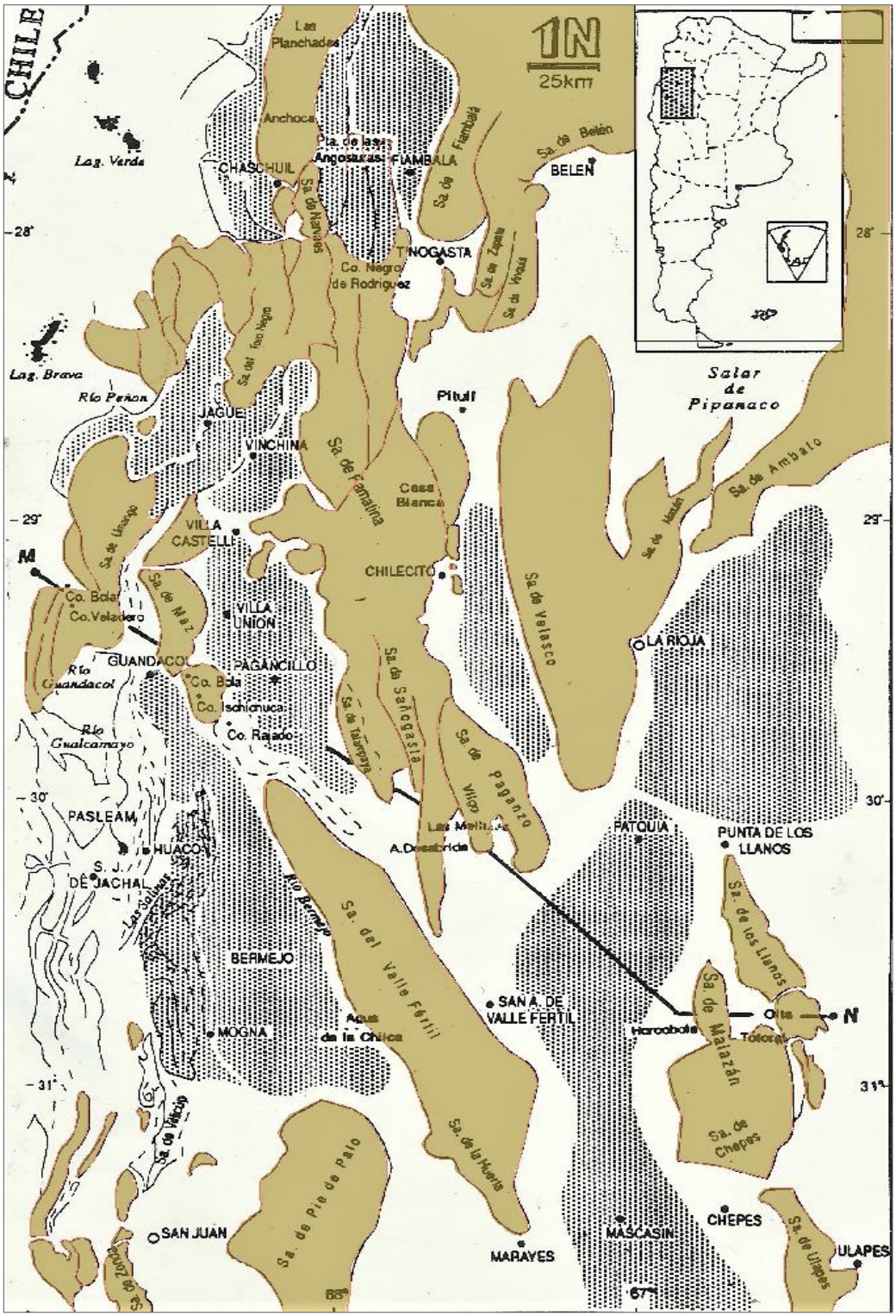


Figura 10. Distribución de depocentros en la Cuenca Paganzo y localidades tipo (modificado de Villar y López Gamundi, 1993).

Por otro lado, la presencia de carbones y pelitas carbonosas en el ámbito de esta cuenca ha sido objeto de estudio de otras investigaciones (Álvarez Rojo, 1987, Villar y López Gamundi, 1993). Desde el punto de vista estratigráfico, la mayoría de estos niveles aparecen en el denominado Paganzo I, en sus correspondientes unidades formacionales. Los estudios de mantos carboníferos, actualmente son objetos de investigación revalorizados como fuente energética, en función a la demanda de recursos energéticos y la disminución de las reservas de gas y petróleo. En la actualidad se están desarrollando nuevas metodologías de producción y tecnologías para la obtención de energía. A partir del carbón puede obtenerse la combustión de mezclas de carbón, gas metano, gasificación de carbón en subsuelo, celdas de hidrógeno, entre otras. Por este motivo, la realización de diversos estudios del carbón o material carbonoso de distintas cuencas de nuestro país resulta relevante.

Como parte de este trabajo, se efectuó la descripción megascópica en muestras de carbón y sedimentos organógenas de los perfiles que lo contienen, perfiles 1 y 3 de la Formación Agua Colorada, y su posterior análisis geoquímico. Los análisis de materia orgánica comprenden análisis de su cantidad, calidad y madurez. En este trabajo solo se evalúa el análisis de cantidad de materia orgánica, la cual fue determinada mediante el análisis de Carbono Orgánico Total (COT).

Los datos obtenidos fueron evaluados y comparados con investigaciones ya existentes en otras áreas de la cuenca, que fundamentan características generadoras de gas y petróleo en las rocas continentales y marinas del Carbonífero junto con los depósitos Pérmicos y Triásicos, que constituyen según antecedentes, los principales intervalos de la posible generación en los bolsones intermontanos, además de estimar la calidad de los depósitos carboníferos como recurso energético nuevamente alternativo.

A continuación, se detallan los resultados descriptivos y análisis geoquímicos de los niveles organógenos, siguiendo la metodología descripta en la página 27.

En el presente trabajo solo se logró describir los mencionados litotipos, ya que la descripción de los componentes del carbón en forma detallada, puede obtenerse a través de la petrografía orgánica. Por lo tanto, a partir de esta descripción se logró estimar el origen de la materia orgánica y los posibles tipos de kerógenos presentes.

5.3. RESULTADOS DESCRIPTIVOS

Perfil N°1 (Anexo 2): las pelitas carbonosas ubicadas en los afloramientos del sector sur de la Formación Agua Colorada, presentan geometría mantiforme estratificadas en 17.50 m de espesor, donde se reconoció básicamente la disposición de abundante detrito vegetal, contenido en arcilitas fangosas y calizas micríticas (clasificación de Dunham).

Las pelitas exhiben laminaciones definidas por cambios granulométricos, donde se logra apreciar las bajas proporciones en arcilla (capas claras) alternadas con capas oscuras que representan el aumento de las proporciones de arcilla.

Las calizas micritas se presentan en bajas proporciones y se caracterizan por presentar componentes aloquímicos contenidos en una matriz fangosa, muds (capas oscuras), se diferencian de las limolitas por presentar mayor contenido de materia orgánica y con mayor estado de preservación (Fotografía 35). Las muestras macro presentan buena fisilidad, dureza poco consistente, de brillo opaco a graso, acompañados por otros componentes como óxidos de azufre, hierro, y precipitación de sales.

La materia orgánica se exhibe en diferentes formas, puede observarse en buen estado de conservación fuertemente oxidada, en películas grafíticas, o bien en forma de trazas fósiles.

Los estudios paleoflorísticos en la Formación Agua Colorada fueron realizados por diferentes autores, entre los más destacados se mencionan: Geinitz (1876), Bodenbender (1911; 1916), Kurtz (1921), Frenguelli (1943), Archangelsky (1983), Gutiérrez (1993), entre otros, quienes realizaron detallados estudios en la identificación de microfloras y megafloras acompañadas por diferentes especies de esporas y polen monosacado.

Resultados geoquímicos: el contenido de materia orgánica total (COT) obtenido de las pelitas carbonosas muestreadas en el Perfil N°1 (Anexo 2), alcanzan rangos que varían de 7 a 11.97 % (Tabla 12).

Fotografía 35. Pelitas y calizas micríticas, obsérvese la materia orgánica en diferentes estados de conservación.

Muestra	LITOLOGIA	COT %
1	Pelitas carbonosas	11.97
2	Pelitas carbonosas	7.07
3	Carbón	18.61

Tabla 12. Análisis de contenido de materia orgánica de la Formación Agua Colorada, Provincia de Catamarca.

Perfil N°3 (Anexo 2): las facies organógenas correspondiente a los afloramientos del sector norte de la Formación Agua Colorada, ubicado a 27º41'43.1" de latitud sur y 67º56'53.3"de longitud oeste, presentan geometría mantiforme de 3.50 m de espesor, donde se reconoció básicamente la disposición del material organógeno en capas densas, definiendo depósitos de carbón interestratificado. Las muestras macro presentan una dureza muy consistente, de brillo opaco a graso, acompañados por componentes de azufre, óxidos de hierro, y precipitación de sales. Los componentes de carbón que se lograron observar a nivel megascópico, son los siguientes:

Vitrita: de proporciones predominantes. Se reconoce por ser un carbón brillante, vítreo, que se dispone en capas horizontales y fractura concoidea, en forma de películas grafíticas de brillo lustroso (Fotografía 36).

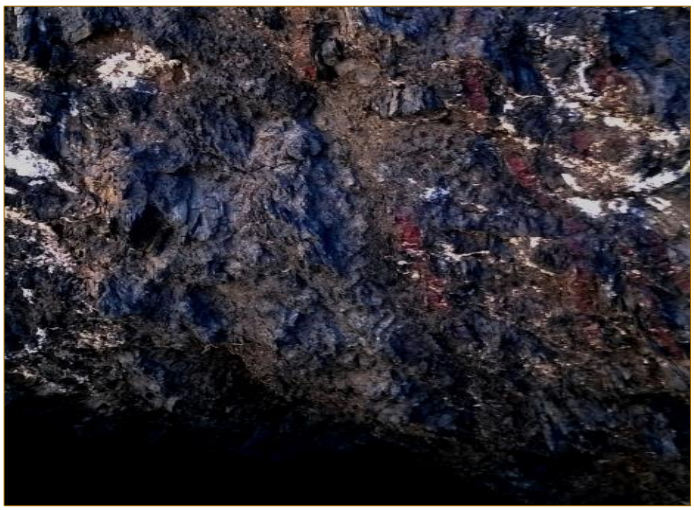
Fusita: se reconoce por ser muy frágil y porosa, presenta curvas irregulares en muestras manuales. Su componente predominante en la fusinita.

Durita: se caracteriza por ser un carbón con falta de brillo de aspecto mate, color negro a gris plomo, y carece de estratificación. Su componente principal es la micrinita.

También se logró reconocerla presencia particular de resina fósil, que se exhibe en tonalidades rojizas a traslúcidas (Fotografía 37). Este mineral se denomina exinita, el cual consta de esporinita y cutinita que son restos de esporas y materiales cuticulares respectivamente (Pettijhon, 1975). Tanto la fusinita, micrinita y exinita entre otros, son minerales básicos de un maceral, el cual representa una unidad orgánica de una planta o material derivado. Cabe mencionar, que la descripción de los componentes del carbón en forma detallada, puede obtenerse a nivel microscópico.

Resultados geoquímicos: el contenido de materia orgánica total (COT) obtenido de las muestras extraídas del manto carbonífero del Perfil N°3, alcanza un valor de 18.61 % (Tabla 12).

Fotografía 36. Muestras de carbón, Perfil 3. Obsérvese los diferentes componentes: micrinitas acompañada por óxidos (flechas azules), fusinitas y duritas (flechas verdes).



Fotografía 37. Frente de explotación; obsérvese resinas fosilizadas de tonalidades rojizas traslúcidas, Formación Agua Colorada.

5.4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

La diferencia del contenido orgánico total entre los Perfiles 1 y 3 se debe al estado de maduración de la materia orgánica. Los resultados del Perfil N°1 se sitúan en el rango de valores muy buenos, la preservación de materia orgánica observada permite estimar en forma tentativa que el origen del kerógeno es de tipo húmico, donde los macerales identificables son liptinitas (herbáceos) y vitrinitas (material leñoso), el cual podría llegar a comprender kerógenos de rango II y III.

Por otro lado, los resultados del Perfil N°3 se sitúan en el rango de valores con contenidos orgánicos generalmente regulares a altos. Los tipos de macerales orgánicos presentes varían desde resinitas y/o exinitas, vitrinitas, entre otros no identificados, pueden llegar a comprender kerógeno de rango II y III.

Los kerógenos tipo II se asocian a sedimentos de ambientes marinos reductores y tiene gran potencial de generar hidrocarburos líquidos y gaseosos, en cambio, el kerógeno tipo III poseen muy bajo potencial, son principalmente generadores de gas. Los tipos de kerógenos pueden identificarse químicamente a través de la relación del índice de hidrógeno (IH) con el contenido de carbono orgánico total (COT), siendo esta relación la que determine definitivamente el potencial generador de estas facies.

Investigaciones realizadas en los bolsones intermontanos del Paganzo de la provincia de La Rioja exhiben estudios petrográficos, geoquímicos y cromatográficos de gases de los depósitos carboníferos, los cuales sirvieron de base para determinar el potencial generador en las supersecuencias mencionadas y excluir la posibilidad de que exista aporte de material algal-sapropélico durante el periodo Carbonífero superior, determinando que la mayoría de la materia orgánica derivó de plantas de superficie. Sin embargo, las sedimentitas pérmicas de la Formación Patquía-De la Cuesta, poseen claras evidencias de materia orgánica de origen algal-sapropélica. Los estudios fueron realizados en el bolsón de Pagancillo, bolsón de los Llanos y en Pampa de las Salinas (o de Mascasin), siendo esta última área, la única que cuenta con una perforación piloto.

5.5. CORRELACIÓN

Los perfiles expuestos de las supersecuencias Tupe y Patquía – De la Cuesta, están acompañados por diagrama de barras donde se muestra la relación de proporciones de COT y BITUMEN, controlando la tendencia de generación de gas e hidrocarburo.

La mayoría de las muestras analizadas en la supersecuencia Tupe (Carbonífero superior) quedan comprendidas en la ventana de gas, con kerógenos de tipo I – II. La tendencia se ubica en la sección media superior de la supersecuencia, asociados a ambientes marino marginal – deltas, braided y fluvio-lacustre *(Anexo 2, Ilustración 2).* Estas secciones se correlacionan con las asociaciones de facies sedimentaria 3 y 4 de la Formación Agua Colorada

Por otro lado, la Formación Patquía - De la Cuesta superior (Pérmico), posee resultados con tendencia a la generación de petróleo, asociados a ambientes lacustres someros y marino marginal *(Anexo 2, Ilustración 3).* En correlación a estas secuencias, se presentan los afloramientos del Miembro Lacustre perteneciente a la Formación De la Cuesta. Los mismos cuentan con antecedentes exploratorios realizados por la comisión geológica N° 3 YPF S.A., y consultoras privadas.

Estas investigaciones determinan que los niveles de pelitas verdosas y grises oscuras expuestas, poseen buenos atributos oleogenéticos, con resultados analíticos que indican

generación y migración de hidrocarburos termogénicos, lo que ha permitido determinar la existencia de un sistema petrolero activo (Fernández Seveso, 1989, 1990; Fernández Seveso y Tankard, 1995). Los contenidos de carbono orgánico total superan los picos de 7 % en wt., y el contenido de materia orgánica soluble, MOS (bitumen) alcanzan valores entre 2000 y 4000 ppm. La materia orgánica principalmente es asimilable a kerógenos de tipo I y II de muy buena calidad como generadora de petróleo y el rango de madurez termal determinado para diferentes afloramientos de la cuenca, que cubren desde el inicio de la ventana de petróleo a la ventana de gas.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

En base a la recopilación de bibliografía, investigación de antecedentes, empleo de metodologías de campo, gabinete y técnicas analíticas, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El relevamiento del Grupo Paganzo permitió reconocer el importante registro geocronológico que aportan sus unidades en un contexto local y regional. La complejidad del ambiente glacial y similitud entre los procesos subácueos marinos y lacustres presentes en los depósitos carboníferos estudiados, dificultan discernir entre ambos ambientes sedimentarios, sin embargo, queda claro que las variaciones rápidas verticales y laterales de facies, especialmente en la sección inferior y media de la columna carbonífera, indicarían que el ambiente de sedimentación era restringido.

- Se asume que la Formación Agua Colorada concluye en una discontinuidad erosiva con posterior depositación de la secuencia vulcaniclástica de la Formación El Cuerno (Pérmico), de la cual no existían registros de descripciones en trabajos anteriores en el área de estudio.

- La Formación De la Cuesta, registra diferencias en relación a la posición estratigráfica que ocupan las facies de cherts pertenecientes al Miembro Lacustre. En los perfiles tipo del Grupo Paganzo, los niveles de cherts y pedernales ocupan una posición infrayacentes alas potentes facies eólicas de la unidad pérmica, asociando su origen a la transformación de tobas y chonitas. En el caso de los chert descriptos en el presente trabajo, ocupan una posición suprayacente a los depósitos eólicos, con una mayor concentración de trazas fósiles que particularmente permiten asociar este sistema lacustre a otro evento depositacional. Esta unidad ofrece posibles modificaciones cronoestratigráficas, quedando particularmente el Miembro Lacustre excluido del Grupo Paganzo en nuestra provincia.

- Con respecto a los niveles organógenos analizados en la unidad carbonífera, se asume que los depósitos neopaleozoicos actúan como rocas madres potenciales de petróleo y gas. El estado de maduración de la materia orgánica analizada en los niveles de pelitas carbonosas y mantos de carbón de los Perfiles 1 y 3 se sitúan en un rango de valores muy buenos. La preservación de materia orgánica observada, permitió estimar en forma tentativa que el origen del kerógeno es de tipo húmico, donde los macerales identificables son liptinitas (herbáceos) y vitrinitas (material leñoso), los cuales podrían llegar a comprender kerógenos de rango II y III.

- El kerógeno tipo II se asocian a sedimentos de ambientes marinos reductores y tienen gran potencial de generar hidrocarburos líquidos y gaseosos, en cambio, el kerógeno tipo III poseen muy bajo potencial, son principalmente generadores de gas.

Finalmente se postula que estas contribuciones tienen como finalidad aportar información para futuras modificaciones en los afloramientos que representan el neopaleozoico de la hoja geológica 2769-IV Fiambalá del SEGEMAR.

6.1. RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar investigaciones cronoestratigráficas de los sistemas lacustres en el área de las Angosturas.
- Se considera de relevante importancia analizar considerar la presente investigación en los afloramientos neopaleozoicos del área de estudio para la actualización cartográfica de la hoja geológica 2769-IV Fiambalá.
- Se propone que demandar un plan de exploración de los recursos energéticos es indispensable para actualizar su información. Entre ellos implicaría el estudio de depósitos que actúen como potenciales reservorios, trampas, rocas sellos y posibles vías de migración de gas e hidrocarburo en el área investigada.
- Se considera oportuno realizar las exploraciones de los recursos energéticos

Contar con este tipo de información, implica caracterizar los recursos energéticos de dicho sector de nuestra provincia como complemento de investigaciones anteriores.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- **Adams, A.E; Mackenzie, W.S; Guilford, C. 1996.** Atlas de rocas sedimentarias y sus texturas. Masson, S.A.

- **Ahlbrandt, T.S., y Fryberger, S.G., 1982.** Introduction to Aeolian deposits. En P. A. Scholle y D. Spearing (eds.), *Sandstone Depositional Environments*. *American Association of Petroleum Geologists, Memoir,* 31, 11-47.

- **Alonso-Zarza, A.M., y Wright, V.P., 2010.** Palustrine Carbonates. En: Alonso-Zarza, A.M. Tanner, L. (Eds.), Carbonates in continental settings. Facies, environments and processes. Developments in Sedimentology 61, 103-131. Elsevier, Oxford

- **Archangelsky, S., 1983.** Nothorhacopteris, a new generic name for some carboniferous monopinnate fronds of Gondwanaland (Racopterisovata Auct, and Pseodarhacopteris Rigby, 1973). Review of paleobotany of palinology, 38:157-172. Amsterdam.

- **Archangelsky, S., 1987**. El Sistema Carbonífero en la República Argentina. Academia Nacional de Ciencias (Córdoba), 383 pp.

- **Amos, A.**, **y Royera E. O., 1965.** El Carbónico marino en el valle de Calingasta – Uspallata (San Juan – Mendoza), Buenos –aires. Boletín de información petrolera, v 368, p 50-71.

- **Amos, A.J., 1972.** Las cuencas carbónicas y pérmicas de Argentina. Anais da Academia Brasileira Ciencias. Brasil, 44:21-30.

- **Allen, J. R. L., 1983.** Studies in fluviatile sedimentation bars, bars complexes and sandstone sheet (low sinuosity braided streams) in the browstones (L. Devonian), Wells Borders. Sediments. Geol. de España 11-14.

- **Azcuy, C. y Morelli, J., 1970a.** Geología de la comarca Paganzo-Amaná. El Grupo Paganzo. Formaciones que la componen y sus relaciones. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 25(4): p 405-429.

- **Azcuy, C.L., 1975.** Palinología estratigráfica de la cuenca Paganzo. Revista de la Asociación Geológica Argentina; 30-1, 104-109.

- **Azcuy, C.L., Morelli, J.R., Valencio D.A. y Vilas, J.F., 1979**. Estratigrafía de la comarca Amaná-Talampaya. Congreso Geológico Argentino. Neuquén, 1: 243-246

- **Azcuy, C.L., Andreis, R.R., Cuerda, A., Hünicken, M.A., Pensa, M.V., Valencio, D.A. y Vilas, J.F., 1987**. Cuenca Paganzo. En Archangelsky, S. (ed.), El Sistema Carbonífero en la República Argentina. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba. pp 41-100.

- **Baldis, B. y Chebli, G., 1969.** Estructuras profundas del área central de la Precordillera sanjuanina. Actas IV Jornadas Geológicas Argentinas, I: 47-65. Mendoza.

- **Bodenbender, G., 1896.** Sobre la edad de algunas formaciones carboníferas de la República Argentina. Revista del Museo de la Plata No 7:131-148. Córdoba.

- **Bodenbender, G., 1911.** Constitución geológica de la parte meridional de La Rioja y regiones limítrofes, República Argentina. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias, 19 (1): 5-221. Córdoba.

- **Bodenbender, G., 1916**. El Nevado de Famatina. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias, 21: 100-182. Córdoba.

- **Boulton, G.S. y Hindmarsh, R.C.A., 1987**. Sediment deformation beneath glaciers: rheology and sedimentological consequences. *Journal of Geophysics Research* 92 (B9): 9059-9082.

- **Borrello, A., 1955.** Los conglomerados del cerro Punta Negra al oeste de Jagüé. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 10 (1): 46-53, Buenos Aires.

- **Blatt, H., 1992.**Sedimentarypetrology. W. Freeman and Co., 466 pp.

- **Bracaccini, O.I., 1946.** Los Estratos de Paganzo y sus niveles plantíferos en la Sierra de los Llanos (La Rioja). Revista de la Asociación Geológica Argentina, 22:45-54.

- **Bracaccini, O.I., 1960.** Lineamientos principales de la evolución estructural de Argentina. Petrotecnia, Revista del Instituto Argentino del Petróleo 10(6): 57-69, Buenos Aires.

- **Brackebush, L., 1891.** Mapa geológico del interior de la República Argentina. Escala 1:1.000.000. Gotha. Acad. Nac. Cs. Córdoba.

- **Branney, M.J. y Kokelaar, P., 2002**. Pyroclastic density currents and the sedimentation of ignimbrites. Geological Society of London, Memoria 27, London, 143 pp.

- **Brookfield, M.E., 1977.**Theorigin of bounding surfaces in ancient eolian sandstone. Sedimentology 24: 303-332.

- **Brown, A.C., 2005**. Refinements for footwall red bed diagenesis in the sediment-hosted stratiform copper deposits model. Economic Geology 100: 765-771.

- **Buatois, L.A., 1991.** Trazas fósiles y dinámica sedimentaria de los lagos carboníferos de la Cuenca de Paganzo. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Buenos Aires (inédito).

- **Buatois, L.A. y Mángano, M.G., 1995 a.** Sedimenty dinamics and evolution a history of a late Carboniferous Gondwanic lake at Northwestern Argentina. Sedimentology 42:415-436.

- **Buatois, L.A. y Mángano, M.G., 1996.** Sedimentación lacustre postglacial en la Formación Agua Colorada, Carbonífero superior del Sistema de Famatina. Münchner Geologisc he Hefte, Reihe A, 19: 103-124; Munich.

- **Cas, R. A. y Wright, J. V., 1993.** Volcanic Succession Modern and Ancient. Allen and Unwin, London, 528 p.

- **Caselli, A.T., Limarino, C.O., Castro, L.N., 1997.** Hallazgo de concreciones con micas vanadíferas en sedimentitas de la Formación Patquía (Pérmico), sierra de Maz, Provincia de La Rioja. Facultad de ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Asociación Geológica Argentina.

- **Césari, S.N., 1987.** Estudio sistemático de las plantas fósiles de la Formación La Colina (Paleozoico Superior), provincia de La Rioja. Anales Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 39:179-194. Buenos Aires.
- **Césari, S.N. y Gutiérrez, P.R., 2001.** Palynostratigraphy of Upper Paleozoic sequences in Central-Western Argentina. Palynology, 24:113-146.

- **Césari, S.N. y Limarino, C.O., 2002**. Palynology of glacial sediments from the Guandacol Formation (Middle Carboniferous) in the Cerro Bola area, Paganzo Basin, Argentina. Alcheringa, 26:159-176.

- **Césari, S.N., Limarino C.O., y Gulbranson, E.L., 2011**. An Upper Paleozoic biochronostratigraphic scheme for the western margin of Gondwana. Earth-Science Reviews. 106:149-160.

- **Coleman, M.L., 1985**. Geochemistry of diagenetic non-silicate minerals; kinetic considerations. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, 315, 39-56.

- **Coturel, P.E.,2013**. Bioestratigrafía del Pérmico de la sierra de los Llanos, La Rioja (Cuenca Paganzo), sobre la base de la megaflora y su correlación con áreas relacionadas. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata.

- **Cuerda, A.J., 1948.** Nota sobre un perfil geológico en la Alta Cordillera. Revista de la Asociación Geológica Argentina 3 (4): 258-260.

- **Clark, P.U., 1991.**Striatedclastpavements: Products of deforming subglacial sediment *Geology* 19: 530-533.

- **Clemmensen, L.B. y Abrahamsen, K., 1983.**Aeolianstratification and facies association in desert sediments, Arranbasin (Pemian), Scotland. Sedimentology 30: 311-339.

- **Diez, J., Santomero, A., Antonietti, C. y Gorustovich, S., 1981.** Favorabilidad Uranífera del Paleozoico Superior y Triásico en la Argentina. VIII Congreso Geológico Argentino, Actas II: 807-826. San Luis.

- **Domeier, M., Van der Voo, R., Tohver, E., Tomezzoli, R.N., Vizan, H., Torsvik, T.H., Kirshner, J.A., 2011 a.** New Late Permian constraint on the apparent polar wander path of Gondwana. Geochemistry Geophysics Geosystems 12.doi: 10.1029/2011GC003616

- **Dunham, R. J., 1962.** Classification of carbonate rocks according to depositional texture. En: W. E. Ham. (Edit.). Classification of carbonate rocks. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. I:108-121.

- **Eyles, N., Eyles, C.H. y Miall, A.D., 1983**. Lithofacies types and vertical profile models; an alternative approach to the description and environmental interpretation of glacial diamict and diamictite sequences. Sedimentology 30: 393-410.

- **Ezpeleta, M., 2009.** El Paleozoico Superior de la Región Central de Famatina: un enfoque téctono-sedimentario. Universidad Nacional de Catamarca.

- **Fernández Garrasino, C.A., 1992**. Aspectos geológicos de algunas serranías del noroeste argentino y temas exploratorios conexos. Boletín de informaciones petroleras (BIP). Inédito.

- **Fernández Seveso, F., Pérez, M.A. y Álvarez, L., 1990.** Análisis estratigráfico del ámbito de la Cuenca Paganzo, en el rango de grandes ciclos depositacionales. 12° Congreso Geológico Argentino, San Juan. Actas, 2: 77-88.

- **Fernández Seveso, F., Perez M. y Brisson, I., 1991.** Estratigrafía y potencial generador de hidrocarburos en los bolsones de Fiambalá y Chaschuil, Tomo I. Anexo con Mapa Geológico de los bolsones de Fiambalá y Chaschuil, Región de la Abaucania, escala 1:250.000. Yacimientos Petrolíferos Fiscales, informe inédito; Buenos Aires.

- **Fernández Seveso, F., Perez, M., Brisson, I. y Álvarez, L., 1993 a.** Análisis de cuenca: Técnicas aplicadas en la serie carbónica-pérmica del Paganzo. Boletín de Informaciones Petroleras, 33:77-108; Buenos Aires.

- **Fernández Seveso, F., Perez, M., Brisson, I. y Álvarez, L., 1993 b.** Sequence stratigraphy and tectonic analysis of the Paganzo Basin, Western Argentina. Comptes Rendus, 12° International Congress on Carboniferous-Permian 2: 223-260

- **Fernández Seveso, F. y Tankard, A., 1995.** Tectonics and stratigraphy of the Late Paleozoic Paganzo Basin of Western Argentina and its regional implications. A.A.P.G. Memoir 62:285-301.

- **Folk, R.L.; Andrews, P.B. y Lewis, D.W., 1970.** Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zeland. New Zeland Journal of Geology and Geophysics 13: 937-968 pp.

- **Frenguelli, J., 1943.** Acerca de la presencia de "Rhacopterisovata" en el Paganzo de Villa Unión La Rioja. Revista del Museo de La Plata (n.s), Geología, 2 (15):231-265. La plata.

- **Fryberger, S. G. y Ahlbrandt, T. S., 1979.**Mechanismsfortheformation of aeoliansand seas. *Zeitschriftfur Geomorphologie,* 23 (4), 440-460.

- **Fryberger, S.G., Ahlbrandt, T.S. y Andrews, S., 1979.** Origin, sedimentary features, and significance of low-angle eolian sand sheet deposits, Great Sand Dunes National Monument and vicinity, Colorado. I. Sedim. Petrol. 49: 733-746.

- **Geinitz, H., 1876.** Uber Rhaetische Pflanzeo and Thierresten in den Argentinichen Provinzan La Rioja, San Juan und Mendoza. Paleontographicasuppi III. 2:1-14. Stuttgart.

- **Gierlowski-Kordesch E. H. 1998.** Carbonate deposition in anephemeral siliciclastic alluvial system: Jurassic Shuttle Meadow Formation, Newark Supergroup, Hartford Basin, USA. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 140: 161-184.

- **González Diaz, E., 1971.**Informe geológico preliminar, hoja 12b, Ojos del Salado. Servicio Geológico Nacional (inédito), Bs. As.

- **Gorustovich, S., 1977.** Informe sobre el área La Alumbrera. Informe Interno Nº 469/77. CNEA, Regional Noroeste.

- **Gorustovich, S. y Solís, J., 1973.** Estudio geológico radimétrico de la Manifestación "La Tambería" dpto. Tinogasta, Catamarca. Informe Interno 117. CNEA.

- **Gorustovich, S. y Guidi, F., 1998.** Metalogénesis del uranio en la región sudoccidental de la provincia de Catamarca, Argentina. Publicación Especial N° 3 del Instituto de Geología y Minería de Jujuy, 3: 59-69.

- **Gorustovich, S., Burgos, J. y Romano, H., 1987.** Formación de la Cuesta, su interés uranífero, Prov. de Catamarca y La Rioja. X Congreso Geológico Argentino, Actas II: 197-200. Tucumán.

- **Gutiérrez, P.R., 1993.** Palinología de la Formación Agua Colorada (Carbonífero Superior) sierra de Famatina, provincia de La Rioja, Argentina. Revista de la Asociación Paleontológica de Argentina (Ameghiniana), No 30 (2): 163-212. Buenos Aires.

- **Gutiérrez, P.R., Zavattieri, A. M., Ezpeleta, M. yAstini, R. A., 2010.** En prensa. Palynology of the La Veteada Formation (Permian) at the Sierra de Narváez, Catamarca Province, Argentina. Revista de la Asociación Paleontológica de Argentina (Ameghiniana), Buenos Aires.

- **Hiztman, M., Kirkham, R, Broughton, D., Thorson, J. y Selly, D., 2005**. Thesediment-hosted stratiform copper ore system. En Hedenquist, J.W., Thompson J.F.H., Goldfarb R. J., y Richards J. P., (eds.) Economic Geology 100th Aniversary Volume: 609-642, Littleton.

- **Hunter, R.E., 1977 a.** Basic types of stratification in small eolian dunes. Sedimentology 36: 1037.1051.

- **Hunter, R.E., 1977 b.** Terminology of cross-stratified sedimentary layers and climbing-ripple structure. Journal of sedimentary petrology 47: 697-706.

- **Isbell, J.L., Henry, L.C., Gulbranson, E.L., Limarino, C.O., Fraiser, M.L., Koch, Z.J., Ciccioli, P.L., Dineen, A.A., 2012**. Evaluations of glacial paradoxes during the late Paleozoic Ice Age using the concept of the equilibrium line altitude (ELA) as a control on glaciations. Gondwana Research, 22, 1–19.

- **Kocurek, G., 1981**. Significance of interdune deposits and boundin surfaces in Aeolian dune sands. Sedimentology 28: 753-780.

- **Kokogian, D.A., Boggetti, D.A., y Rebay, G.A., 1989.** Cuenca Cuyana. El análisis estratigráfico secuencial en la identificación de entrampamientos estratigráficos sutiles. 1er. Congreso Nacional de Exploración de Hidrocarburos (Mar del Plata) 2, p. 649-674, Buenos Aires.

- **Koukharsky, M., 1969.** Perfiles geológicos realizados en los ríos Cazadero Grande y Tres Quebradas y en el Camino de los Patos. Provincia de Catamarca. Instituto Nacional de Geología y Minería, Plan NOA I (inédito).

- **Kurtz, F., 1921.** Atlas de plantas fósiles de la República Argentina. Actas de la Academia Nacional de Ciencias. 7:129-153. Córdoba.

- **Limarino, C.O., y Spalletti, L.A., 1986.** Eolian Permian deposits in west and northwest Argentina. Sedimentary Geology, v. 49, p. 109-127.

- **Limarino, C.O., y Césari, S., 1987.** Consideraciones sobre la edad de la sección superior del Grupo Paganzo (Paleozoico Superior). República Argentina. In Congreso Latinoamericano de Paleontología y Bioestratigrafía, Acta No. 4, Memorias 1: 315-330. Santa Cruz de la Sierra.

- **Limarino, C.O. y Caselli, A.T., 1995.** Cherts (ftanitas) y niveles de silicificación en la sección superior del Grupo Paganzo (Pérmico), noroeste argentino. Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología Vol. 2, N° 1-2: 37-56.

- **Limarino, C.O., Caselli A.T.; Net, L.I. y Gagliardo, M., 1996.** A propose of psefite classification relationed to sand and sandstone composition.

- **Limarino, C.O., Césari, S.N., Net, L.I., Marenssi, S.A., Gutiérrez, P.R. y Tripaldi, A., 2002.** The Upper Carboniferous postglacial transgression in the Paganzo and Río Blanco basins (northwestern Argentina): facies and stratigraphic significance. Journal of South American Earth Sciences, 15:445-460.

- **Limarino, C.O. y Spalletti, L.A., 2006.** Paleogeography of the Upper Paleozoic basins of Southern South America: An overview. Journal of South American Earth Sciences, 22:134-155.

- **Limarino, C., Spalletti, L. y Colombo Piñol, F., 2010.** Evolución paleoambiental de la transición glacial-postglacial en la Formación Agua Colorada (Grupo Paganzo), Carbonífero, Sierra de Narváez, NO argentino. Andean Geology 37 (1): 121-143.

- **Llambías, E., Kleiman, L. y Salvarredi, J., 1993.** El Magmatismo Gondwánico. En Ramos, V. (ed.) Geología y Recursos Naturales de Mendoza, 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio: 53-64, Mendoza.

- **Llambías, E. J., 2003.** Geología de los cuerpos ígneos. Asociación Geológica Argentina, Instituto superior de correlación geológica 182p., Buenos Aires.

- **Llambías, E. J., 2011.** Ciclo Gondwánico la provincia magmática Choiyoi en Neuquén. XVIII Congreso geológico argentino.

- **López Gamundi, O.R., 1983.** Origen y sedimentología de las diamictitas del paleozoico superior de la República Argentina (con especial referencia a la cuenca de Calingasta – Uspallata). Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Inédita.

- **López Gamundi, O.R., 1989.** Postglacial transgressions in late Paleozoic basins of western Argentina: a record of glacioeustatic sea level rise. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 71: 257-270.

- **López Gamundi, O., Álvarez, L., Andreis, R., Bossi, G., Espejo, I., Fernández Seveso, E, Legarreta, L., Kokogian, D., Limarino, O., Sesarego, H., 1989**. Cuencas Intermontanas. In G. Chebli y L. Spalletti (eds.). Cuencas Sedimentarias Argentinas. Serie Correlación Geológica, 6, 123-167. Tucumán.

- **López Gamundi, O., Espejo, I., Conaghan, P., y Powell, C.M., 1994.** Southern South America, in Permian-Triassic Pangean Basins and Fold belts along the Panthalassan margin of western Gondwanaland, pp. 281-329, eds. Veevers, J. y Powell, C.Mc A., Geological Society of America, Memoir 184.

- **López Gamundi, O. R., 1997.** Glacial-postglacial transition in the Late Paleozoic basins of southern South America. En: I.P. Martini, (ed.), Late Glacial and Postglacial Environmental Changes: Quaternary, Carboniferous-Permian, and Proterozoic. Oxford, Oxford University Press, 147-168.

- **López Gamundi, O. R., y Buatois, L., 2010.** Introduction: Late Paleozoic glacial events and postglacial transgressions in Gondwana. The Geological Society of America Special Paper 468 p. 5-8.

- **López Gamundi, O.R. y Martinez, M., 2000.** Evidence of glacial abrasion in the Calingasta-Uspallata and western Paganzo basins, mid-Carboniferous of western Argentina. Palaeogeography, Palaeoclimatology.

- **López, R. y Clerici C., 1990.** Nuevos depósitos de areniscas eólicas y lacustres en la Formación de la Cuesta (Pérmico del Sistema de Famatina), Congreso Geológico Argentino, No. 9. Actas 2, 453- 456, San Juan.

- **Maisonave, H.M., 1973.** Estratigrafía de los alrededores de Chaschuil, Dpto. Tinogasta, Provincia de Catamarca. V Congreso Geológico Argentino, Actas No. 4 (75-87), Buenos Aires.

- **Maisonave, H.M., 1979.** Descripción geológica de la Hoja 14C Cerros Cuminchango. Boletín del Instituto Nacional de Geología y Minería. Buenos Aires.

- **Mc Carthy K., Niemann M., Palmowski, D., 2011**. La Geoquímica básica del petróleo para la evaluación de rocas generadoras. Olifield Review, No 23. Houston, Texas.

- **McKee, E.D. (Ed.), 1979.** A study of global sand seas. U. S. Geological Survey, profesional paper 1052, 429 pp.

- **Mercado, M., 1982.** Hoja Laguna Negro Francisco. Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), Carta geológica N° 56; Santiago de Chile.

- **Miall, A., 1996.** The geology of fluvial deposits. Sedimentary facies, Basins analysis and petroleum geology. Springer eds. 582 p.

- **Mpodozis, C., Kay, S., Coira, B. y Gardeweg, M., 1998.** Delaminación cortical en los Andes Centrales Análisis de sus consecuencias magmáticas y tectónicas. Proyecto Fondecyt - Chile: N° 1950025; Santiago de Chile (inédito).

- **Mutti, E., Davoli G., Tinterri, R. y Zavala C., 1996.** The importance of fluvio-deltaic, systems dominated by catastrophic flooding in tectonically active basins. *Mem. Sci Geol.,* v. 48, pp. 233-391. Padova.

- **Net, L.I., 1999.** Petrografía, diagénesis y procedencia de areniscas de la sección inferior del Grupo Paganzo (Carbonífero) en la cuenca homónima. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires, 498 pp. (inédito).

- **Net, L.I., y Limarino, C.O., 1999.** Paleogeografía y correlación estratigráfica del Paleozoico Tardío de la Sierra de Los Llanos, Provincia de La Rioja, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 54:229-239.

- **Pettijhon, F.J., 1975.** Sedimentary Rocks. 2da ed. Eds: Harper and Row, Nueva York, 628 pp.

- **Pettijohn, F.J., Potter P.E., y Siever, R., 1987.** Sand and Sandstones. Springer Verlag, New York, 553 pp.

- **Pérez Loinaze, V.S., Limarino, C.O., y Césari, S.N., 2010.** Glacial events in Carboniferous sequences from Paganzo and Río Blanco Basins (northwest Argentina): Palinology and depositional setting. Geológica Acta, 8:399-418.

- **Polanski, J., 1970.** Carbónico y Pérmico de la Argentina. Eudeba, Buenos Aires.

- **Potonié, H., 1909.** Die Tropen – Sumpfflachomor-Natur der Moore des Produktiven Carbons: Königliche Preussische- Geologische Landesanstalt, Jahrbuch, Bd.XXX, Teil I Heft 3, p389-443.

- **Ramos, V., 1988.** Tectonics of the Late Proterozoic–Early Paleozoic: a collisional history of Southern South America. Episodes 11, 168–174.

- **Reynolds, S., y Gorsline, 1992.** Clay microfabric of Deep-sea detrital mud (Stone)s. California continental bordearland, Journal sedimentary petrology. 62-4153.

- **Rocher, S., Vallecillo G., Castro B., y Alasino P., 2015.** El Grupo Choiyoi (Pérmico temprano-medio) en la Cordillera Frontal de Calingasta, San Juan, Argentina: volcanismo de arco asociado a extensión. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan.

- **Roubault, M., y Coppens, R., 1958.** "Migration of Uranium in Crystalline Rocks and the Possible Relation of this Phenomenon to the Génesis of Certain Deposits. Proceding Geneva Conference, vol. II, pp. 335-337.

- **Rubiolo, D., 2001.** Hoja Geológica 2769-IV Fiambalá (Provincias de Catamarca y La Rioja). Programa Nacional de Cartas Geológicas 1:250000, SEGEMAR, Buenos Aires.

- **Salfity, J. y Gorustovich, S., 1983.** Paleogeografía de la Cuenca del Grupo Paganzo (Paleozoico Superior). Revista de la Asociación Geológica Argentina. 38 (3-4): 437-453. Bs. As.

- **Salfity, J. y Gorustovich, S., 1981.** Paleogeografía del Carbónico en la cuenca de Paganzo, República Argentina. Acta Geológica Lilloana XV: 3. Instituto Miguel Lillo, S. M. de Tucumán.

- **Sánchez, T.M., 2006**. La Historia de la vida en pocas palabras. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, (última reedición 2009), 200 p., Córdoba.

- **Scalabrini Ortiz, J., 1970.** Litología, Facies y biofacies del Carbónico marino en el norte de la Precordillera San Juanina (Zona del Rio Blanco). Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Inédita.

- **Scasso, R. A. y Limarino, C.O., 1997.** Petrología y Diagénesis de Rocas Clásticas. Asociación Argentina de Sedimentología, Publicación Especial n° 1, 257 pp. Buenos Aires.

- **Schemerhorm, L.J., 1966.** Terminology of mixed coarse-fine sediments. Jour. Sed. Petrol., 36:831-835.

- **Sosic, M., 1972.** Descripción Geológica de la Hoja 14d, Tinogasta, provincias de Catamarca y La Rioja. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 134; Buenos Aires.

- **Spalletti, L.A., Limarino, C.O y Colombo Piñol, F., 2010**. Internal anatomy of an erg sequence from the aeolian - fluvial system of the De La Cuesta Formation (Paganzo Basin, northwestern Argentina). Geológica acta. Vol. 8, N°4 (431-447), Barcelona, España.

- **Stelzner, A., 1885**. Beiträgezur Geologie und Paläontologie der Argentinischen Republik.I. Geologischer Teil. Cassel. Traducción al castellano (1924): Contribuciones a la geología de la República Argentina. Boletían Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, 7: 1-128.

- **Stopes M.C., 1919.** On the four visible ingredients in banded bituminous coal: studies in the composition of coal. Pro Roy soc. serie B. 90: 470-487. London.

- **Sutton, S.J. y Maynard, J.B., 2005.** A fluid mixing model for copper mineralization at Konkola North: Zambian Copperbelt. Journal of African Earth Sciences 42: 95-118.

- **Tissot B. P. y Welte D. H.,1978.** Petroleum Formation and Occurrence: A New Approach to Oil and Gas Exploration XVIII538 pp., Berlin, Heidelberg, New York.

- **Tucker, M.E. y Wright, V.P., 1990.** Carbonate sedimentology. Wiley-Blackwell, 482 p. Amsterdam.

- **Tucker, M., 2003.** Sedimentary Rocks in the field (3rd edition). Wiley-Blackwell Publishing, 234 pp. Oxford

- **Turner, J.C.M., 1960.** Estratigrafía del tramo medio de la Sierra de Famatina y adyacencias (La Rioja), Boletín de la Academia Nacional de Ciencias, 41, pp 109-112.

- **Turner, J.C.M., 1964.** Descripción geológica de la Hoja 15c, Vinchina (prov. de La Rioja). Dirección Nacional de Geología y Minería, Bol. 96, Buenos Aires. pp. 39-41.

- **Turner, J.C.M., 1967.** Descripción geológica de la Hoja13b Chaschuil (provincias de Catamarca y La Rioja). Boletín Instituto Nacional de Geología y Minería 106: 1-78.

- **Vera Torres, J.A., 1994.** Estratigrafía, Principios y métodos. Editorial Rueda, 806 págs. Madrid.

- **Villar J.H. y López Gamundi O. R., 1993.** Carbones y pelitas carbonosas del Carbonífero de la Cuenca Paganzo: contexto litofacial y potencial generador de hidrocarburos. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploraciones de Hidrocarburos. Acta No. 7, I (375-381). BIP.

- **Wilson, I.G., 1972.** Aeolian bed forms-their development and origin. Sedimentology, 19 (3-4), 173-210.

- **Zavala, C., 2004.** Curso de Sedimentología predictiva. Universidad Nacional del Sur. 196 pp.

- **Zurbriggen, M.J., 1993.** Perfil sedimentológico-estratigráfico en la Quebrada de las Higueritas. Dpto. Tinogasta, Provincia de Catamarca. Trabajo Final de licenciatura, Facultad de Ciencias Físico, Matemáticas y Naturales, Universidad Nacional de San Luis, inédito.

BIBLIOGRAFÍA

- **Arche, A., 2010**. Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria. C.S.I.C., 1288 pp. Madrid.

- **Benedetto, J.L., 2010.** El continente de Gondwana a través del tiempo. Una introducción a la Geología Histórica. Córdoba, Argentina: Academia Nacional de Ciencias: 373 pp.

- **Branney, M.J. y Kokelaar, P., 2002.** Pyroclastic density currents and the sedimentation of ignimbrites. Geological Society of London, Memoria 27, London, 143 pp.

- **Corrales I.; Rosell J.; Sánchez de la Torre L.; Vera, J. A. y Vilas, L. (1971).** *Estratigrafía.* Rueda, Madrid, 718 págs

- **Caselli A.T. (1998).** Estratigrafía y sedimentología de las formaciones Patquia (Pérmico) y Talampaya (Triásico Inferior) en las Sierras Pampeanas Noroccidentales y Precordillera central (provincias de La Rioja y San Juan). Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires.

- **Eyles, N., Eyles, C.H. y Miall, A.D., 1983**. Lithofacies types and vertical profile models; an alternative approach to the description and environmental interpretation of glacial diamict and diamictite sequences. Sedimentology 30: 393-410.

- **Gutiérrez, P.R., Ottone, E.G. y Japas, S.M. (Eds.) 2006**.Léxico Estratigráfico de la Argentina. (vol. 7, pp. 28-368): Asociación Geológica Argentina, Serie B (Didáctica y Complementaria).

- **González Bonorino, F. y Teruggi, M. (1952).** Léxico sedimentológico.

- **Llambías, E.J. (2003).** Geología de los cuerpos ígneos. AGA-INSUGEO, Buenos Aires, 182 pp.

- **Miall, A. 1996.** The geology of fluvial deposits. Sedimentary facies, Basins analysis and petroleum geology. Springer eds. 582 p.

- **Sánchez, T.M. (2006).** La Historia de la vida en pocas palabras. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, (última reedición 2009), 200 p., Córdoba.

- **Scasso, R.A. y Limarino C.O., (1997).** Petrología y diagénesis de rocas clásticas [Edición especial]. Buenos Aires: Asociación Argentina de Sedimentología.

- **Polanski, J. (1970).** *Carbónico y Pérmico de la Argentina.* Eudeba. Buenos Aires:

- **Pettijhon, F.J. (1975).** *Sedimentary Rocks,* Harper & Row, New York.

- **Vera Torres, J.A. 1994.** Estratigrafía, Principios y métodos. Editorial Rueda, 806 pp. Madrid.

- **Llambías, E. 1999**. El magmatismo gondwánico durante el Paleozoico superior-Triásico. (ed.) Geología Argentina, Subsecretaría de Minería de la Nación, Anales 29: 349-376, Buenos Aires.

- **Teruggi, M.E., Mazzoni, M.M., Spalletti, L.A. y Andreis, R.R., 1978.***Rocas piroclásticas, interpretación y sistemática* [Edición especial]. Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina. serie B 5, 45 pp.

- **Tucker, M.E. y Wright, V.P., 1990.** Carbonate sedimentology. Wiley-Blackwell, 482 p. Amsterdam.

- **Caselli, A.T., 1998.** Estratigrafía y sedimentología de las formaciones Patquía (Pérmico) y Talampaya (Triásico Inferior), en las Sierras Pampeanas Noroccidentales y Precordillera Central (Provincias de La Rioja y San Juan). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

- **Mingarro E., 1964.** Consideraciones sobre la génesis de los yacimientos uraníferos I. instituto geológico minero de España, publicación No73. 171-200. Madrid, España.

- **Informe técnico, 2015.** Comisión Nacional de Energía Atómica, Regional Noroeste. Inédito.

ANEXOS

ANEXO 1. PETROGRAFÍA

MUESTRA 1, descripción: compuesta por litoclastos de cuarzo, hornblenda y plagioclasas alteradas a carbonatos. Estos minerales esenciales se disponen conformando estructuras fluidales, rellenando fracturas (microfotografía 1). Posee una matriz de granulometría extremadamente fina, difícil de apreciar, la identificación solo puede hacerse en componentes vítreos y cristalinos. Los componentes vítreos presentes, son de tonalidad clara y poseen desvitrificación parcial producto de la diagénesis, dando origen a estructuras esfeluríticas.
Los fragmentos líticos también están presentes, pero en bajas proporciones en fracción limo-arcillosa, que se exhiben en pequeñas manchas de colores pardos, incorporándose a la matriz de la roca.
Clasificación de la roca: ignimbritas.

MUESTRA 2, descripción: compuesta porfenocristales de olivino alterados a serpentina y carbonatos, insertos en pasta hipocristalina compuesta por microlitos de plagioclasas, augita (70%) y vidrio (30%). También es común la presencia de muscovita como accesorios (microfotografía 2).
Clasificación de la roca: dique diabásico.

MUESTRA 3, descripción: está compuesta por cuarzo y calcitacomo componentes escenciales, con múltiples inclusiones.Los granos de cuarzo poseen extinciones ondulíticas y los carbonatos se destacan por sus formas anhedricas donde en ocasiones puede apreciarse su foliacion (en dos direcciones), y frecuentemente sus colores de alta interferencia observados con nicoles cruzados (microfotografía 3). También están presentes biotitas secundarias, turmalinas radiales y hematitas en proporciones subordinadas. En los minerales escenciales se presentan dos clases de inclusiones de diferentes origenes. Por un lado inclusionesopacas que se exhiben en diferentes tamaños y concentraciones, y por lado, diminutos cristales de zircon con halos pleocroícos muy característicos en ellos. El fluido de las inclusiones normalmente es incorporado durante la formacion de los cristales (microfotografía 4). Las inclusiones fluidas presentes en los cuarzos componentes de filones hidrotermales, son indicadoras de una cristalización a baja temperatura, dando a dichos cuarzos un aspecto lechos en la muestra de mano.

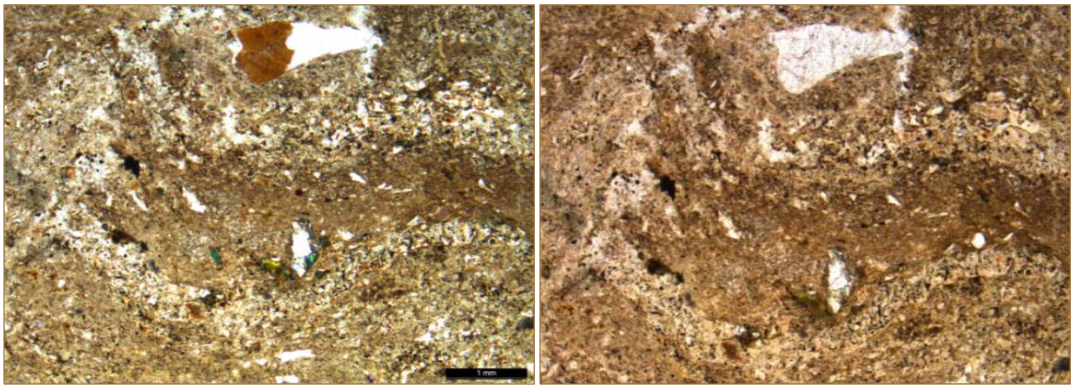
Los granos desarrollan contactos regularesy uniformes, lo cual sugiere que la silice disuelta durante el proceso de disolución hidrotermal precipito en otros puntos fuera del contacto, en forma de cemento,lo que conduce a la oclusión (cierre) de la porosidad. Esto sugiere que las areniscas presentes en la zona infrayacente, habria aportado en parte dicha silice. La portación de carbonato secundario es probablemente una migración perteneciente al dique diabásico.
Clasificación de la roca: producto de alteración hidrotermal.

MUESTRA 4, descripción: está representada por dos dominios, por una parte se presenta un pelet de arenisca que contiene mayores proporciones de matriz, con colores de interferencia de orden elevado, característico de la calcita, pudiendo tratarse de lodo carbonatado. Los granos, se presentan parcialmente reemplazados. Estos se encuentran poco seleccionados y en formas

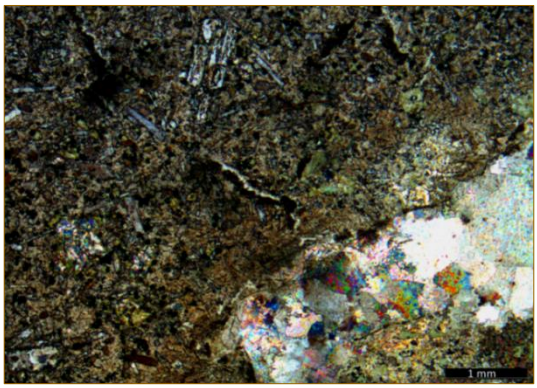
subangulosas lo cual sugiere su estado de inmadurez. La matriz que presenta se deduce que se depositó en el mismo momento que los granos, ya que no demuestra en ninguna zona que se haya introducido posteriormente en forma de cemento. Por otro lado, en los bordes exteriores del corte, se observa una arenisca de grano fino, compuesta predominantemente por cuarzo y minerales arcillosos orientados en una matriz poco visible, de composición carbonática y bajas concentraciones. La porosidad presente se observa en forma de huecos de tonos negros (microfotografía 5).

Para una adecuada clasificación modal, se requiere la realización de conteo electrónico, sin embargo, en términos cualitativos y en base a las características observadas, se infiere que se tratan de litoarenitas (clasificación de Folk, 1974). Las litarenitas son arenitas que contienen menos del 95 % de cuarzo y con una proporción de fragmentos de roca superior a feldespatos. Se las puede clasificar según la naturaleza petrográfica de los fragmentos de rocas sedimentarias, volcánicas o metamórficas (Adams, et al., 1996). El fragmento de roca presente puede proceder de rocas carbonatadas, restos removilizados de una caliza más antigua al momento de la depositación.

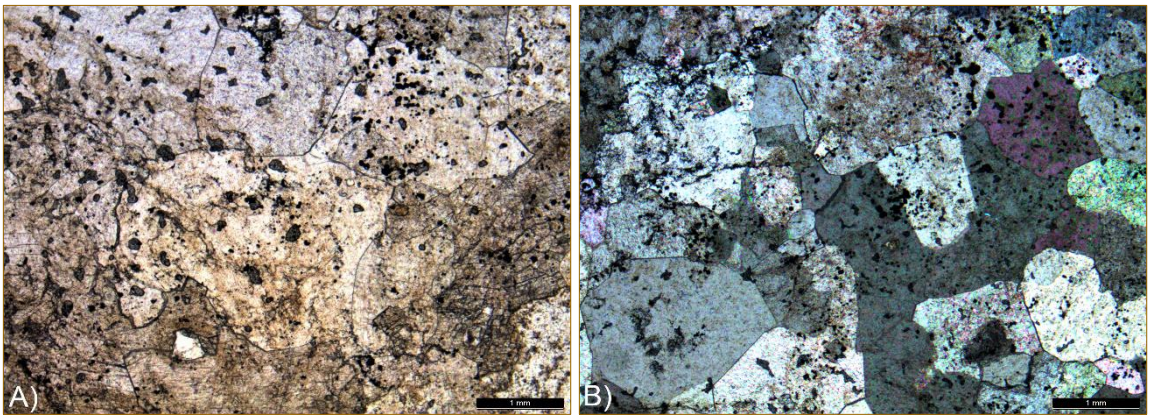
Clasificación de la roca: litoarenitas.



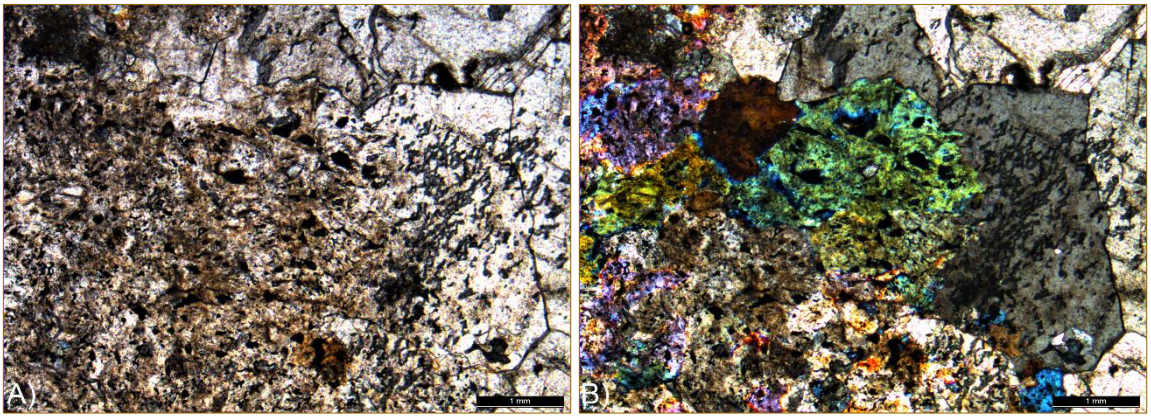
Microfotografia 1. Muestras de Ignimbritas, Formación El Cuerno(Pérmico).



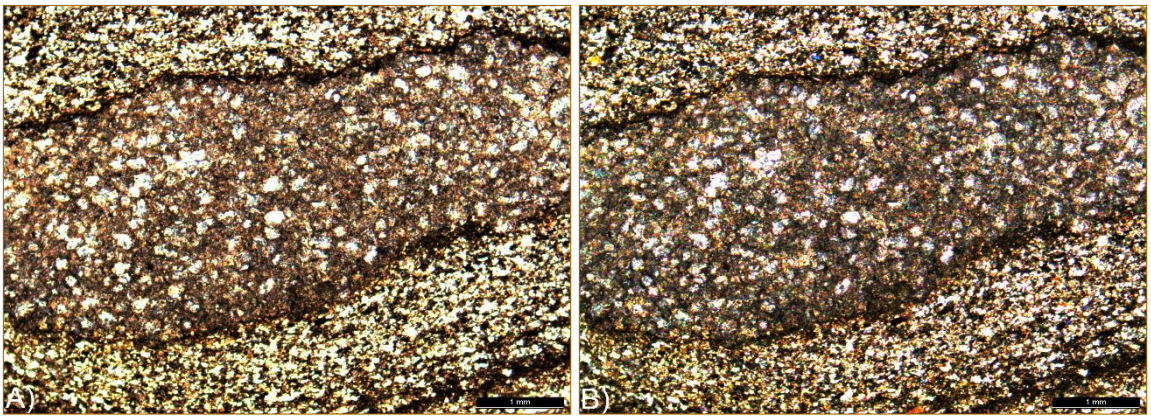
Microfotografía 2. Muestra 4, diques diabásicos (NX), Miembro Lacustre, Formación De la Cuesta.



Microfotografía 3. Corte N°1. Muestra de alteración hidrotermal, asociado a areniscas del Miembro Lacustre.

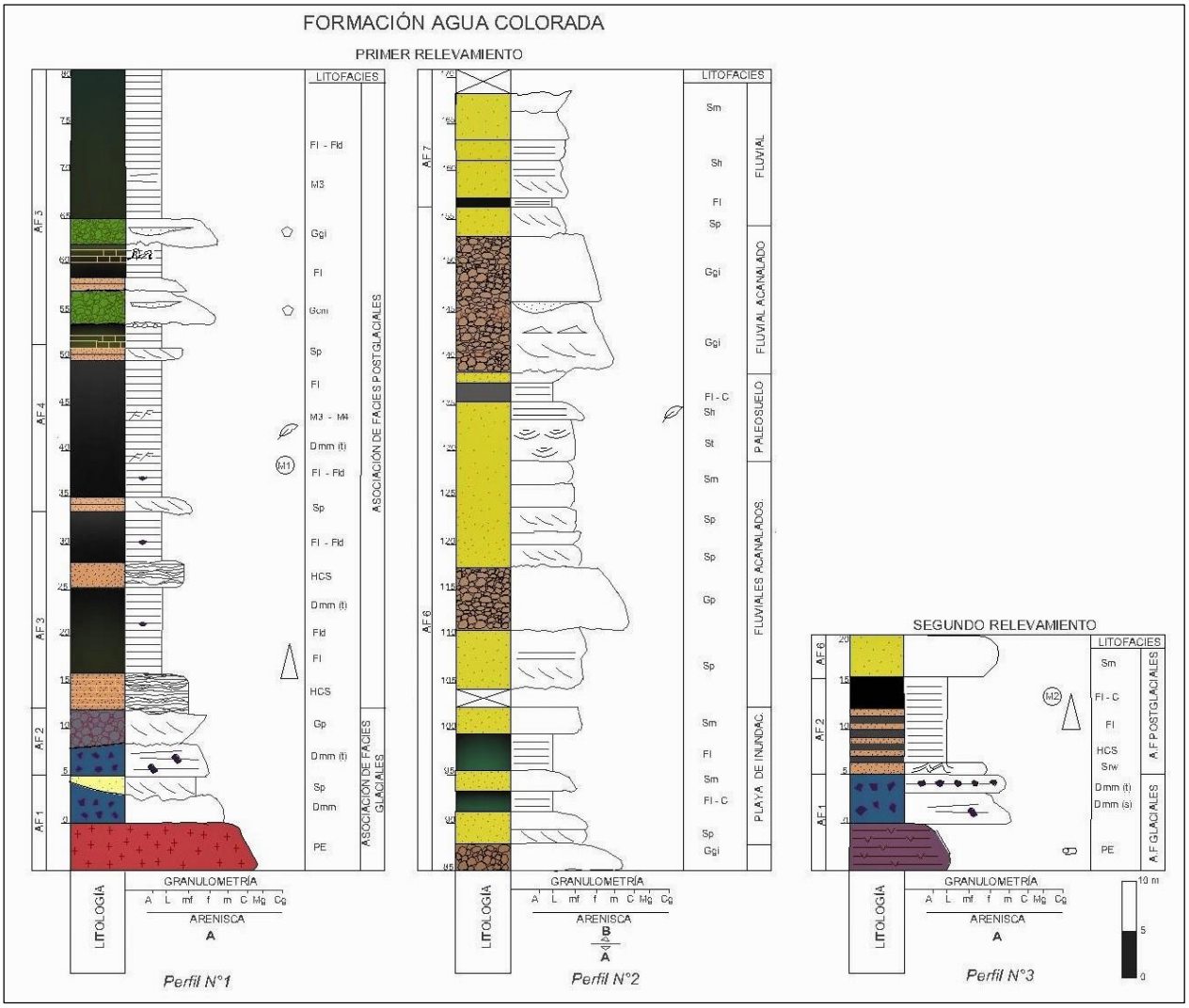


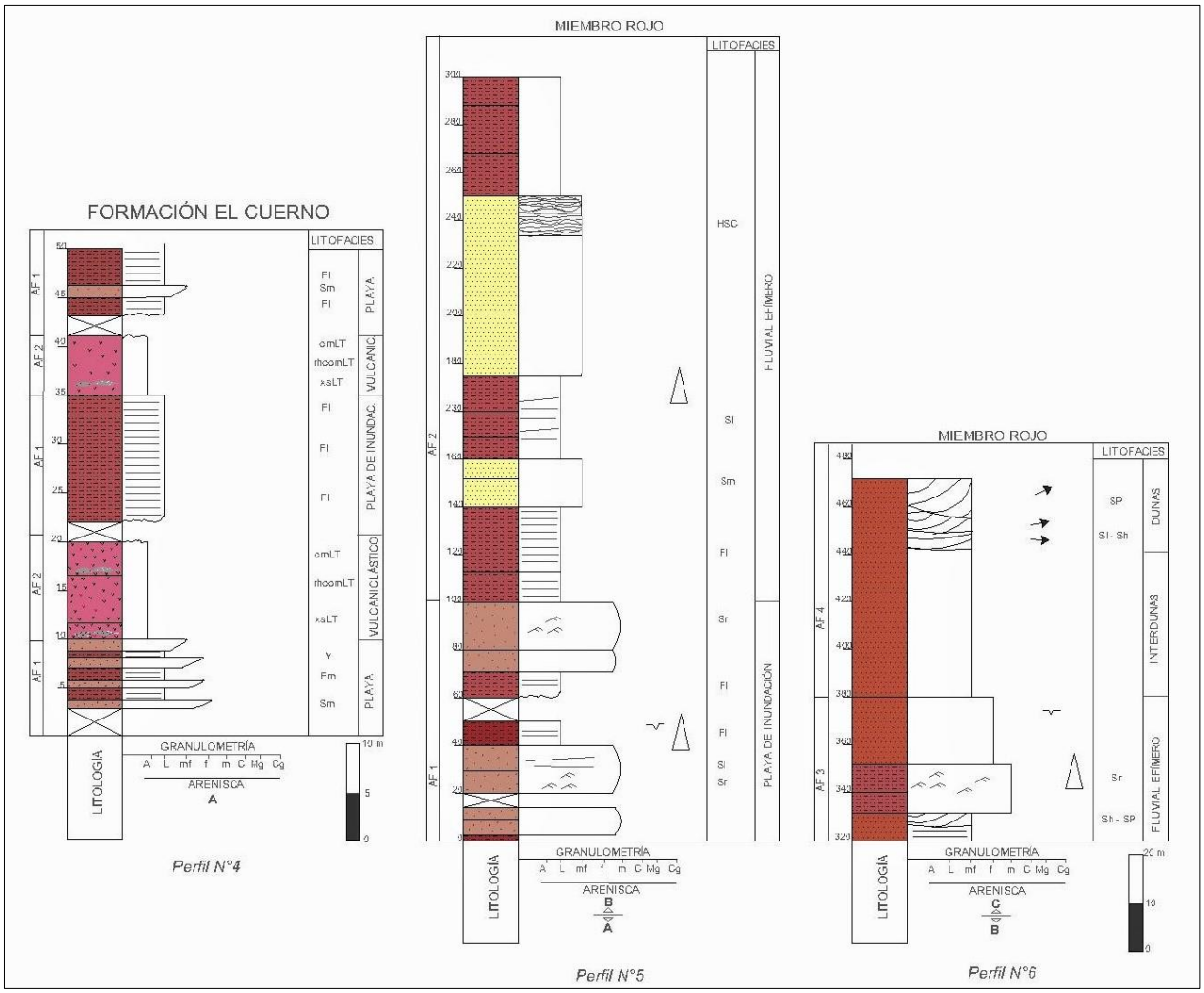
Microfotografía 4. Corte N°2.Muestra de alteración hidrotermal, asociado a areniscas del Miembro Lacustre.



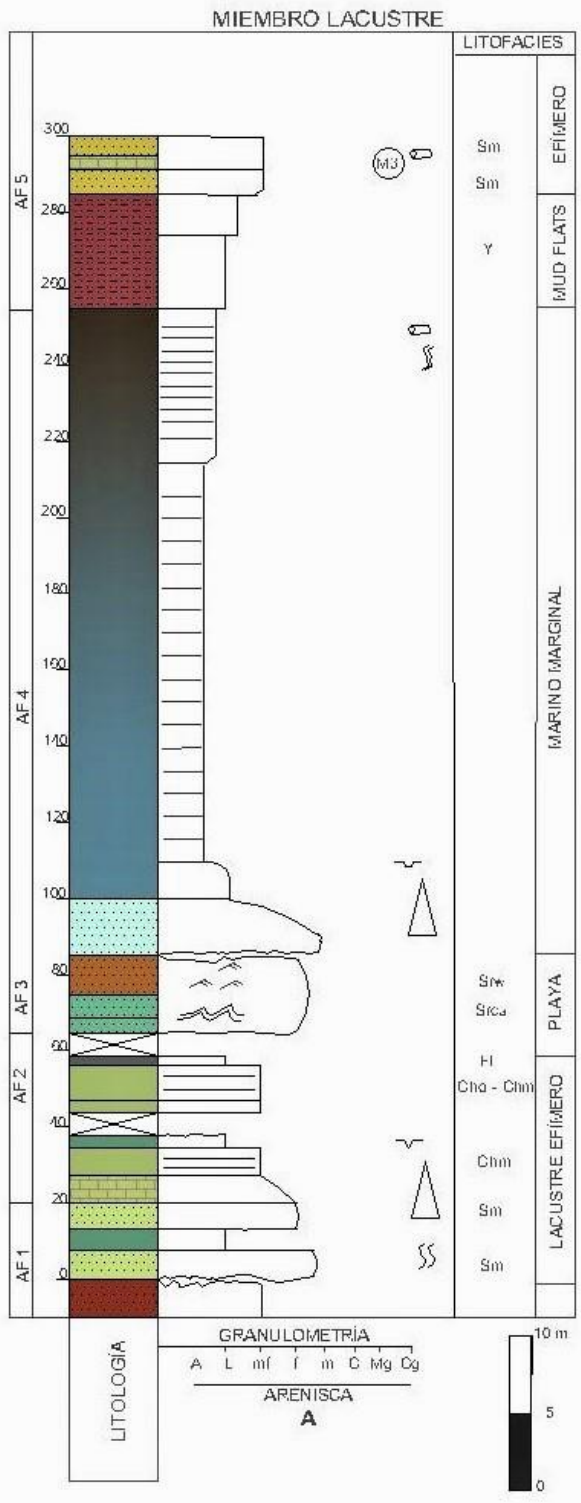
Microfotografía 5. Muestra de litoarenitas perteneciente a la faja decolorada, Miembro Lacustre, Formación De la Cuesta, provincia de Catamarca.

ANEXO 2. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS

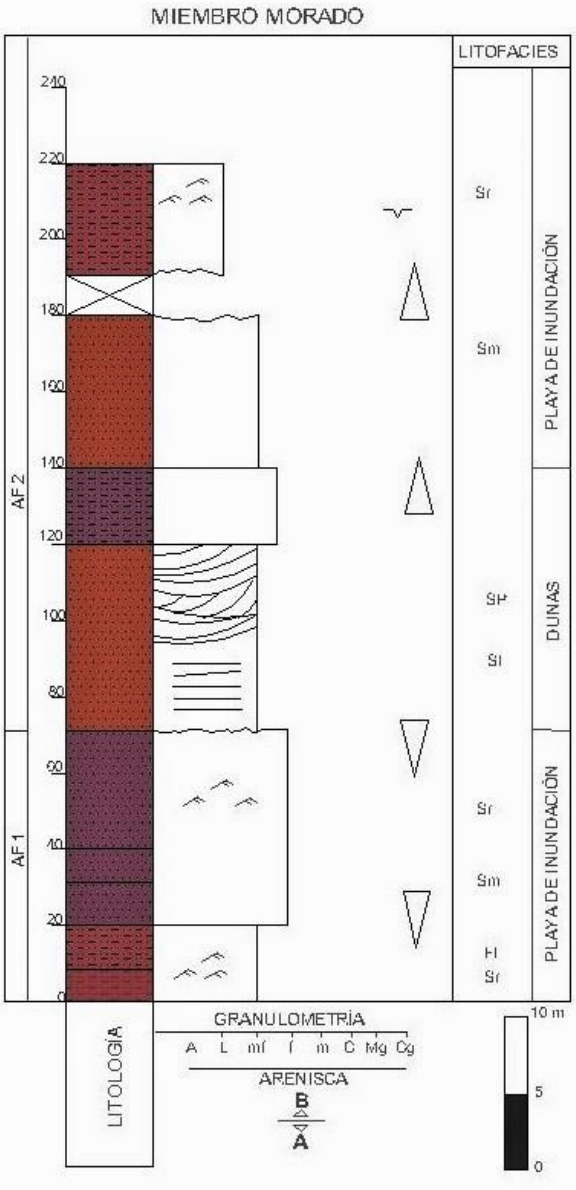

FORMACIÓN AGUA COLORADA
PRIMER RELEVAMIENTO
LITOFACIES
Fl - Fld
M3
Gci
Fl
Gcm
Sp
Fl
M3 - M4
Dmm (t)
Fl - Fld
Sp
Fl - Fld
HCS
Dmm (t)
Fld
Fl
HCS
Gp
Dmm (t)
Sp
Dmm
PE
ASOCIACIÓN DE FACIES POSTGLACIALES
ASOCIACIÓN DE FACIES GLACIALES
AF 1
AF 2
AF 3
AF 4
AF 3
LITOLOGÍA
GRANULOMETRÍA
A L mf f m C Mg Cg
ARENISCA
A
Perfil N°1
LITOFACIES
Sm
Sh
Fl
Sp
Gci
Gci
Fl - C
Sh
St
Sm
Sp
Sp
Gp
Sp
Sm
Fl
Sm
Fl - C
Sp
Gci
FLUVIAL
FLUVIAL ACANALADO
PALEOSUELO
FLUVIALES ACANALADOS
PLAYA DE INUNDAC.
AF 7
AF 6
LITOLOGÍA
GRANULOMETRÍA
A L mf f m C Mg Cg
ARENISCA
B
A
Perfil N°2
SEGUNDO RELEVAMIENTO
LITOFACIES
Sm
Fl - C
Fl
HCS
Srw
Dmm (t)
Dmm (s)
PE
A.F POSTGLACIALES
A.F GLACIALES
AF 6
AF 2
AF 1
LITOLOGÍA
GRANULOMETRÍA
A L mf f m C Mg Cg
ARENISCA
A
10 m
5
0
Perfil N°3


FORMACIÓN EL CUERNO
LITOFACIES
AF 1
AF 2
AF 1
AF 2
AF 1
Fl
Sm
Fl
cmLT
rhocmLT
xsLT
Fl
Fl
Fl
cmLT
rhocmLT
xsLT
Y
Fm
Sm
PLAYA
VULCANIC.
PLAYA DE INUNDAC.
VULCANICLÁSTICO
PLAYA
LITOLOGÍA
GRANULOMETRÍA
A L mf f m C Mg Cg
ARENISCA
A
10 m
5
0
Perfil N°4
MIEMBRO ROJO
LITOFACIES
AF 2
AF 1
HSC
Sl
Sm
Fl
Sr
Fl
Fl
Sl
Sr
FLUVIAL EFÍMERO
PLAYA DE INUNDACIÓN
LITOLOGÍA
GRANULOMETRÍA
A L mf f m C Mg Cg
ARENISCA
B
A
Perfil N°5
MIEMBRO ROJO
LITOFACIES
AF 4
AF 3
SP
Sl - Sh
Sr
Sh - SP
DUNAS
INTERDUNAS
FLUVIAL EFÍMERO
LITOLOGÍA
GRANULOMETRÍA
A L mf f m C Mg Cg
ARENISCA
C
B
20 m
10
0
Perfil N°6

FORMACIÓN DE LA CUESTA



Perfil N°7



Perfil N°8

REFERENCIAS LITOLÓGICAS

Margas

Areniscas con margas

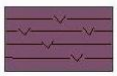
Areniscas guijarrosas

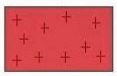
Ortoconglomerados polimícticos

Ortoconglomerados monomícticos

Paraconglomerados polimícticos

Diamictitas


Formación Suri (Ordovícico)


Granitoide Narváez (Ordovícico)

Areniscas carbonáticas

Areniscas eólicas

Ignimbritas

Areniscas limosas

Fangolitas

Areniscas arcósicas

Sabulitas

Pelitas verdosas

Pelitas carbonosas

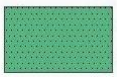
Depósitos de planicies

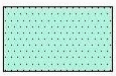
litoareniscas

Sedimentos pelágicos

Cherts estratificados

Areniscas micáceas

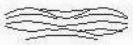

Areniscas cuarcíticas


Calcarenitas

REFERENCIAS DE ESTRUCTURAS DE ORDENAMIENTO INTERNO

Estratificación cruzada planar tabular

Estratificación entrecruzada tipo Hummocky



Estratificación cruzada en artesa

Estratificación lenticular

Laminación paralela

Laminación de bajo ángulo

Calcos de flujo

Laminación convulta

Laminación ondulitica de corriente

Ondulitas de oscilación

Cadilitos

Formas pentagonales

Dirección de paleocorrientes

Restos de materia vegetal

Grietas de desecación

Bioturbación

Trazas fósiles

Arreglos grano - estrato decrecientes

Arreglos grano - estrato crecientes

Muestras geoquimicas (M1)

Ilustración 1. Perfil tipo de la sección superior del Grupo Paganzo (tomado de Limarino y Caselli, 1995).

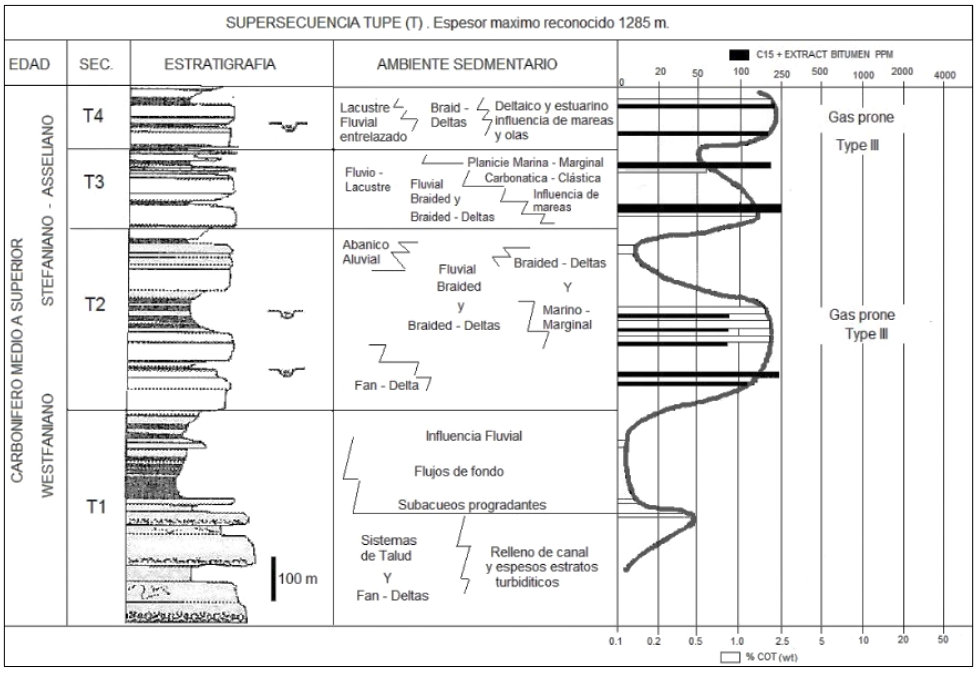


Ilustración 2. Supersecuencia Tupe (tomado de Fernández Seveso y Tankard, 1995).

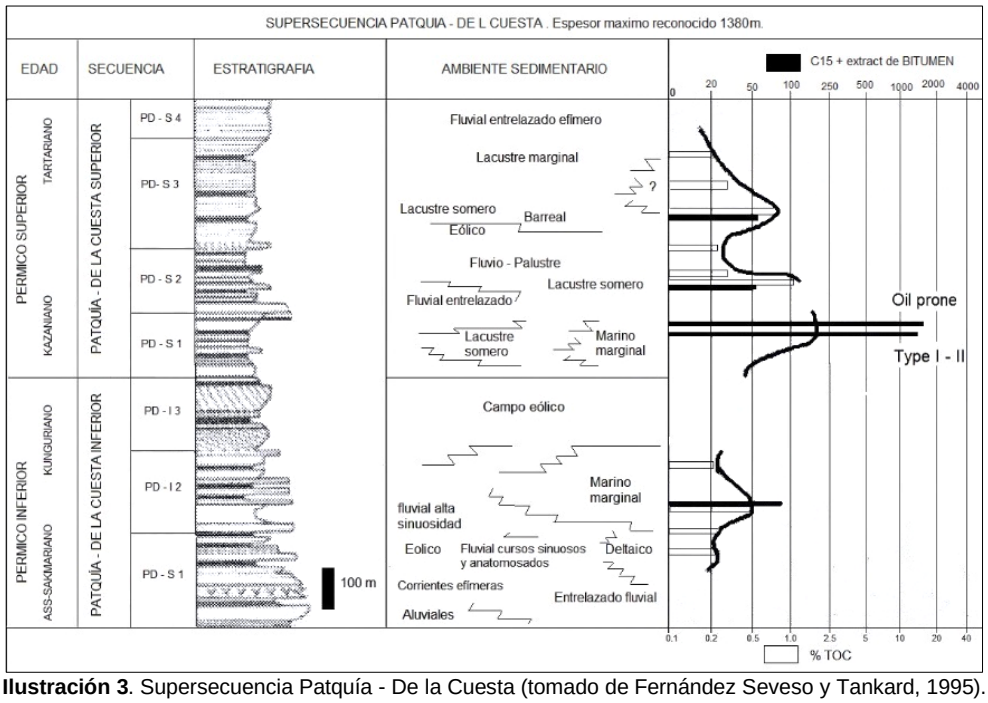


Ilustración 3. Supersecuencia Patquía - De la Cuesta (tomado de Fernández Seveso y Tankard, 1995).