

**Universidad Nacional de Río Negro
Sede Alto Valle - Valle Medio**

Licenciatura en Geología

UNRN

TRABAJO FINAL DE GRADO

Distribución y caracterización petrográfica de las areniscas de la Formación Allen (Cretácico Superior) en la margen sur del río Negro y su comparación con las unidades infrayacentes del Grupo Neuquén

Autora: Lucía Morón

Directora: Dra. Maisa Tunik

Codirector: Dr. Silvio Casadío

General Roca, Río Negro 2026

ÍNDICE

Resumen.....	2
Abstract.....	3
1. Introducción.....	4
1.1 Objetivos.....	4
1.2 Ubicación del área de estudio.....	5
1.3 Marco geológico.....	6
1.4 Formación Anacleto.....	8
1.5 Formación Allen.....	10
1.6 Modelo teórico-conceptual.....	10
2. Materiales y métodos.....	11
3. Resultados.....	13
3.1 Análisis de facies.....	13
3.2 Asociación de facies.....	14
3.3 Petrografía.....	22
3.3.1 Modas detríticas.....	22
3.3.2 Procedencia.....	25
3.4 Calidad para fractura hidráulica desde la petrografía.....	28
3.4.1 Esfericidad y redondeamiento.....	29
3.4.2 Selección.....	32
4. Discusiones.....	35
4.1 Modelo paleoambiental.....	35
4.2 Análisis petrográfico.....	37
4.3 Calidad de las areniscas como agente sostén.....	39
5. Conclusiones.....	41
6. Agradecimientos.....	42
7. Bibliografía.....	43
8. Anexo.....	51

Resumen

Este trabajo analiza la distribución y caracterización petrográfica de las areniscas de la Formación Allen (Grupo Malargüe – Maastrichtiano Tardío) en el sector oriental de la cuenca Neuquina, evaluando su potencial como agentes de sostén y comparándolas con la Formación Anacleto (Grupo Neuquén – Campaniano Medio). La importancia de la Formación Allen radica en que registra el comienzo de la primera transgresión atlántica y en su rol estratégico actual como principal fuente de arenas para fracturamiento hidráulico en la región.

La metodología de trabajo integró el relevamiento de perfiles sedimentológicos en Puesto Zinelli y Cantera YPF (Río Negro), el análisis de modas detríticas mediante la técnica Gazzi-Dickinson y la evaluación de parámetros texturales (esfericidad, redondeamiento y selección) bajo los estándares de la Norma API 19C.

Los resultados permitieron reconstruir un modelo paleoambiental que sugiere una evolución de sistemas de canales fluviales (Formación Anacleto) a ambientes marino-marginales (Formación Allen). Un resultado fundamental de esta investigación es la ausencia de facies eólicas en el área de estudio. A diferencia de interpretaciones regionales previas, se establece que dicha ausencia no responde a factores de paleorelieve local, sino a una distinción cronoestratigráfica neta: los registros eólicos y de exposición subaérea documentados en localidades vecinas, como Paso Córdoba, corresponden a la Formación Anacleto (Campaniano), mientras que las secciones analizadas representan el avance del frente transgresivo de la Formación Allen durante el Maastrichtiano.

Petrográficamente, se identificó una procedencia de arco disectado para ambas unidades, aunque la Formación Allen se distingue por un incremento en líticos volcánicos ácidos y de líticos sedimentarios. La estabilidad mineralógica observada, caracterizada por la abundancia de cuarzo y la baja proporción de componentes líticos alterados, sugiere que estas unidades poseen un potencial técnico favorable para su aplicación como agentes de sostén en la industria. Finalmente, la evaluación de las areniscas como agente sostén reveló una elevada heterogeneidad textural vertical en la Cantera YPF, contrastando con la mayor homogeneidad y cumplimiento constante de la Norma API observado en Puesto Zinelli. Estos aportes destacan la necesidad de un control de calidad riguroso y abren perspectivas para la identificación de nuevos bancos de arena con propiedades más uniformes en la cuenca.

Abstract

The present work analyzes the distribution and petrographic characterization of the sandstones of the Allen Formation (Malargüe Group – Late Maastrichtian) in the eastern sector of the Neuquén Basin, evaluating their potential as proppants and comparing them with the Anacleto Formation (Neuquén Group – Middle Campanian). The significance of the Allen Formation lies in its record of the first Atlantic transgression and its current strategic role as the primary source of sand for hydraulic fracturing in the region.

The methodology integrated the survey of sedimentological logs at Puesto Zinelli and Cantera YPF, the analysis of detrital modes through the Gazzi-Dickinson technique, and the evaluation of textural parameters (sphericity, roundness, and sorting) under the API Standard 19C.

The results allowed for the reconstruction of a paleoenvironmental model suggesting an evolution from fluvial channel systems (Anacleto Formation) to marine-marginal environments (Allen Formation). A fundamental finding of this research is the absence of eolian facies in the study area. Unlike previous regional interpretations, it is established that this absence is not due to local paleorelief factors but to a clear chronostratigraphic distinction: the eolian and subaerial exposure records documented in neighboring localities, such as Paso Córdoba, correspond to the Anacleto Formation (Campanian), while the analyzed sections represent the advance of the transgressive front of the Allen Formation during the Maastrichtian.

Petrographically, a dissected arc provenance was identified for both units, although the Allen Formation is distinguished by an increase in acidic volcanic and sedimentary lithics. The observed mineralogical stability, characterized by quartz abundance and a low proportion of altered lithic components, suggests that these units possess favorable technical potential for their application as proppants in the industry. Finally, the evaluation of sandstones as proppants revealed high vertical textural heterogeneity at Cantera YPF, contrasting with the greater homogeneity and consistent API standard compliance observed at Puesto Zinelli. These contributions highlight the need for rigorous quality control and open perspectives for identifying new sand beds with more uniform properties within the basin.

1. Introducción

En la zona del Alto Valle y Valle Medio del río Negro se encuentran diversas unidades que registran parte de la historia geológica de la cuenca Neuquina, entre ellas, y dentro del Grupo Malargüe, la Formación Allen de edad maastrichtiana. Esta unidad presenta gran relevancia ya que su depositación se dio durante el inicio de la primera transgresión marina desde el océano Atlántico en la cuenca Neuquina (Uliana, 1979; Aguirre-Urreta *et al.*, 2011; Gianni *et al.*, 2019). Además, en los últimos años, el desarrollo de yacimientos no convencionales (siendo Vaca Muerta la principal unidad con presencia de hidrocarburos no convencionales de Argentina) generó una demanda masiva de arena para fractura. Este incremento en la necesidad del insumo impulsó un crecimiento acelerado de la industria arenera. En este contexto, la Formación Allen adquirió un rol estratégico, ya que de ella se extrae actualmente gran parte de las arenas utilizadas en la industria petrolera de la región (Musa, 2022).

Esta formación ha sido objeto de diversos estudios que abordaron su sedimentología, paleontología, relaciones estratigráficas y de facies con las unidades infrayacentes del Grupo Neuquén (Uliana, 1974; Andreis *et al.*, 1974; Ballent, 1980; Hugo y Leanza, 2001a; Armas y Sánchez, 2013; Paz *et al.*, 2014). Sin embargo, el análisis de esta formación desde una perspectiva petrográfica ha sido poco abordado, a pesar de la importancia de este enfoque para comprender la composición de las areniscas, su diagénesis y la historia de transporte y depositación de los sedimentos. Este tipo de caracterización puede, además, aportar datos relevantes sobre su potencial como material sostén para la fractura hidráulica.

En particular, la zona de Paso Córdoba ha sido foco de debate en relación con la posición estratigráfica de la Formación Allen. Rocas asignadas a esta formación (Armas y Sánchez, 2013; Paz *et al.*, 2014; y Díaz Martínez *et al.*, 2018), fueron reinterpretadas por Gómez *et al.* (2022) como pertenecientes a la Formación Anacleto, en base a edades campanianas obtenidas mediante dataciones U-Pb en circones detríticos. Asimismo, Melchor *et al.* (2024), siguiendo los criterios de Armas y Sánchez (2011, 2013), también incluyen dentro de la Formación Allen depósitos eólicos asociados a condiciones costeras o marinas. Según las hojas geológicas de General Roca (3969-IV) y Villa Regina (3966-III), ambas formaciones afloran en las zonas de estudio y están separadas por una discordancia erosiva, la cual Paz *et al.* (2014) interpretan como un contacto transicional.

1.1 Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es caracterizar composicional y texturalmente a las areniscas de la Formación Allen mediante un enfoque petrográfico. Para ello, se relevaron dos

perfiles sedimentarios ubicados, uno en el área de Paso Córdoba y otro en la Cantera RN2 de YPF. A partir de este análisis, se interpretará su procedencia sedimentaria y se evaluará su potencial como insumo para la industria hidrocarburífera, con el fin de explorar posibles fuentes alternativas de material sostén.

Asimismo, a partir de la caracterización de facies y asociaciones de facies reconocidas en las áreas de estudio, se analizarán los paleoambientes de depositación de la Formación Allen y de las unidades infrayacentes del Grupo Neuquén.

1.2 Ubicación del área de estudio

La zona de estudio (Fig. 1) se encuentra en el sector oriental de la cuenca Neuquina, más precisamente en el Alto Valle del río Negro. Las áreas en las que se realizó el levantamiento de los perfiles sedimentológicos y la recolección de muestras se encuentran al sur la localidad de Paso Córdoba, ubicada a 10 km al sur de la ciudad de General Roca, en las cercanías del puesto Zinelli ($39^{\circ} 12' 25.54''$ S - $67^{\circ} 46' 4.55''$ O). Por otra parte, también se trabajó en las canteras de arena RN2 de YPF ($39^{\circ} 19' 50.58''$ S - $67^{\circ} 19' 56.01''$ O).

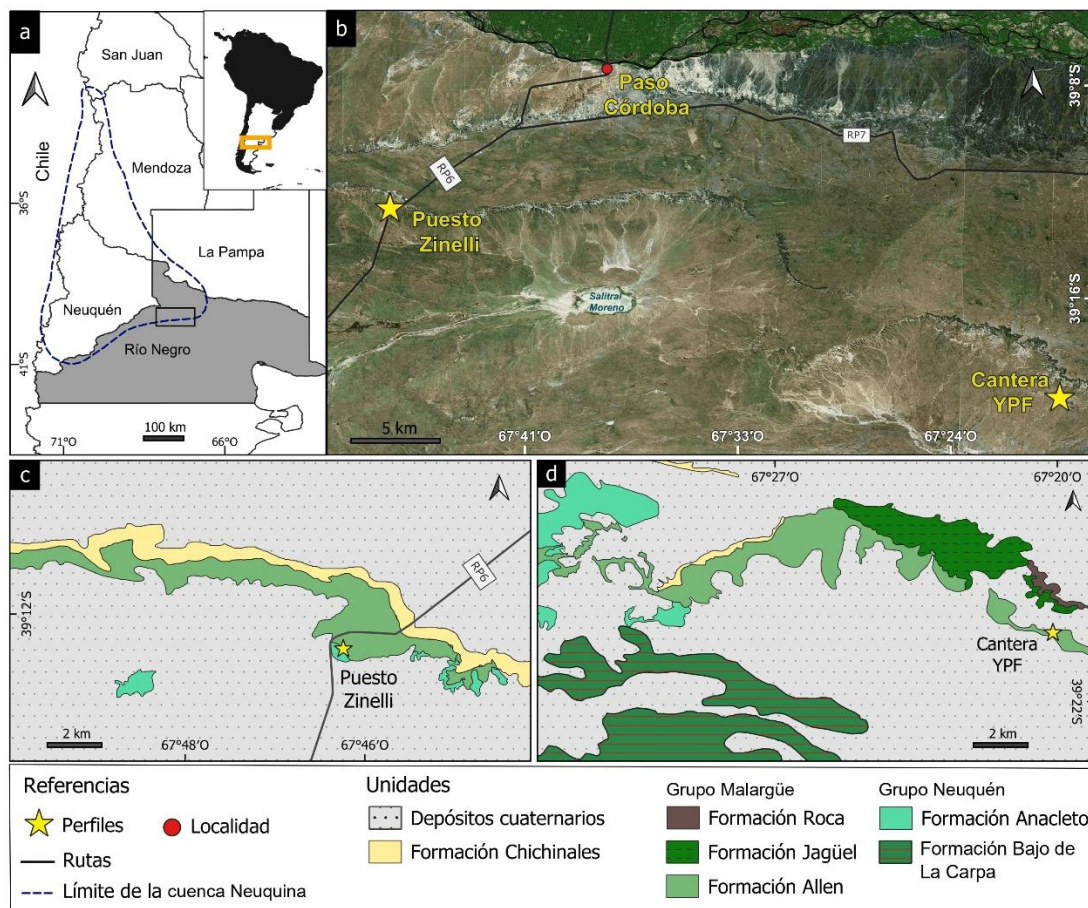


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. a) Ubicación regional de la cuenca en el sector suroeste de Argentina. b) Imagen satelital del sector sur de General Roca, destacando la localidad de Paso

Córdoba como referencia geográfica y la posición de las áreas de estudio: Puesto Zinelli y cantera YPF.
c) Mapa geológico de detalle del sector de Puesto Zinelli. d) Mapa geológico de detalle del sector de la cantera YPF. Se detallan las unidades litoestratigráficas de los Grupos Neuquén y Malargüe aflorantes en la zona.

1.3 Marco geológico

La cuenca Neuquina se encuentra en la parte occidental de Argentina, entre los 32°-40° S y los 67°-72° O. Está limitada al noreste por el Bloque de San Rafael y al sureste por el Macizo Norpatagónico, mientras que su margen occidental corresponde a un arco volcánico. Registra una columna sedimentaria de más de 6.000 m de espesor cuya acumulación se dió entre el Triásico Superior hasta el Cenozoico inferior e incluye rocas sedimentarias marinas y continentales intercaladas con depósitos volcánicos (Howell *et al.*, 2005). Esta cuenca presenta tres estadios evolutivos principales: una etapa inicial de *rift*, una etapa de *postrift* y la etapa de la instauración de una cuenca de antepaís.

La etapa de *rift* (Triásico Inferior - Jurásico Inferior) se vincula al desmembramiento de Gondwana, que generó una serie de grábenes y hemigrábenes sobre el basamento que funcionaron como depocentros iniciales del relleno *syn-rift* conocido como ciclo Precuyano (Gulisano *et al.*, 1984; Franzese y Spalletti, 2001; D'Elia *et al.*, 2020). Esta sucesión *syn-rift* se subdivide en tres secciones según su litología. La sección basal presenta volcanitas básicas a intermedias y sedimentos volcanoclásticos gruesos; la intermedia está dominada por depósitos piroclásticos, y la final incluye delgadas capas carbonáticas de origen lacustre (Franzese *et al.*, 2007).

Seguido de esto, en la cuenca comienza la etapa de *postrift* (Jurásico Inferior - Cretácico Inferior) la cual se caracteriza por el comienzo de la subducción en el margen occidental de Gondwana y el desarrollo del arco magmático en el margen oeste de la cuenca (Uliana y Legarreta, 1993; Legarreta y Uliana, 1996; Franzese *et al.*, 2003). A partir del Jurásico Medio, la cuenca experimentó un régimen de subsidencia termal que posibilitó el desarrollo de transgresiones marinas provenientes del océano Pacífico, las cuales ingresaron a través de aperturas en el arco magmático andino (Bechis *et al.*, 2020). Estos episodios transgresivos y regresivos dieron origen a secuencias sedimentarias marinas y continentales de gran importancia para el desarrollo del sistema petrolero.

Las unidades presentes en la zona de estudio corresponden a la etapa final de relleno de la cuenca, cuando, a partir del Cretácico Tardío, se produjo un cambio en el régimen tectónico hacia un régimen compresivo en los Andes Centrales del sur. Este cambio provocó el levantamiento de la cordillera andina y la desconexión con el océano Pacífico, marcando el inicio de una nueva etapa de antepaís en la evolución de la cuenca (Tunik *et al.*, 2010).

Según Hugo y Leanza (2001a-b), las rocas presentes en el área de estudio corresponden a los grupos Neuquén y Malargüe y abarcan depósitos sedimentarios acumulados desde el Cretácico Tardío hasta el Paleógeno, mostrando una excelente exposición en el área de Paso Córdoba y a lo largo de la barda sur del río Negro. No obstante, como se mencionó, algunas de estas asignaciones han sido recientemente puestas en revisión a partir de nuevos datos geocronológicos y reinterpretaciones estratigráficas (Gómez *et al.*, 2022; Agnolín *et al.*, 2024).

Debido a la extensa historia de exploraciones en el sector oriental de la cuenca Neuquina, la nomenclatura de las unidades del Cretácico Superior ha experimentado diversas modificaciones litoestratigráficas. Con el fin de clarificar la evolución de estos conceptos y facilitar la correlación entre los trabajos pioneros y las clasificaciones actuales, se presenta a continuación un cuadro comparativo (Tabla 1) que sintetiza la ubicación jerárquica de las formaciones Anacleto y Allen según los autores de referencia para el área de estudio.

Tabla 1 – Evolución de la nomenclatura para el Cretácico Superior en la cuenca Neuquina.

Autor	Unidad referida a la Formación Anacleto	Unidad referida a la Formación Allen	Observaciones
Ameghino (1906)	"Estratos con Dinosaurios"	"Piso Rocanense"	Denominación bioestratigráfica. Diferencia el ambiente continental del marino
Herrero-Ducloux (1939)	Fm. Río Colorado	Fm. Allen	Agrupaba las formaciones Anacleto y Bajo de la Carpa en una sola unidad fluvial
Cazau y Uliana (1973)	Fm. Anacleto (Subgrupo Río Colorado)	Fm. Allen (Grupo Malargüe)	Definen un límite neto entre el Grupo Neuquén y el Grupo Malargüe
Uliana (1979)	Miembro Anacleto, parte de la Fm. Río Colorado	Fm. Allen (Basal)	Describe la discordancia Huantráiquica como el límite entre ambos ciclos

Ramos (1981)	Fm. Anacleto (Subgrupo Río Colorado)	Fm. Loncoche	Brinda una descripción sistemática del contacto en el sector de Los Chihuidos, precisando el límite entre los grupos Neuquén y Malargüe
Uliana y Dellapé (1981)	Miembro Anacleto, parte de la Fm. Río Colorado	Fm. Allen (Basal del Gr. Malargüe)	Definen el Ciclo Malalhuéico. Describen a la Fm. Allen como un depósito clástico de zona litoral y marino restringido que inicia la transgresión atlántica
Garrido (2010)	Fm. Anacleto	(No tratada en detalle)	Reconfigura el Grupo Neuquén. Define a la Fm. Anacleto como sistemas fluviales de alta sinuosidad
Armas y Sánchez (2011, 2015)	Fm. Anacleto	Fm. Allen	Análisis secuencial. Identifican facies con influencia de mareas en ambientes de transición
Rodríguez <i>et al.</i> (2023)	Fm. Anacleto	Fm. Allen	Mapeo actual de afloramientos en Paso Córdoba
Pincheira y Garrido (2024)	(No tratada)	Fm. Allen	Microfósiles y palinoestratigrafía. Confirman edad maastrichtiana para la Fm. Allen
Agnolín <i>et al.</i> (2024)	Fm. Anacleto	(No tratada)	Nuevas localidades fosilíferas. Confirman edad campaniana para la Fm. Anacleto

1.4 Formación Anacleto

La Formación Anacleto constituye la unidad superior del Subgrupo Río Colorado, perteneciente al Grupo Neuquén. Este grupo fue estudiado por Cazau y Uliana (1973) quienes inicialmente lo subdividieron en las formaciones Río Limay, Río Neuquén, Río Colorado y Allen. Uliana y Dellapé (1981) propusieron separar la Formación Allen y asignarla a la base del Grupo Malargüe. En ese mismo año, Ramos (1981) planteó que las unidades y miembros señalados por Cazau y Uliana (1973) debían ser elevados a la jerarquía de subgrupo y formación. Estas investigaciones permitieron caracterizar al Grupo Neuquén como una serie de depósitos continentales del Cretácico Superior en la cuenca Neuquina, acotados en su base por

la discordancia Patagonídica (Leanza, 2009) y en su techo por la discordancia Huantráiquica (Méndez *et al.*, 1987). Dichas discontinuidades estratigráficas se han ubicado en el Cenomaniano basal (Leanza, 2009) y en el Campaniano medio (Dingus *et al.*, 2009), respectivamente.

La Formación Anacleto fue reconocida inicialmente por Doering (1882) y Ameghino (1906), sin embargo, las principales contribuciones en cuanto a su división y características sedimentarias se deben a Herrero Ducloux (1939), Cazau y Uliana (1973), Uliana y Dellapé (1981). Para esta unidad Dingus *et al.* (2000) establecieron una edad máxima depositacional campaniana inferior-media (78,3 Ma) para la Formación Anacleto mediante el análisis de 12 muestras paleomagnéticas en la zona de Auca Mahuevo (Neuquén). Gómez *et al.* (2022) también establecieron una edad Campaniano medio ($78,6 \pm 1,7$ Ma) a partir de dataciones U–Pb en circones detríticos, en muestras extraídas de los afloramientos de interdunas húmedas de la Formación Anacleto, en la zona de Paso Córdoba.

En cuanto a su litología, está compuesta por depósitos pelíticos y psamíticos finos, con una base que, en ciertos sectores, incluye canales arenosos amalgamados de granulometría variable. De acuerdo con Garrido (2010) las areniscas son cuarzolíticas y cuarzomíceas, con matriz fangosa en proporciones variables y débil cemento carbonático. Esta unidad es interpretada en el borde nororiental de la cuenca Neuquina (en las ciudades de Neuquén y Cinco Saltos) como depósitos fluviales de bajo gradiente y depósitos estuarinos proximales a medios (Armas y Sánchez, 2011). En la zona de Paso Córdoba, Gómez *et al.* (2022) interpretaron facies lacustres y eólicas, representadas por interdunas húmedas y secas a dunas, mostrando un incremento en la aridez hacia el tope del perfil. Recientemente, Agnolín *et al.* (2024) corroboraron este modelo en las cercanías de Paso Córdoba, definiendo asociaciones de facies de sistemas lacustres y eólicos (dunas e interdunas) que albergaron una diversa comunidad de vertebrados e invertebrados bajo condiciones climáticas templado-cálidas.

La Formación Anacleto ha revelado una notable diversidad paleontológica, con el hallazgo de restos fósiles de peces, lagartos, serpientes, quelonios, mamíferos, dinosaurios y cocodrilomorfos. Entre los trabajos que documentan estos registros se pueden mencionar los de Salgado *et al.* (1997), Chiappe *et al.* (1998), Coria y Chiappe (2000), Coria *et al.* (2002), Scanferla y Canale (2007), Garrido (2010), Coria *et al.* (2012), Baiano *et al.* (2021), Maniel *et al.* (2022) y Agnolín *et al.* (2024). Además, el registro icnológico incluye huellas de saurópodos, pterosaurios, terópodos y aves (Coria *et al.*, 2002; Krapovickas y Garrido, 2006; Tomaselli *et al.*, 2021).

1.5 Formación Allen

La Formación Allen constituye la unidad basal del Grupo Malargüe y yace en discordancia erosiva sobre la Formación Anacleto, conocida como Discordancia Huantráiquica (Hugo y Leanza, 2001a; Garrido, 2010). El conocimiento de la Formación Allen se debe principalmente a los trabajos de Uliana (1974) y Andreis *et al.* (1974), quienes fueron los primeros en sugerir que podría ser la unidad basal del Grupo Malargüe, situándose justo por debajo de las capas marinas de la Formación Jagüel asignada al Maastrichtiano (Hugo y Leanza, 2001a).

Respecto a la edad de la Formación Allen, los estudios micropaleontológicos realizados por Nández y Concheyro (1997) en las unidades infra y suprayacentes de la localidad de Añelo, permitieron atribuirle una edad correspondiente al Campaniano superior - Maastrichtiano inferior. Sin embargo, esto fue modificado posteriormente por autores como Pincheira y Garrido (2024) quienes establecieron una edad maastrichtiana tardía en base a la presencia de taxones palinológicos representativos de ese intervalo, como *Quadraplanus brossus*, en la localidad de Cerro Gutiérrez, localizada a 47 km de la zona de estudio.

Litológicamente está conformada por areniscas y arcillitas continentales, así como por sedimentos marinos relacionados con la primera ingesión atlántica (Uliana, 1979). A escala de cuenca, las interpretaciones paleoambientales describen un espectro amplio de ambientes, que incluyen ambientes continentales vinculados a sistemas lacustres y fluviales, así como marino-litorales, con estuarios y planicies de mareas. De acuerdo al área de estudio de la cuenca, también se han identificado etapas lagunares y marinas, con marismas y precipitación de carbonatos en áreas protegidas del oleaje, seguidas por una retracción que favoreció la acumulación de evaporitas (Barrio, 1990; Armas y Sánchez, 2013, 2015).

El contenido fosilífero de la Formación Allen corresponde a restos de terópodos Coelurosauria (Salgado *et al.*, 2009), titanosaurios, dinosaurios ornitíscuos, plesiosaurios (Andreis *et al.* 1974), aves, mamíferos, gastrópodos, restos de plantas, troncos, placas de tortugas, cocodrilos y dientes de peces pulmonados (Uliana y Dellapé, 1981; Hugo y Leanza, 2001a).

1.6 Marco teórico-conceptual

El presente trabajo se sustenta en tres pilares conceptuales que permiten integrar la observación de campo con el análisis de laboratorio y su aplicación industrial.

- Análisis de facies e interpretación paleoambiental: Una facies sedimentaria se define como la suma de las características primarias de un cuerpo de roca que resultan relevantes para analizar las condiciones hidrodinámicas de su depositación

(Reading y Levell, 1996). En este trabajo, las facies no se analizan de forma aislada, sino mediante el concepto de asociaciones de facies, las cuales representan grupos de facies genética y ambientalmente vinculadas. Este enfoque permite realizar interpretaciones paleoambientales precisas, transformando observaciones puntuales en modelos que describen la evolución de los sistemas sedimentarios en el tiempo y el espacio.

- Petrografía de procedencia (QFL): La composición mineralógica de las areniscas es el resultado de la interacción entre la geología del área fuente, el clima y los procesos de transporte. El modelo de procedencia de los diagramas de procedencia propuestos por Dickinson *et al.* (1983) establece que la moda detrítica (proporciones relativas de cuarzo, feldespato y fragmentos líticos - QFL) se correlaciona con el contexto tectónico de las cuencas sedimentarias. Bajo este marco, el uso de diagramas ternarios permite discriminar si los sedimentos provienen de arcos magmáticos (disectados o no), orógenos reciclados o bloques continentales, aportando información sobre la evolución tectónica.
- Atributos petrográficos aplicados a agentes de sostén: Desde una perspectiva aplicada, la petrografía puede constituir una herramienta de control de calidad fundamental para la evaluación de arenas destinadas a la estimulación hidráulica. La aptitud de una arena como agente de sostén depende de atributos texturales y mineralógicos que dictan su comportamiento mecánico. Además, la mayoría de las características que deben seguir están reguladas por normas internacionales, como la API 19C. Entre las propiedades más importantes se encuentran la esfericidad y el redondeamiento, que influyen en la disposición del empaquetamiento y en la conductividad hidráulica del flujo, mientras que la composición mineralógica y el estado de alteración de los granos determinan la resistencia a la compresión. En este contexto, la identificación y cuantificación de granos estables (cuarzo) frente a componentes inestables o alterados (líticos y feldespatos degradados) es el criterio base para predecir la calidad del material.

2. Materiales y métodos

Para la realización de este trabajo se llevaron a cabo tareas de gabinete y de campo. El primero consistió en la confección de una cartografía base sobre las unidades aflorantes de las zonas de estudio utilizando el programa QGIS Desktop (versión 3.34.11), donde se superpusieron las hojas geológicas de General Roca (3969-IV) y Villa Regina (3966-III)

obtenidas del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), junto con imágenes satelitales del programa *Google Earth*. Para el relevamiento de los perfiles sedimentarios se realizaron mediciones de espesores con báculo de Jacob, acompañadas por una descripción de las texturas de las facies, estructuras sedimentarias, análisis de la geometría de los estratos y la toma ordenada de muestras representativas.

Se recolectaron 12 muestras en el campo, de las cuales se realizaron cortes delgados preparados en el Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (IIPG, CONICET-UNRN). Los cortes delgados se impregnaron con resina epoxy azul para resaltar la porosidad, y se tiñeron con rojo de alizarina y ferricianuro potásico según el método de Dickson (1965), con el fin de distinguir distintos tipos de carbonatos.

Respecto a la clasificación de las areniscas, la misma se realizó en base al diagrama de Garzanti (2019), quien propone un método basado en la composición petrográfica, sin emplear términos ambiguos que relacionan composición con origen tectónico o propiedades texturales. En su lugar, propone un sistema claro, objetivo y puramente composicional basado en el método de conteo modal de Gazzi-Dickinson y representado gráficamente en el clásico diagrama ternario QFL (cuarzo, feldespato, fragmentos líticos). Por otra parte, los conteos modales se realizaron en 10 muestras empleando una platina contadora de puntos aplicando la técnica de Gazzi-Dickinson (Ingersoll *et al.*, 1984) y utilizando el programa Cont.Ar (Somacal y Tunik 2024). Se tomaron 350 puntos por sección delgada, y siguiendo la técnica Gazzi-Dickinson, la contabilización de la fracción total incluyó todos los componentes con tamaño de grano $>62 \mu\text{m}$, tanto los granos monominerales como aquellos que forman parte de fragmentos de rocas. En estos casos, se especifica el tipo de roca al que pertenece el fragmento. Posteriormente, los puntos asignados a minerales dentro de fragmentos líticos se “restituyen” a la categoría de roca correspondiente mediante los diagramas de regeneración, de modo que, en gráficos de proveniencia como QFL, esos valores se integran nuevamente en el vértice L. Adicionalmente, los resultados fueron representados en los diagramas de Dickinson *et al.* (1983) para evaluar su procedencia.

Para evaluar el potencial de las areniscas como agentes de sostén, se tomaron como referencia los estándares de la Norma API 19C. La determinación de la esfericidad y redondeamiento se realizó mediante análisis microscópico de las secciones delgadas, empleando el cuadro de comparación visual de Krumbein y Sloss (1963), el cual, es el método más empleado para determinar dichas características. Para asegurar la representatividad estadística, se evaluaron 20 clastos por muestra, calculando posteriormente un promedio para asignar la clasificación visual correspondiente. Asimismo, el grado de selección se determinó

cuantitativamente a partir de observaciones petrográficas utilizando el objetivo 5x, comparando la dispersión del tamaño de los granos en el campo visual del microscopio con los patrones de referencia propuestos por Folk (1980).

3. Resultados

3.1 Análisis de facies

A partir de la información obtenida de los perfiles sedimentarios relevados (Fig. 2), se identificaron y caracterizaron un total de 9 facies sedimentarias resumidas en la Tabla 2. En el Perfil Puesto Zinelli se reconocieron ambas formaciones, Anacleto y Allen, mientras que en el Perfil YPF solo se encuentra representada la Formación Allen. Para la diferenciación de las facies se consideraron aspectos como la litología, el tamaño de grano, las estructuras sedimentarias y la presencia de fósiles. El contacto entre ambas unidades es de tipo transicional, evidenciado principalmente por cambios de coloración, de tamaño de grano y de estructuras sedimentarias.

Tabla 2 - Código, descripción y origen de las litofacies sedimentarias definidas.

Código de Facies	Litología	Estructuras Sedimentarias	Geometrías y Contactos	Origen	Presente en la AF				
					AF1	AF2	AF3	AF4	AF5
Sa / Sad	Areniscas medias	Estratificación cruzada en artesa (difusa en el caso de Sad)	Tabulares/ Lenticulares. Base erosiva	Migración de formas de lecho tridimensionales	X				
Sm	Areniscas medias a gruesas	Masivas	Lenticulares/ Tabulares. Base erosiva	Acumulación rápida de flujos densos o bioturbación intensa	X			X	X
Sp / Sl	Areniscas finas a medias	Estratificación y laminación paralela	Tabulares con Base neta (Sl) y lenticulares con base erosiva (Sp)	Procesos tractivos o de tracción-decantación en condiciones de bajo o alto régimen de flujo		X	X		
Sr / Srd	Areniscas finas a medias	Óndulas de corriente (difusas en Srd)	Tabulares. Base neta y cubierta en Srd.	Depositadas a partir de un flujo unidireccional diluido de bajo régimen de flujo		X	X		X

Srw	Areniscas finas a medias	Óndulas simétricas	Tabulares. Base neta/erosiva	Retrabajo de sedimentos por flujos oscilatorios relacionados al oleaje			X		X
Smf	Areniscas finas	Masivas (con contenido fosilífero)	Tabulares. Base neta	Acumulación rápida de sedimentos generada por flujos densos.					X
Hf	Fangolitas y areniscas	Estratificación mixta (ondulítica/planar)	Tabulares. Base erosiva	Depósitos generados por corrientes con fluctuaciones en la energía.		X			
Mm	Fangolitas	Masivas	Tabulares. Base neta	Depósitos generados por procesos de floculación o masivo por bioturbación.				X	
MI		Laminación paralela	Tabulares. Base neta	Decantación por corrientes de baja energía		X			

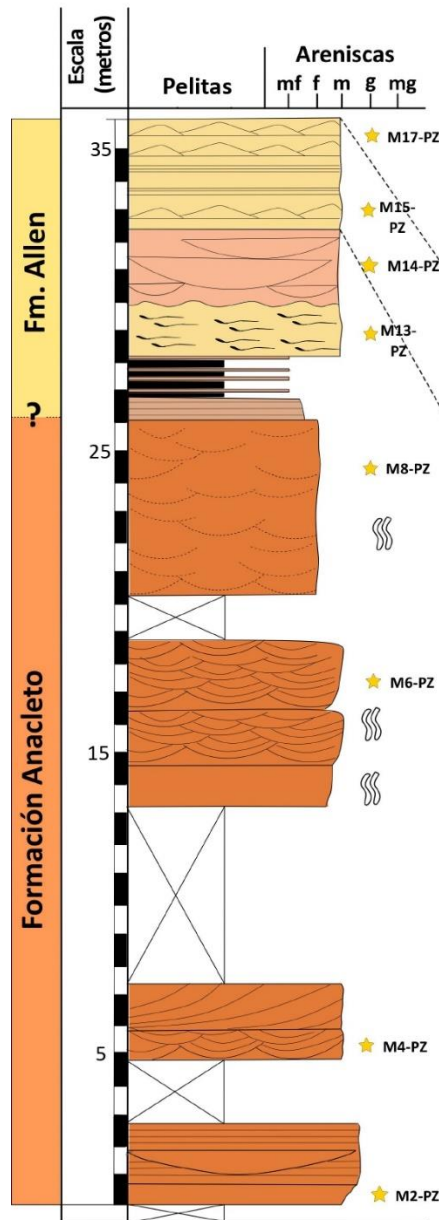
3.2 Asociación de facies

Asociación de facies 1 (AF1) - Canales arenosos

Esta asociación representa casi en su totalidad a la Formación Anacleto aflorante en el perfil relevado del Puesto Zinelli. Está conformada por cuerpos tabulares de areniscas medias y base erosiva con estratificación cruzada en artesa (Facies Sa) (Fig. 3a), intercalados con cuerpos lenticulares de areniscas masivas (Facies Sm) (Fig. 3b) o con estratificación cruzada tangencial, la cual en ocasiones se visualiza difusa (Facies Sad) (Fig. 3c-d). Además, presentan bioturbación dada por trazas cilíndricas predominantemente horizontales (Fig. 3e).

Interpretación: Las estructuras de estratificación cruzada reflejan la migración de formas de lecho tridimensionales vinculadas en este caso a la deposición en canales en un sistema fluvial de energía moderada, con episodios de colonización del sustrato expuesto.

Perfil Puesto Zinelli



Perfil cantera YPF

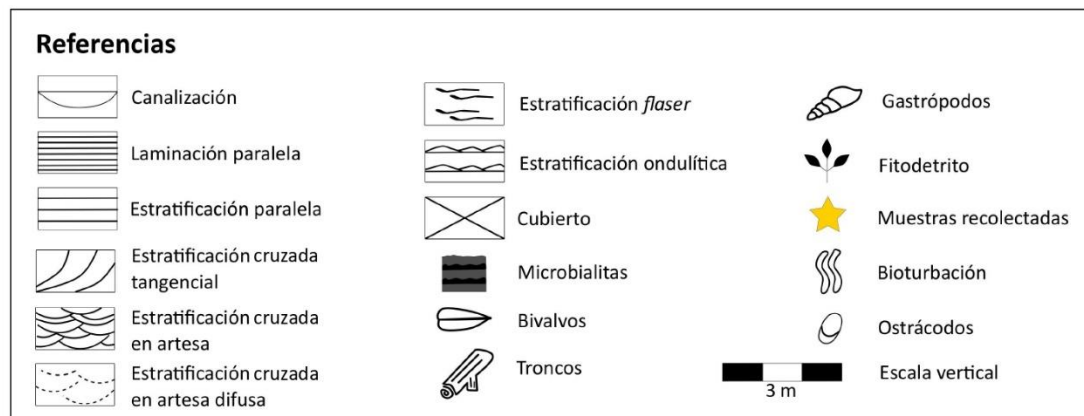
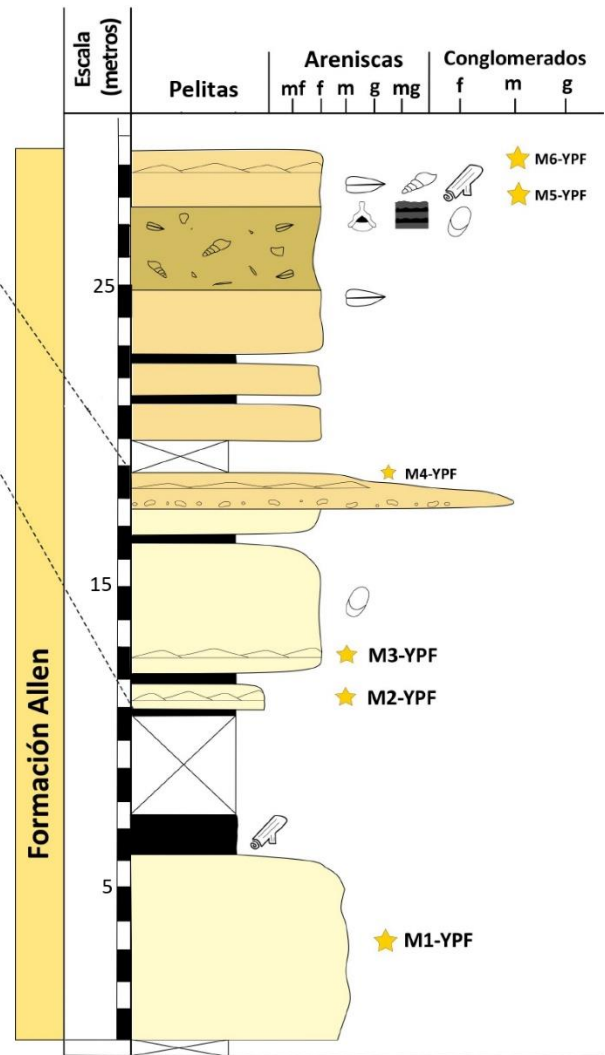


Figura 2. Perfiles sedimentológicos relevados en las zonas de estudio Puesto Zinelli y cantera YPF, indicando en líneas punteadas la correlación entre ambos.

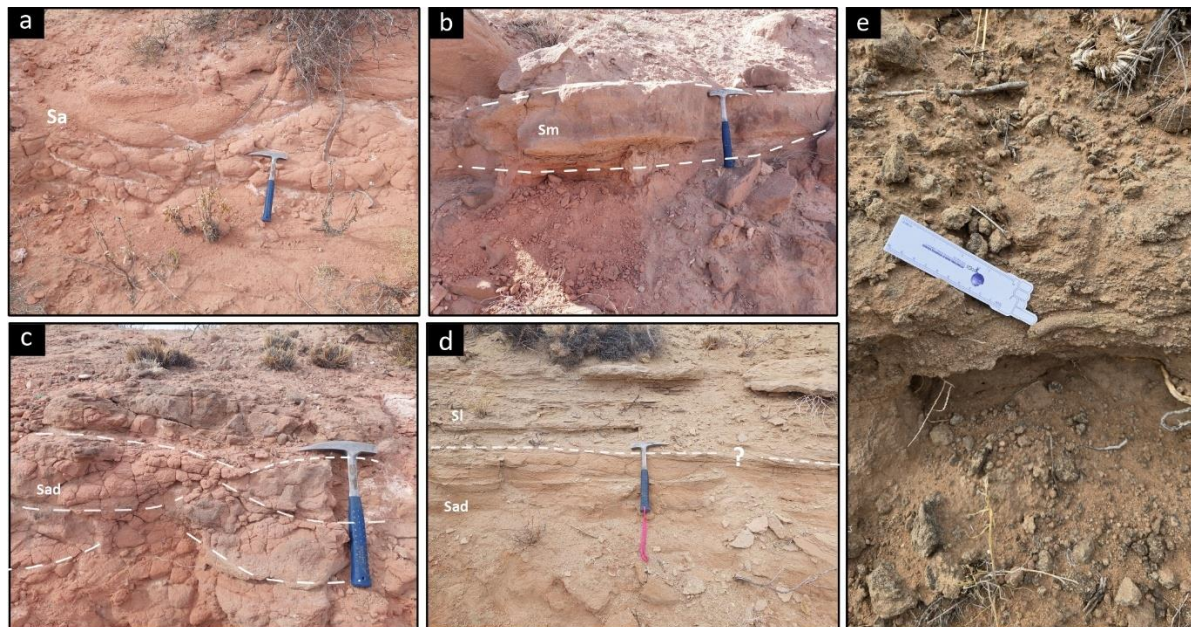


Figura 3. Asociación de facies 1. a) Cuerpos canalizados de areniscas masivas (Sm). b) Areniscas con estratificación cruzada en artesa (Sa). c) Areniscas con estratificación cruzada en artesa difusa (Sad). d) Contacto estimado entre las formaciones Anacleto y Allen, se visualiza un cambio de facies transicional de areniscas rojizas con estratificación cruzada en artesa difusa (Sad) a areniscas blanquecinas con laminación paralela. e) Se señala traza cilíndrica en posición horizontal.

Asociación de facies 2 (AF2) - Planicie intermareal

Esta asociación se restringe a la zona de contacto entre ambas formaciones (Fig. 4a). Está compuesta por cuerpos tabulares de areniscas finas con laminación paralela y base neta (Fig. 4b), y por heterolitas fangosas muy friables con laminación planar a ondulosa (Facies Sl, Hf, Ml, Sr) (Figs. 4c y 4d). Además de las facies reconocidas en el perfil, en niveles lateralmente correlacionables ubicados a 6 km al oeste del área de estudio, se identificaron areniscas con estratificación cruzada tipo *herringbone* (Fig. 4e, f).

Interpretación: la estratificación heterolítica preservada sugiere la acción de flujos con alta variabilidad en las velocidades, lo que permite el transporte y depositación de arenas y pelitas de modo recurrente (Leckie y Singh, 1991). Esta estratificación se puede producir por procesos de difusión mareal donde el origen de los depósitos se relaciona con corrientes que experimentan variaciones rítmicas en su poder energético y en el aporte de sedimentos. De este modo, durante las condiciones de energía moderada (flujo y reflujos) se produce la movilización de arenas como carga de lecho con desarrollo de estructuras sedimentarias tractivas. En contraste, durante las condiciones de baja o nula energía, correspondientes a los periodos de estacionamiento de la marea (*slack water*), se produce la acumulación de las fangolitas por decantación (Reineck y Wunderlich, 1968). Además, la interpretación de un ambiente mareal se ve reforzada debido a los depósitos cercanos de las Figuras 4e-f. Nichols (2009) señala que

la estratificación cruzada tipo *herringbone* es un rasgo diagnóstico de corrientes mareales bipolares. Sin embargo, el registro sedimentario no siempre es estrictamente bimodal debido a la dominancia de una corriente sobre otra, como en este caso. La presencia de superficies de reactivación y de cortinas de fango (*mud drapes*) son características fundamentales que demuestran la ciclicidad y los periodos de *slack water* típicos de estos sistemas.

Si bien los depósitos heterolíticos de la AF2 podrían tener características similares con una llanura de inundación del sistema fluvial, la ritmicidad de las heterolitas y la transición vertical hacia facies con influencia de oleaje (AF3) sugieren una creciente influencia marina, por sobre la dinámica fluvial. Siguiendo el modelo de márgenes costeros híbridos (Armas y Sánchez, 2015), se interpretó esta sección como el tramo donde la energía del mar comienza a dominar sobre el sistema fluvial previo de la Formación Anacleto. Además, la ausencia de rasgos de pedogénesis (como rizolitos o paleosuelos), permite diferenciar estos depósitos de aquellos vinculados a llanuras de inundación fluviales.

Asociación de facies 3 (AF3) - Planicie intermareal con influencia de oleaje

Esta asociación se presenta en la sección superior del perfil de Puesto Zinelli, representando a la Formación Allen. Está compuesta por cuerpos tabulares de areniscas finas con estratificación *flaser* (Fig. 5a). En esta estructura, las óndulas (Facies Srw) presentan delgadas cortinas de fango y fitodetrito preservados principalmente en los flancos y senos (Fig. 5b, c). Intercalados en esta sucesión, se identificaron cuerpos canalizados de gran tamaño compuestos por areniscas finas a medias bien seleccionadas (Fig. 5d), los cuales erosionan los niveles con estratificación *flaser* previamente mencionados y presentan estratificación planar (Facies Sp) (Fig. 5e). Hacia el techo del perfil, se observan óndulas con crestas decapitadas correspondientes a la Facies Sr (Fig. 5f).

Interpretación: la estratificación *flaser* se forma a partir de flujos con carga mixta, la depositación de la carga tractiva da lugar a los niveles de óndulas arenosas en condiciones del más alto nivel del bajo régimen de flujo, mientras que los niveles pelíticos resultan de la decantación de la carga en suspensión (Reineck y Wunderlich, 1968). La generación de esta estructura necesita un alto suministro de arenas y fango, como así también mecanismos que permitan la depositación de la sucesión heterolítica; se requieren períodos alternantes de alta y baja velocidades de corrientes que transportan y depositan arena y fango respectivamente, de manera intermitente. La formación de estratificación *flaser* y ondulítica está vinculada a la actividad de las mareas, asociadas a planicies intermareales superiores y a ambientes submareales profundos (Allen, 1983). Por otra parte, la estratificación ondulítica, debido al

carácter simétrico de las óndulas, se vincula a la acción del oleaje, donde el movimiento oscilatorio generado por el viento sobre la superficie del agua produce un patrón de celdas circulares bajo la interfase agua-aire (Nichols, 2009). En cuanto a los bancos canalizados, estos reflejan una dinámica de mayor energía, posiblemente asociada a eventos de recanalización dentro de un ambiente mareal.

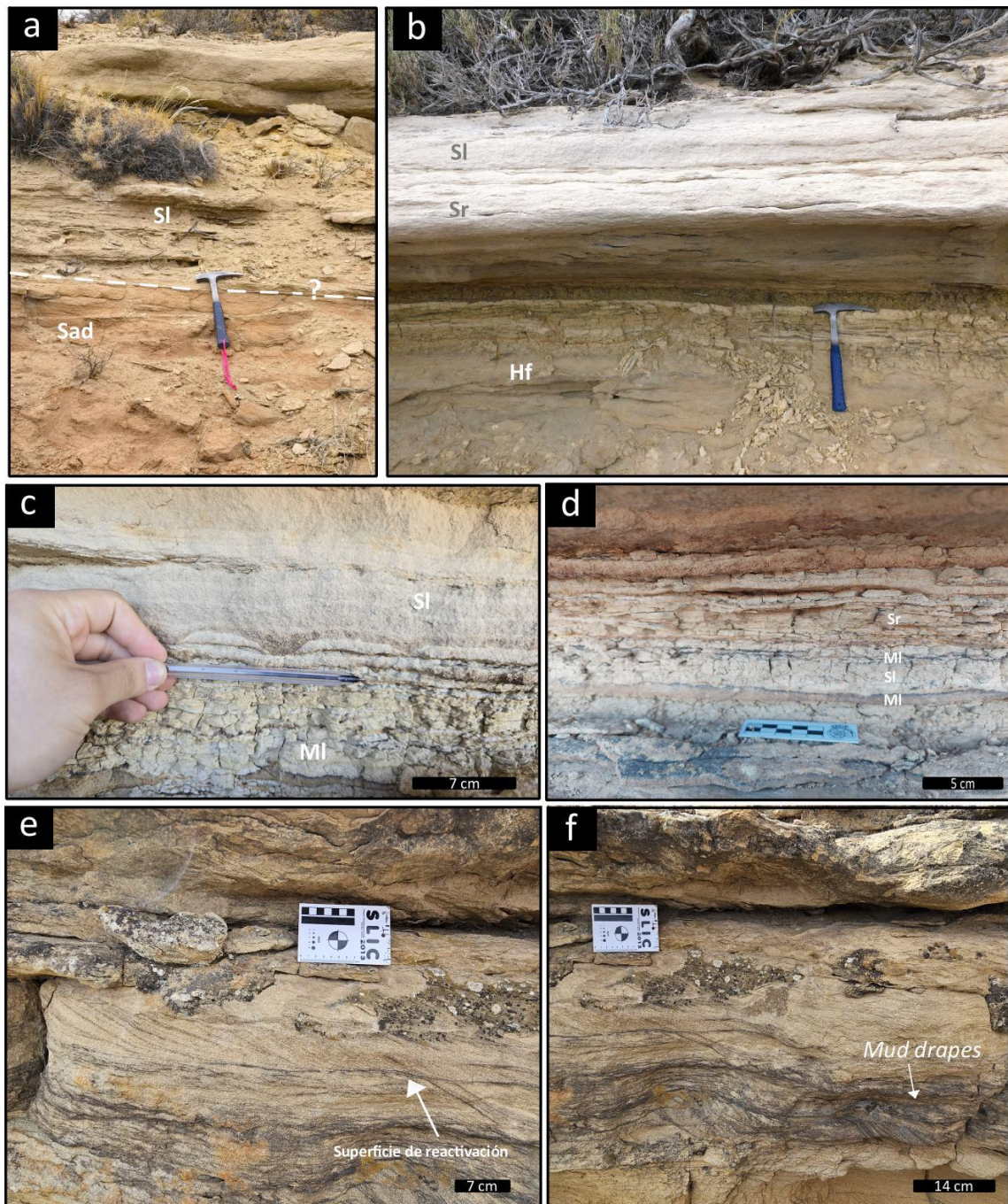


Figura 4. Asociación de facies 2. a) Contacto entre las formaciones Anacleto y Allen, se incluye como parte de esta asociación a las areniscas con laminación paralela (SI). b) Heterolitas fangosas (Hf) y areniscas con laminación planar (SI) a ondulosa (Sr). c,d) acercamiento a los niveles heterolíticos integrados por fangolitas laminadas (MI), areniscas con laminación paralela (SI) y areniscas con

óndulas de corrientes (Sr). e, f) Detalle de los niveles correlacionables a 6 km al oeste de la zona de estudio; se observa la presencia de estratificación cruzada tipo *herringbone* característica de mareas.

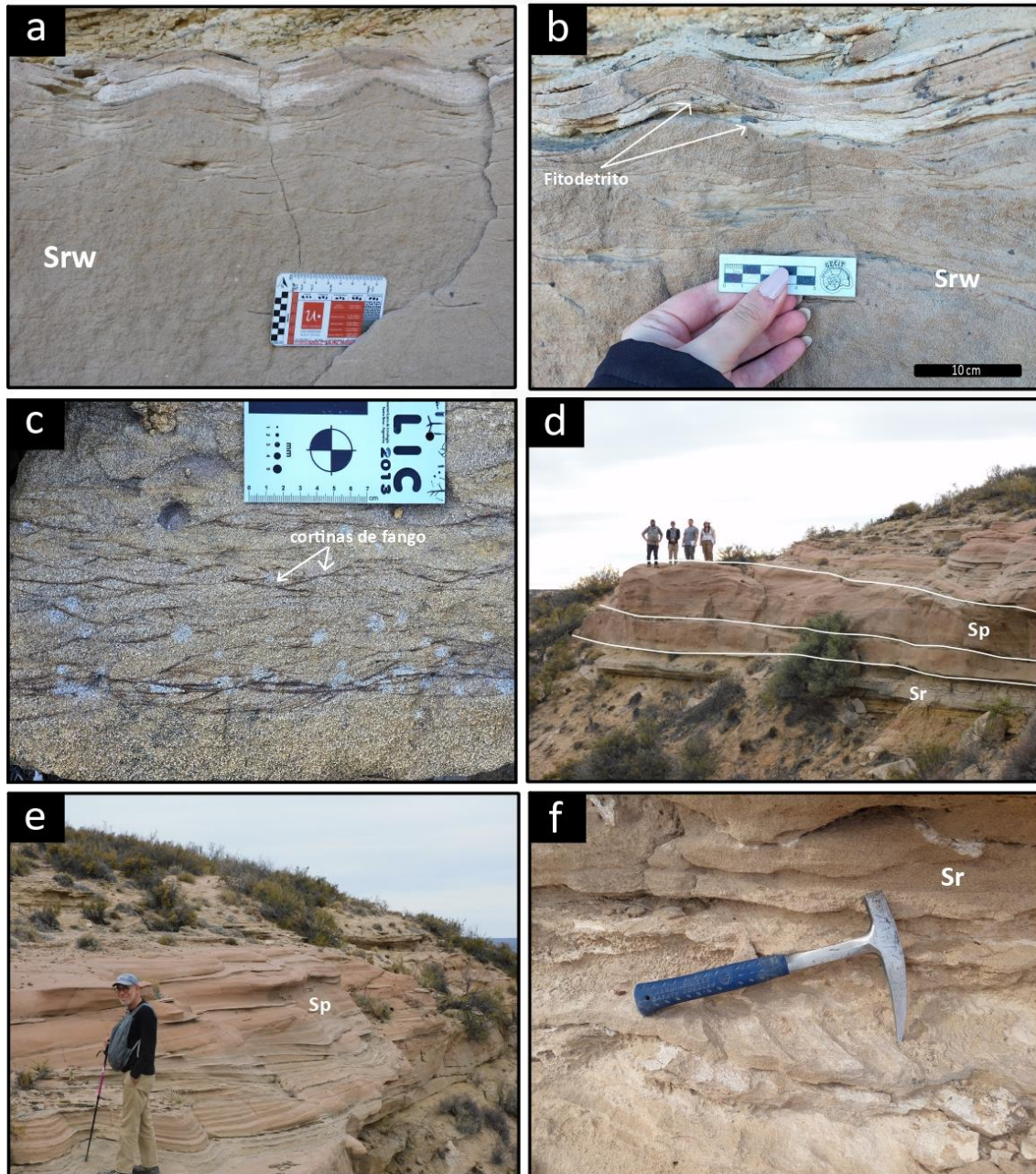


Figura 5. Asociación de facies 3. a) Areniscas con óndulas de oleaje (Sr_w). b, c) Acercamiento a la capa donde se observan la estratificación *flaser* con fitodetrito y cortinas de fango. d) Se observan los cuerpos canalizados de la AF3 (Sp) intercalados con las Facies con óndulas de corriente (Sr). e) Acercamiento a los canales donde se aprecia la estratificación paralela (Sp). f) Crestas decapitadas

Asociación de facies 4 (AF4) - Canales distributarios proximales

Esta asociación se presenta al inicio del perfil de la cantera YPF y está compuesta por cuerpos tabulares de areniscas masivas de granulometría media y base cubierta (Fig. 6a), que alcanzan espesores de hasta 6 m. Por encima de estos cuerpos se intercalan niveles de fangolitas masivas

con base cubierta de 2 m de espesor con restos de troncos fosilizados (Fig. 6b-d) que varían en tamaños de largo entre 10 cm hasta ~1,8 m (Facies Sm, Mm).

Interpretación: los cuerpos de areniscas masivas pueden tener diversos orígenes, entre los cuales se encuentran la depositación rápida por flujos cargados de sedimentos o masivos por bioturbación (Martin y Turner, 1998). Según Gastaldo (1992), la presencia de troncos en pelitas es el resultado de un transporte alóctono donde el factor determinante es la pérdida de flotabilidad por saturación de los tejidos vegetales o una densidad inicial superior a la del agua. Debido a esto, el tronco se asienta por decantación, coexistiendo con las partículas finas que caracterizan los ambientes de baja energía. En este contexto, Nichols (2009) señala que este registro indica un transporte episódico por corrientes capaces de movilizar los troncos, un fenómeno común en sistemas fluviales efímeros o distributarios conectados a cuerpos de agua marginales. De esta manera, la relación entre los restos vegetales y la matriz fina refleja una alternancia entre fases de alta descarga sedimentaria, que generaron los bancos arenosos masivos y el transporte de la carga gruesa, y fases de baja energía en las que se acumuló el fango y se preservó la materia vegetal.

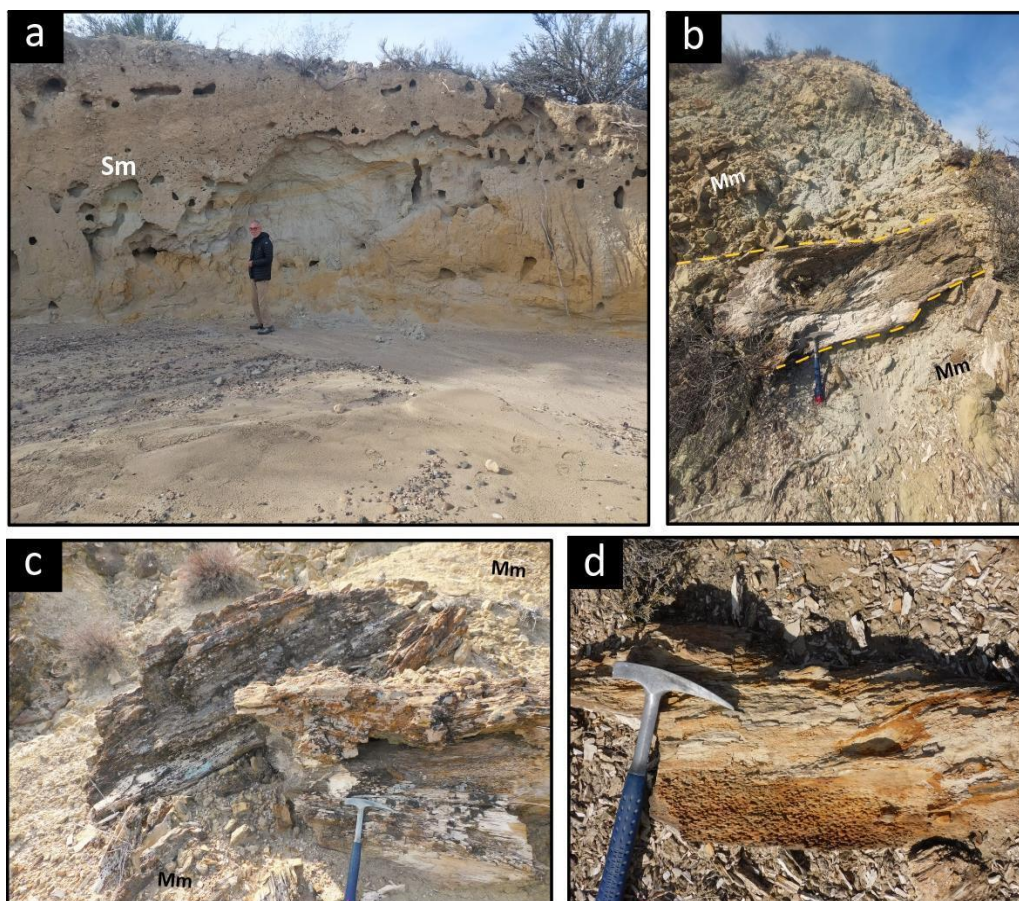


Figura 6. Asociación de facies 4. a) Cuerpos tabulares de areniscas masivas.

- b,c) Pelitas masivas (Mm) con intercalaciones de troncos fósiles (líneas punteadas amarillas).
- d) Detalle del tronco fósil observado en el afloramiento.

Asociación de facies 5 (AF5) - Bahía interdistributaria / laguna marginal con influencia marina episódica

La asociación de facies 5 constituye la mayor parte del espesor del perfil relevado en la cantera YPF. Está compuesta por cuerpos tabulares de areniscas masivas (Fig. 7a, b) de granulometría fina a media, con base neta y espesores que varían entre 1 y 2,5 m. Estas areniscas se intercalan con niveles pelíticos y presentan un contenido fosilífero correspondiente a organismos de agua dulce, entre los que se destacan abundantes gasterópodos (Fig. 7c) asignados a *Paleoanculosa sp.*, bivalvos (*Diplodon sp.* y *Laternula sp.*), vértebras de peces, fragmentos de caparazones de tortugas y restos de madera. En ciertos niveles, las areniscas muestran una estratificación ondulítica vinculada a la acción del oleaje (Fig. 7d) que localmente se visualiza de manera difusa (Fig. 7e). Asimismo, se destaca la preservación de algunos ejemplares de gasterópodos mediante el reemplazo por sílice (Fig. 7f) (Facies Sm, Smf, Srw, Srd).

Además, se destaca que el primer horizonte de areniscas con óndulas de oleaje (Facies Srw) representa la capa de referencia que se tomó como nivel guía para la correlación entre los perfiles sedimentarios, permitiendo vincular los depósitos de ambas zonas de estudio.

Interpretación: La presencia de fauna dulceacuícola (gasterópodos, bivalvos *Diplodon sp.* (Fig. 7g), restos de peces y tortugas), junto con fragmentos de madera, sumada a la ocurrencia de taxones marinos como *Laternula sp.* (Fig. 7g), sugiere condiciones dominadas por ambientes continentales someros. *Laternula sp.*, considerado un taxón indicador de ambientes marinos, puede interpretarse en este contexto como el resultado de ingresos esporádicos de agua marina hacia cuerpos de agua marginales, posiblemente vinculados a eventos de tormenta, tal como ha sido documentado para otras faunas cretácicas de Argentina (Parras y Griffin, 2013). La estratificación ondulítica difusa observada en ciertos niveles evidencia el accionar de corrientes u oleaje en un ambiente acuático somero.

En conjunto, esta asociación es compatible con la depositación en un sistema fluviolacustre marginal, con una influencia marina ocasional y episódica que permitió el ingreso y preservación de fauna de afinidad marina.



Figura 7. Asociación de facies 5. a, b) Areniscas masivas (Sm); en línea roja se destaca el nivel de areniscas con contenido fosilífero (Smf). c) Gasterópodos señalados (Ga). d) Areniscas con óndulas de oleaje (Srw); se observan capas de yeso de origen secundario. e) Niveles con estratificación ondulítica difusa (Srd). f) Detalle de un gasterópodo reemplazado por sílice. g) Foto en detalle de los bivalvos *Laternula sp.* y *Diplodon sp.*

3.3 Petrografía

3.3.1 Modas detríticas

La cuantificación de las modas detríticas de los 10 cortes delgados analizados pertenecientes a las muestras de las formaciones Anacleto y Allen, permitió clasificarlas según Garzanti (2019) como areniscas cuarzo-feldespáticas (M2-PZ, M4, -PZ, M8-PZ, M14-PZ y M1-YPF) y areniscas cuarzo-líticas (M6-PZ, M13-PZ, M15-PZ, M17-PZ y M5-YPF) (Fig. 8, ver Anexo). La primera clasificación corresponde mayormente a las muestras de la Formación Anacleto, en tanto que la segunda agrupa a las de la Formación Allen.

Respecto a los componentes de las muestras (Fig. 9), en Puesto Zinelli, dentro de la Formación Anacleto predomina el cuarzo monocristalino tipo *flash* (hasta un 29 %), seguido por cuarzo policristalino (entre 7 y 14 %) y monocristalino ondulado (hasta 6 %). Los feldespatos, tanto alcalinos como plagioclasas, presentan proporciones relativamente elevadas hasta un 15 y 16 % respectivamente. El cemento alcanza un 15 %, dominado por fases carbonáticas en parche y cemento ferruginoso en *rim*, además se presenta en las muestras M8 y M13 cemento silíceo tipo ópalo en parche.

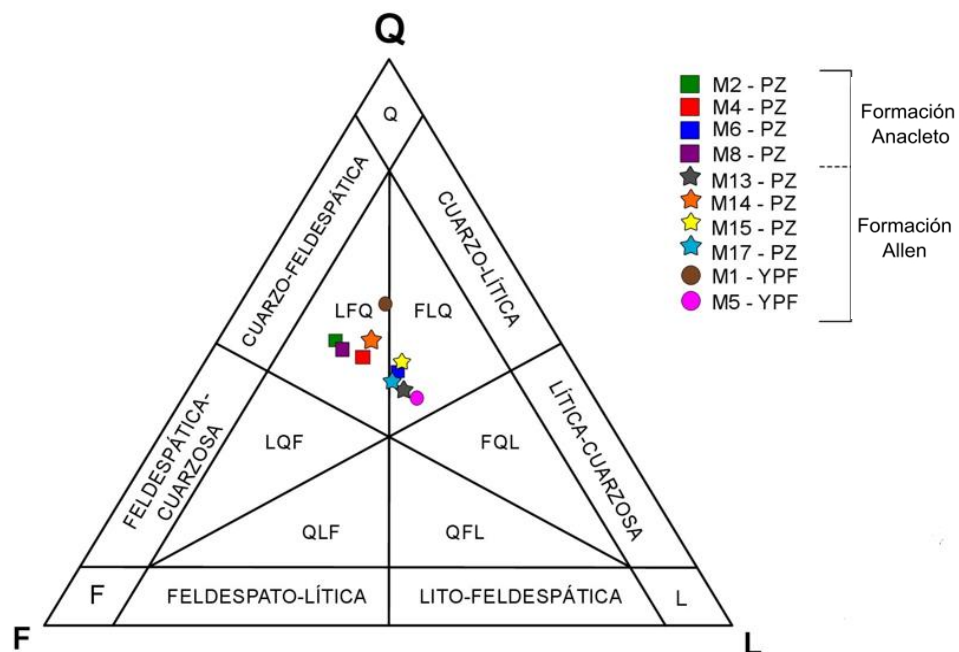


Figura 8. Diagrama de clasificación para areniscas QFL de acuerdo con Garzanti (2019).

En la misma localidad, las rocas de la Formación Allen muestran menor proporción de cuarzo monocristalino de tipo *flash* (hasta un 26 %) y un leve aumento del ondulado (11 %) y del cuarzo policristalino (entre 6 y 10 %). Los feldespatos siguen siendo abundantes, aunque con

valores menores (entre 8 y 14 %). El cemento es más reducido (entre 4 y 13 %) y variable, con mayor representación de analcima.

Los líticos (Fig. 10) en Puesto Zinelli presentan variaciones composicionales entre ambas formaciones. En la Formación Anacleto predominan los líticos volcánicos ácidos de tipo granular (hasta un 8 %), seguidos por fragmentos líticos alterados (3-5 %) y líticos volcánicos básicos, dentro de los cuales se reconocen dos tipos texturales: pilotáxicos y *lathwork*, cuyas proporciones son similares, pero con una leve abundancia de los pilotáxicos (entre 1 y 4 %). En menor medida se presentan líticos ácidos con textura seriada (1-2 %) y líticos sedimentarios silicoclásticos presentes solo en la muestra M4-PZ.

En la Formación Allen de Puesto Zinelli, los fragmentos líticos son abundantes y están dominados por líticos granulares (hasta 8 %), seguidos por líticos alterados (entre 3 y 8 %). Se observa una leve mayor representación de líticos con textura seriada respecto de la Formación Anacleto, alcanzando valores de hasta 3 %, mientras que los líticos de textura *lathwork* muestran una leve disminución en la mayoría de las muestras a excepción de la M14-PZ. Los líticos volcánicos pilotáxicos se mantienen en proporciones comparables a las registradas en la Formación Anacleto, con un ligero incremento y además hay una mayor representación de líticos sedimentarios silicoclásticos (hasta 2 %).

En la Cantera YPF la Formación Allen presenta un dominio de cuarzo monocristalino *flash* (~26 %) por sobre las variedades de policristalino (hasta 12 %) y monocristalino ondulado (3-7 %). Los feldespatos, alcalinos y plagioclasas, se encuentran en proporciones relativamente elevadas (12 % y 5-7 % respectivamente), valores similares a los observados en Puesto Zinelli. El cemento está presente en altas proporciones (hasta un 16 %) siendo el carbonato en tipo parche el más representativo, seguido por cemento ferruginoso en *rim*. Respecto a los fragmentos líticos se observa una abundancia de los líticos granulares (hasta un 14 %), seguido por los seriados en un rango entre 4 y 7 %. En menor proporción se presentan los líticos alterados (2 %) y los volcánicos con textura *lathwork* (0,5 %). Asimismo, se identifican líticos sedimentarios carbonáticos en la muestra M5-YPF en una proporción de 5 %.

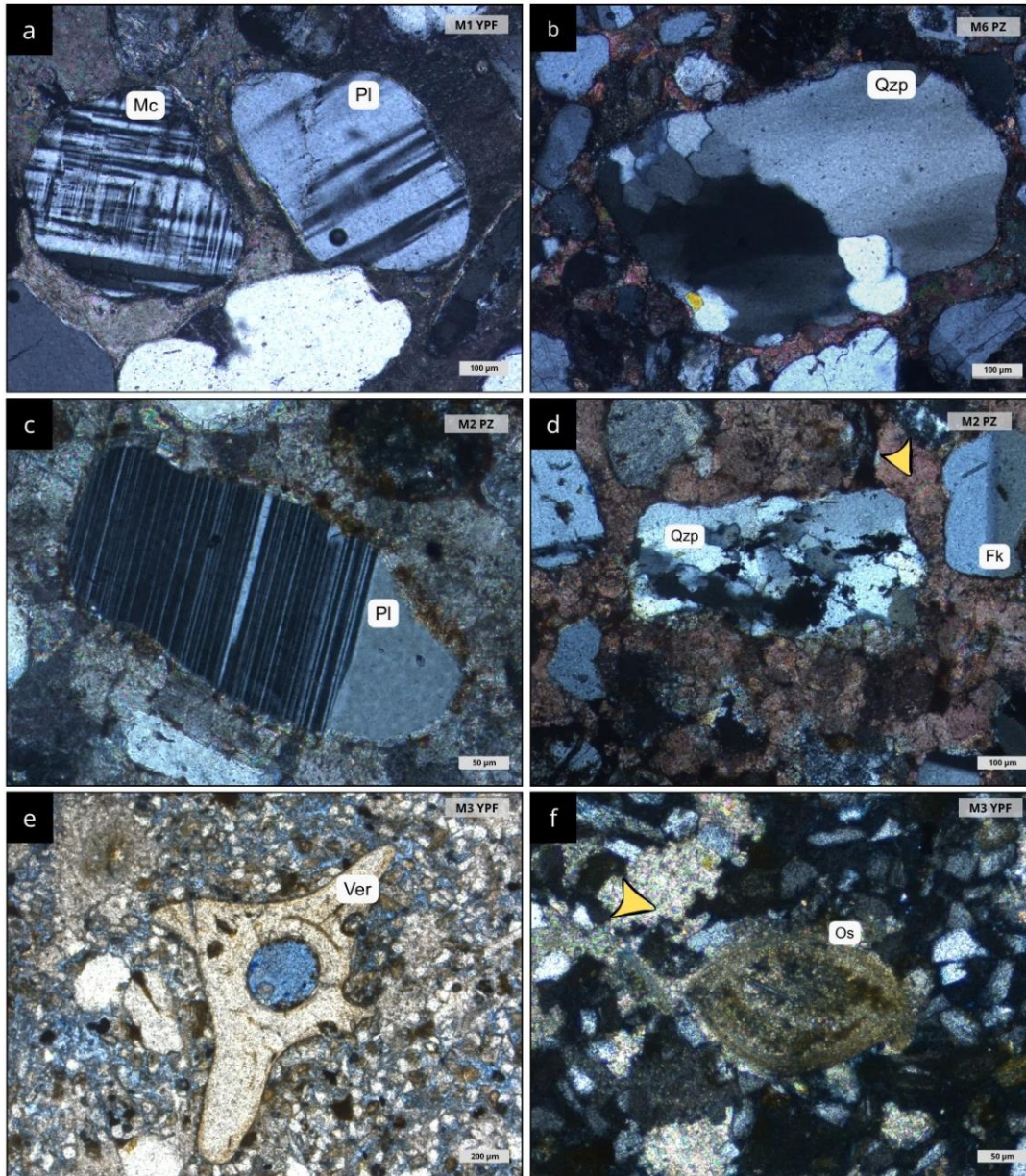


Figura 9. Fotomicrografías de las muestras analizadas. Las flechas amarillas señalan el cemento carbonático. a) Clastos de microclino (Mc) y plagioclasa (Pl). b) Clasto de cuarzo policristalino (Qzp). c) Clasto de plagioclasa (Pl) con maclado polisintético. d) Se señala feldespato alcalino (Fk) con macla de Carlsbad y clasto de cuarzo policristalino (Qzp). e) Vértebra de pez (Ver). f) Acercamiento a ostrácodo (Os).

3.3.2 Procedencia

Los datos obtenidos a partir del conteo modal fueron representados en el gráfico de procedencia de Dickinson *et al.* (1983) (Fig. 11), cuyos resultados del Qm-F-L+Qp muestran procedencia a partir de un arco disectado para la mayoría de las muestras, con excepción de la M1-YPF, que se ubica en el campo de mezcla, y la M15-PZ, que se posiciona en el límite entre ambos campos. Para el segundo diagrama de Q-F-L todas las muestras se encuentran en el sector de orógeno reciclado.

Adicionalmente se analizó la variación vertical de cuarzo (Q), feldespatos (F) y fragmentos líticos (L) para la zona de Puesto Zinelli, con el objetivo de caracterizar cómo fluctúan los principales componentes detríticos a lo largo de la columna sedimentaria (Fig. 12). Los resultados muestran que el contenido de cuarzo se mantiene relativamente constante, con leves oscilaciones en los niveles superiores del perfil. En cambio, los feldespatos y los fragmentos líticos presentan variaciones más marcadas y una relación inversa en determinados tramos: cuando disminuye la proporción de feldespatos, aumenta la de líticos, sugiriendo cambios en el aporte sedimentario y/o en el grado de alteración de los materiales fuente.

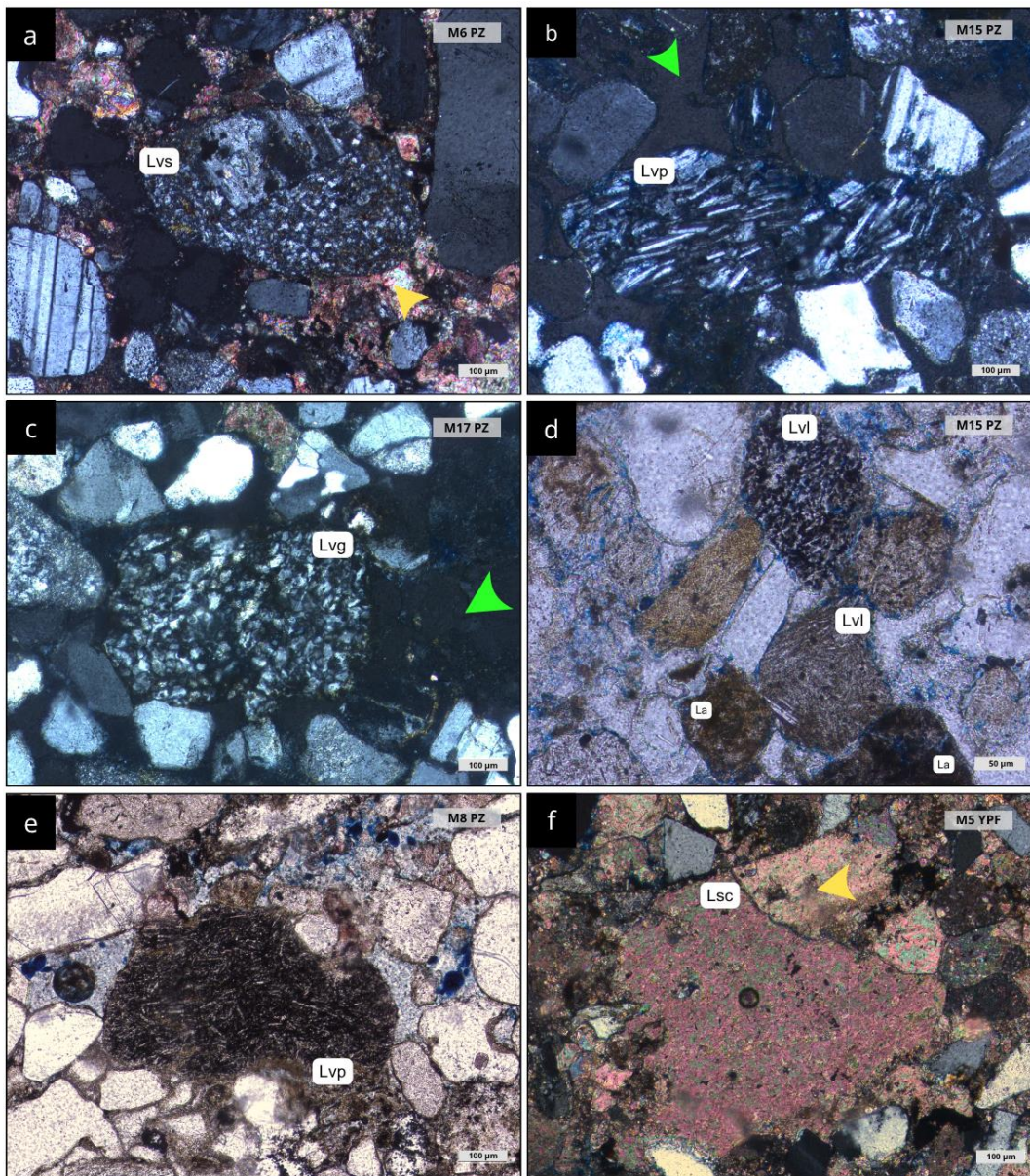


Figura 10. Fotomicrografías de los distintos tipos de fragmentos líticos de las muestras. Las flechas verdes señalan el cemento de analcima y las amarillas el cemento carbonático. a) Litoclasto volcánico con textura seriada (Lvs). b) Litoclasto volcánico con textura pilotáxica (Lvp). c) Litoclasto de roca volcánica ácida con textura granular (Lvg). d) Acercamiento a litoclastos con distintos grados de

alteración (La); aun así, se reconocen líticos volcánicos con textura *lathwork* (Lv1). e) Litoclasto volcánico con textura pilotáxica (Lvp). f) Litoclasto sedimentario carbonático (Lsc).

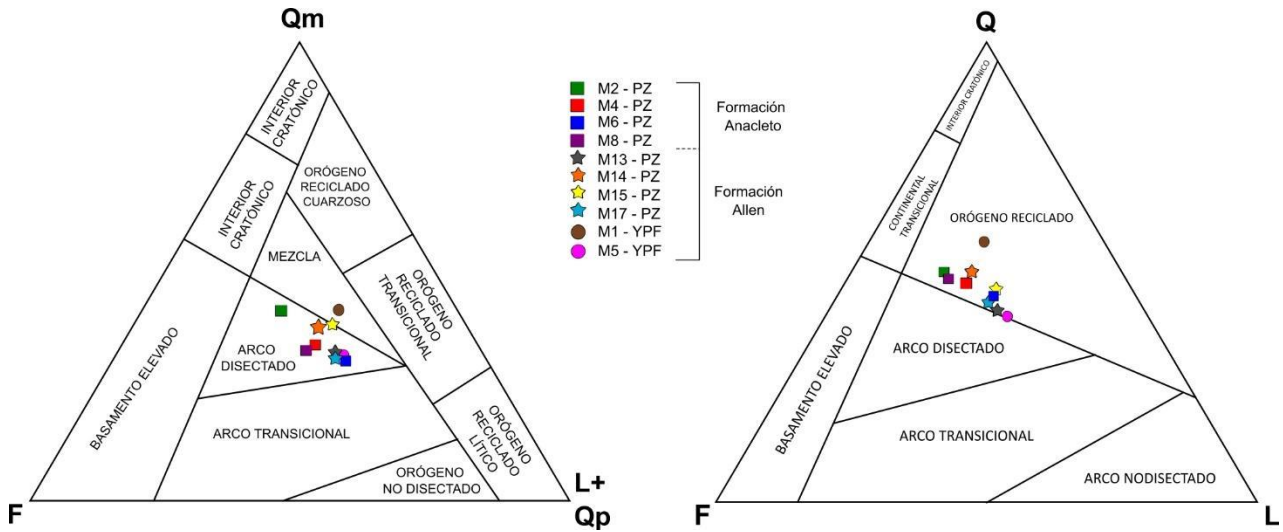


Figura 11. Diagramas de discriminación de áreas de procedencia Q-F-L y Qm-F-LQp para areniscas, elaborados según Dickinson *et al.* (1983). Las abreviaturas corresponden a los principales componentes detríticos: Q (cuarzo total), F (feldespatos), L (fragmentos líticos), Qm (cuarzo monocristalino) y LQp (suma de fragmentos líticos y cuarzo policristalino).

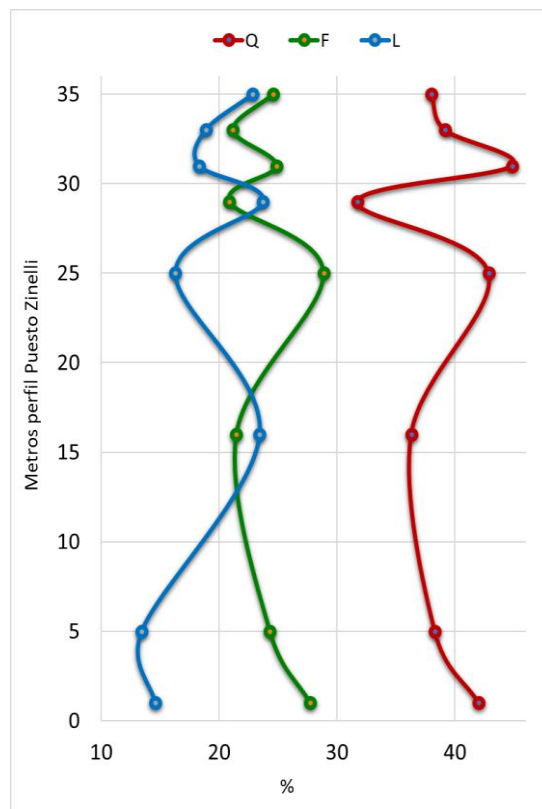


Figura 12. Gráfico de variación vertical de cuarzo (Q), feldespatos (F) y fragmentos líticos (L) en el perfil de Puesto Zinelli.

Asimismo, se representó la composición de los fragmentos líticos mediante diagramas circulares para las formaciones Anacleto y Allen, con el fin de comparar las proporciones relativas de líticos volcánicos ácidos, volcánicos básicos y sedimentarios entre ambas unidades. Como se observa en la figura 13, los diagramas circulares muestran que en la Formación Anacleto predominan los líticos volcánicos ácidos, seguidos por los líticos volcánicos básicos, mientras que los líticos sedimentarios representan la proporción menor. En la Formación Allen también se registra un claro predominio de líticos volcánicos ácidos, aproximadamente un cuarto más que en la Formación Anacleto. Además, esta unidad presenta una mayor participación de líticos sedimentarios y una proporción algo menor de líticos volcánicos básicos respecto de la Formación Anacleto.

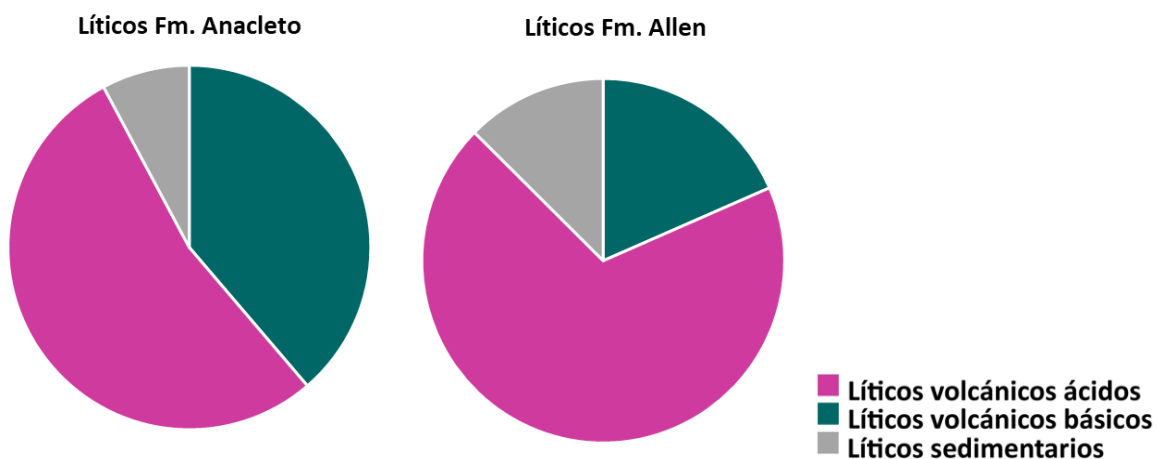


Figura 13. Gráficos circulares que representan los porcentajes de los distintos tipos de líticos en las areniscas de las formaciones Anacleto y Allen.

3.4 Calidad para fractura hidráulica desde la petrografía

Si bien este trabajo se centra en la petrografía y la procedencia, el hecho de que ciertas muestras provengan de una cantera activa permite incluir una breve reflexión sobre cómo algunas características podrían afectar la calidad de las arenas. En este caso, se aportan observaciones sobre su calidad basadas en los rasgos que pueden reconocerse mediante el análisis petrográfico, de modo que dicha caracterización complemente el estudio de la Formación Allen.

La fracturación hidráulica, comúnmente denominada "*fracking*", es una técnica de estimulación de pozos utilizada en la industria hidrocarburífera del no convencional (Montgomery y Smith, 2010). Esta metodología se basa en la inyección de un fluido a alta presión en formaciones de baja permeabilidad, con el fin de generar fracturas que permitan liberar los hidrocarburos atrapados, por lo cual el fluido debe superar tanto la resistencia a la fractura de la

roca como los esfuerzos que actúan sobre ella (Economides y Nolte, 2000). Este fluido varía según la formación rocosa y su composición incluye típicamente agua, químicos/aditivos y agentes de sostén.

Estos agentes de sostén corresponden usualmente a arenas silíceas, cuya función es mantener abiertas las fracturas generadas durante la estimulación hidráulica, evitando que la presión de sobrecarga del reservorio provoque el cierre de las fisuras y la consecuente pérdida de flujo hacia el pozo (Abriata, 2022). Considerando esto, la calidad de estas arenas es fundamental para garantizar un correcto funcionamiento de los equipos y de las operaciones. Como señala Abriata (2022), la falta de un control de calidad riguroso en los proveedores de arena deriva en problemas operativos críticos. El uso de agentes de sostén que no cumplen con la esfericidad y redondeamiento adecuados incrementa drásticamente la tasa de erosión en los álabes de las bombas y válvulas del mezclador. Asimismo, la degradación mecánica de los granos bajo presión genera partículas finas que, según Economides y Nolte (2000), migran y obstruyen tanto la fractura como los componentes internos de las herramientas de terminación como el *casing* y *tubing*.

Estas exigencias técnicas coinciden, en términos generales, con las características de las areniscas de ambientes eólicos, donde los procesos de transporte prolongado favorecen la madurez textural de los granos. Por ello, la extracción de este material suele realizarse preferentemente en formaciones originadas en dichos contextos depositacionales. En este sentido, resulta fundamental caracterizar adecuadamente a la Formación Allen, para establecer la calidad de las arenas y evaluar su potencial extractivo, considerando que los sectores actualmente explotados no siempre presentan propiedades adecuadas.

En Argentina los procedimientos que determinan la calidad y estándares necesarios para emplear las arenas vienen dados por la norma API 19C, la cual define los principales métodos de ensayo para caracterizar arenas utilizadas en *fracking*, con el objetivo de garantizar su eficiencia, resistencia y seguridad operativa. Para ello se aplican distintos procedimientos contemplados en la Norma API 19C (2018), entre ellos el análisis granulométrico mediante tamices, la medición del diámetro medio, esfericidad y redondeamiento, la solubilidad al ácido, la turbidez, múltiples tipos de densidad (*bulk*, aparente y absoluta), los ensayos de resistencia a la compresión (*crush*) y la pérdida por ignición.

3.4.1 Esfericidad y redondeamiento

Los parámetros de esfericidad y redondeamiento son fundamentales para definir una buena calidad en las arenas. La esfericidad es una medida que expresa hasta qué punto el grano se

asemeja a una forma esférica, mientras que la redondeamiento describe la agudeza relativa de sus aristas o curvaturas. Para determinar cada una, se estimó visualmente las formas empleando el cuadro comparativo de Krumbein y Sloss (1963) de la Figura 14.

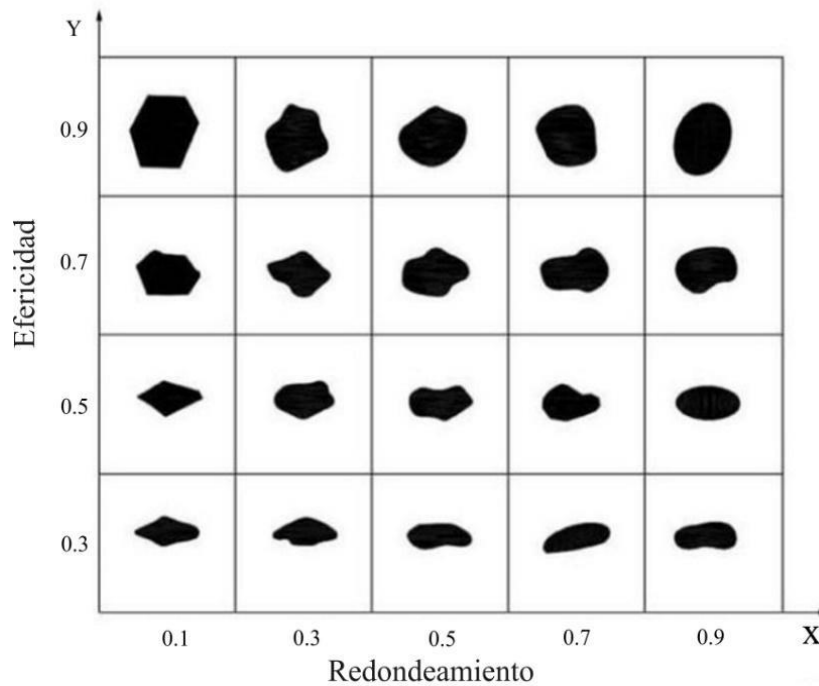


Figura 14. Cuadro de Krumbein y Sloss (1963) de comparación visual para determinar esfericidad y redondeamiento.

En este trabajo, los parámetros de esfericidad y redondeamiento se determinaron mediante análisis microscópico. Sin embargo, el cuadro de comparación de Krumbein y Sloss presenta una limitación, mencionada también por Peñaranda (2014), que consiste en que los patrones representados en la tabla corresponden a figuras bidimensionales, cuyos bordes periféricos no reflejan la totalidad de la superficie de los granos. A pesar de esta limitación, dicho método resulta una herramienta útil y utilizada en estudios petrográficos y en análisis microscópicos para la estimación comparativa y cualitativa de estos parámetros. En cada muestra se evaluaron 20 clastos, cuyos valores permitieron calcular un promedio representativo y asignar la clasificación visual correspondiente para las formaciones Anacleto y Allen (Tabla 3). Algunos ejemplos representativos pueden apreciarse en la Figura 15.

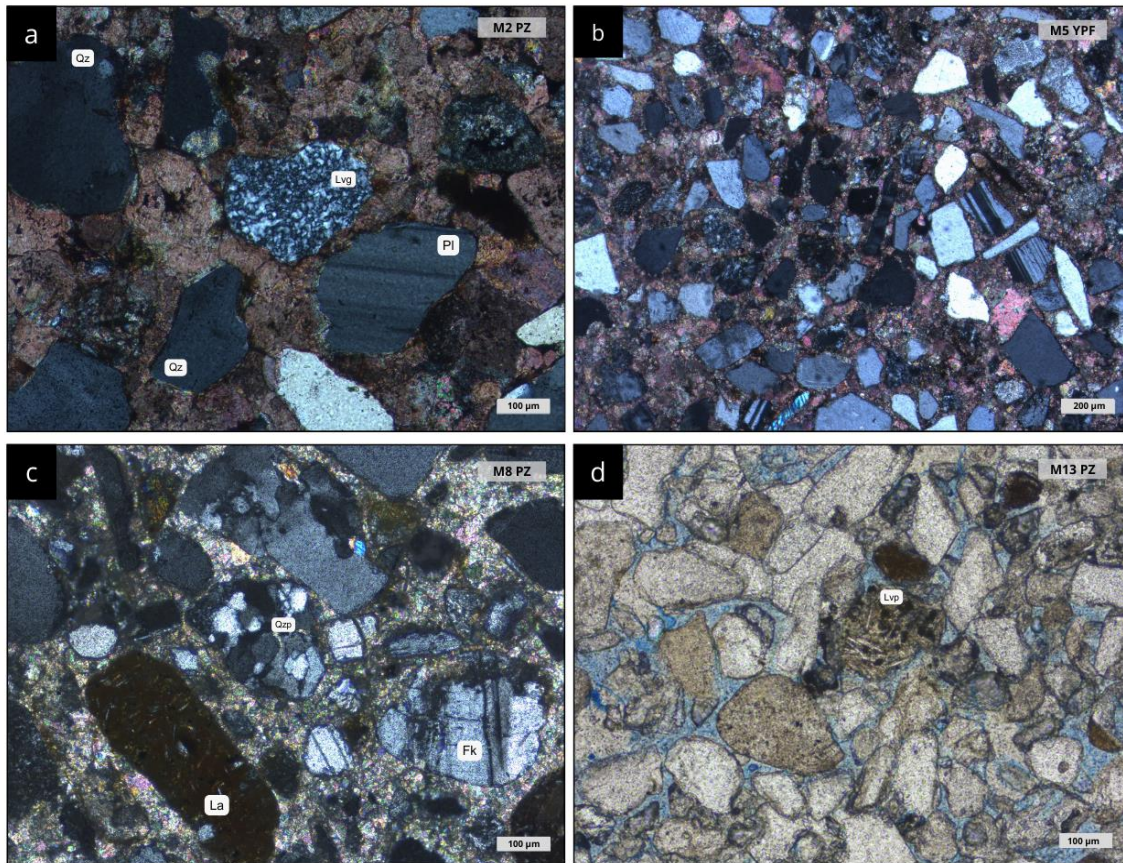


Figura 15. Ejemplos de fotomicrografías empleadas en la observación petrográfica de la esfericidad y redondeamiento de los clastos en las areniscas de las formaciones Anacleto y Allen.

Tabla 3 - Clasificación de esfericidad y redondeamiento

Muestra	Esfericidad promedio	Redondeamiento promedio	Clasificación visual	Formación
M2 PZ	0,7	0,6	Subredondeado, esfericidad media	Anacleto
M4 PZ	0,6	0,5	Subangular, esfericidad media	
M6 PZ	0,7	0,6	Subredondeado, esfericidad media	
M8 PZ	0,7	0,6	Subredondeado, esfericidad media	

M13 PZ	0,7	0,7	Subredondeado, esfericidad moderada-alta	Allen
M14 PZ	0,5	0,6	Subredondeado, esfericidad media	
M15 PZ	0,6	0,6	Subredondeado, esfericidad media	
M17 PZ	0,7	0,7	Subredondeado, esfericidad moderada-alta	
M1 YPF	0,8	0,7	Subredondeado a redondeado, esfericidad moderada-alta	
M3 YPF	0,5	0,5	Subangular, esfericidad media	
M4 YPF	0,6	0,6	Subredondeado, esfericidad media	
M5 YPF	0,7	0,5	Subangular, esfericidad moderada-alta	

3.4.2 Selección

La selección es un parámetro textural que describe el grado de uniformidad del tamaño de los granos que componen una roca sedimentaria, para cuantificar esta propiedad, se recurre a la desviación estándar de la distribución de tamaños, tal como lo indica Folk (1966). En la industria, la metodología más empleada y precisa para definir el grado de selección es el análisis mediante tamices. En particular, según la norma API 19C, el análisis granulométrico se realiza empleando una serie estandarizada de tamices, donde se establece que un determinado porcentaje de la

muestra debe quedar retenido entre mallas específicas. Por ejemplo, para un propante clasificado como 40/70, al menos el 90 % del material debe quedar retenido entre los tamices N°40 (425 μm) y N°70 (212 μm), mientras que no más del 1 % puede pasar por el tamiz inferior.

Sin embargo, en este estudio el grado de selección será evaluado a partir de observaciones petrográficas, dado que el objetivo principal es caracterizar texturalmente las muestras en sección delgada. Para ello, se considerará la variación del tamaño de los granos dentro del campo visual del microscopio utilizando el menor aumento posible que permita una adecuada identificación de los granos. Se emplearon microfotografías obtenidas con el menor aumento y se comparó la dispersión de tamaños presentes con el cuadro de referencia de la Figura 16.

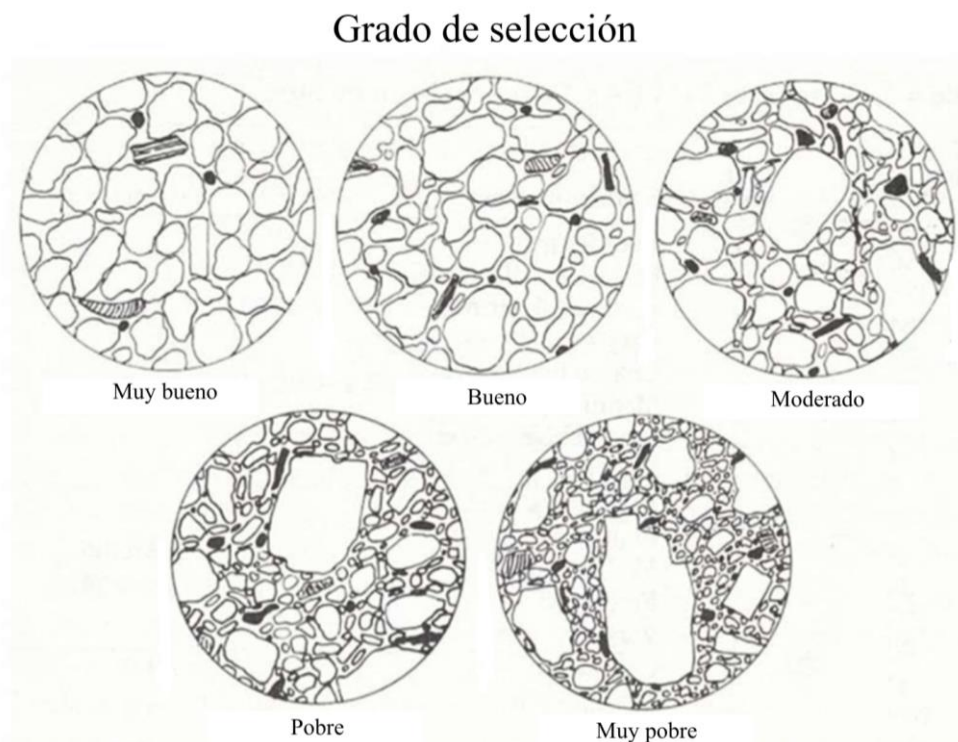


Figura 16. Clasificación visual del grado de selección para areniscas. Modificado de Lin, A. T. (Field Geology, National Central University, p. 10), a partir de Folk (1980).

Los resultados obtenidos a partir del análisis de las muestras representadas en la Figura 17 se plasmaron en la Tabla 4. En general, las muestras correspondientes a la Formación Anacleto presentan grados de selección entre moderado y muy bueno, predominando las categorías buenas. En cambio, las muestras de la Formación Allen muestran una mayor variabilidad, con valores que van desde muy bueno hasta pobre, aunque predominan las clasificaciones muy buenas y moderadas.

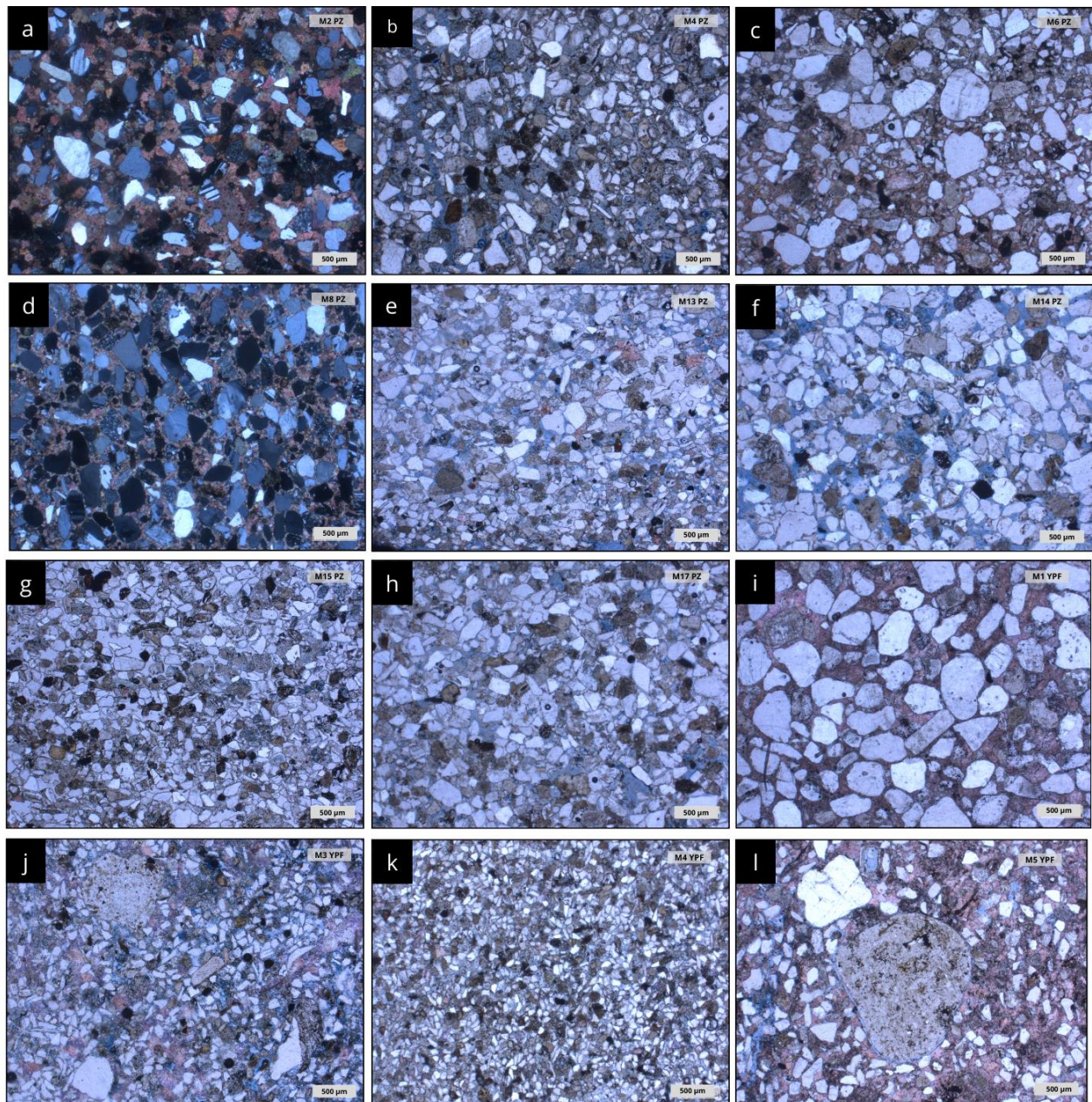


Figura 17. Microfotografías de secciones delgadas correspondientes a muestras de las Formaciones Anacleto (a–d) y Allen (e–l), donde se aprecia la variabilidad en el grado de selección de los clastos. En la Formación Anacleto predominan los grados con selección buena, mientras que en la Formación Allen se observan desde muy bien seleccionadas hasta pobres.

Tabla 4 - Clasificación del grado de selección

Muestra	Grado de selección	Formación
M2 PZ	Bueno	Anacleto
M4 PZ	Moderado	

M6 PZ	Bueno	Allen
M8 PZ	Bueno	
M13 PZ	Bueno	
M14 PZ	Bueno	
M15 PZ	Muy bueno	
M17 PZ	Bueno	
M1 YPF	Muy bueno	
M3 YPF	Moderado	
M4 YPF	Muy bueno	
M5 YPF	Pobre	

4. Discusiones

4.1 Modelo paleoambiental

La caracterización de las asociaciones de facies, basada en la observación de sus litologías, estructuras sedimentarias, relaciones verticales y contenido paleontológico, permitió interpretar los procesos depositacionales dominantes en cada tramo de los perfiles relevados. Este análisis integrador permite reconstruir el modelo paleoambiental, donde se reconoce un pasaje desde sistemas fluviales de baja sinuosidad hacia ambientes mareales y lagunares asociados a la ingresión atlántica del Cretácico Tardío (Maastrichtiano).

De acuerdo con la Hoja Geológica 3969-24 General Roca (Rodríguez *et al.*, 2023), el límite entre las formaciones Anacleto y Allen se asocia regionalmente a una discordancia de carácter regional vinculada con la fase tectónica Huantráiquica, la cual marca el cese definitivo de los regímenes fluviales del Grupo Neuquén. No obstante, la presencia de una zona de pasaje progresiva en Puesto Zinelli sugiere que, a escala local, la inundación marina ocurrió sobre un relieve preexistente de baja pendiente, permitiendo que los procesos de marea comenzaran a retrabajar los depósitos continentales sin generar una erosión profunda. Esta configuración se alinea con el modelo de bordes costeros híbridos propuesto por Armas y Sánchez (2015) para la Formación Allen, donde se describe un sistema sedimentario que evoluciona desde un dominio mareal en su base, hacia un predominio de la acción del oleaje en los estadios superiores de la transgresión. En este esquema, las planicies intermareales con influencia de

olas identificadas en la AF3 representan el estadio de mayor energía marina relativa en el área, donde el oleaje actuó como el principal agente de retrabajo de los materiales finos.

Es importante señalar que autores como Paz *et al.* (2014) y Melchor *et al.* (2024) abordaron la interpretación de depósitos eólicos y lacustres en zonas cercanas al área de estudio. En particular, Melchor *et al.* (2024) caracterizaron icnofacies asociadas a dunas que, siguiendo a autores previos, asignaron a la Formación Allen, resaltando su valor para la identificación de períodos de exposición subaérea. Estos autores documentaron en sectores cercanos, como Paso Córdoba, la coexistencia de sistemas lacustres y eólicos costeros, asignándolos formalmente a dicha formación. Sin embargo, en este trabajo se considera que esta interpretación contribuye a la confusión estratigráfica regional, ya que las facies eólicas y lacustres descritas corresponden en realidad a la Formación Anacleto (Campaniano) y no a la Formación Allen (Maastrichtiano). Por lo tanto, la ausencia de registros eólicos en las localidades aquí analizadas (Puesto Zinelli y Cantera YPF) no responde a variaciones en el paleorelieve local, sino a que estas secciones pertenecen estrictamente a la Formación Allen. Mientras que en el Campaniano persistían condiciones continentales (facies fluviales de la Formación Anacleto), el inicio de la sedimentación de la Formación Allen en el área de estudio ya se encuentra bajo un control marino-marginal definitivo.

Este escenario contrasta con las descripciones de Melchor *et al.* (2024) para el sector de Paso Córdoba. Dichos autores identificaron icnofacies diagnósticas de exposición subaérea, tales como rizolitos y cuevas de vertebrados, vinculadas a sistemas eólicos y procesos de pedogénesis. Sin embargo, es fundamental precisar que estas asociaciones de trazas y los depósitos de *loess* asociados corresponden a la Formación Anacleto. La confusión persistente en la bibliografía, que asigna estos depósitos eólicos a la Formación Allen, debe ser aclarada bajo una perspectiva cronoestratigráfica: la Formación Anacleto representa el cierre del régimen puramente continental del Grupo Neuquén durante el Campaniano, mientras que la Formación Allen documenta la transgresión marina del Maastrichtiano.

Por lo tanto, la ausencia tanto de registros eólicos como de indicadores de exposición subaérea, tales como rizolitos o paleosuelos, en las secciones de Puesto Zinelli y Cantera YPF, no responde a factores locales de relieve o saturación del sustrato. Esta carencia se explica por una distinción cronoestratigráfica neta: mientras que esos registros eólicos corresponden a la Formación Anacleto en otras localidades, los perfiles aquí analizados representan estrictamente el avance del frente transgresivo de la Formación Allen. De este modo, en Puesto Zinelli, el pasaje de la sedimentación fluvial de la Formación Anacleto (AF1 y AF2) directamente hacia

condiciones mareales (AF3) marca el inicio de la Formación Allen, lo que inhibió cualquier desarrollo de sistemas eólicos como los registrados en otras localidades.

Por otro lado, el registro de fauna dulceacuícola (bivalvos del género *Diplodon sp.* y gasterópodos) en asociación con taxones de afinidad marina (*Laternula sp.*) en la AF5, sustenta la interpretación de un sistema de salinidad variable. Estas asociaciones presentan marcadas analogías con los ambientes de salinidad restringida descritos por Parras y Griffin (2013) para la Formación Loncoche, unidad equivalente lateral de la Formación Allen en el sector mendocino de la cuenca, donde la coexistencia de taxones continentales y marinos marginales es diagnóstica de condiciones de transición. Este carácter híbrido evidencia que la Formación Allen en la región se caracterizó por una elevada heterogeneidad espacial de facies, conformada por ambientes marginales con conectividad marina, regulada por eventos de tormenta o descargas de sistemas distributarios. Esta complejidad arquitectural es el factor determinante de la variabilidad lateral observada en la selección y calidad de las arenas registradas en el área de estudio.

4.2 Análisis petrográfico

El análisis de las modas detríticas permitió establecer una diferenciación de las formaciones Anacleto y Allen, a pesar de que presentan diversas similitudes composicionales. Ambas unidades están dominadas por cuarzo, el cual se presenta mayoritariamente como granos monocristalinos de tipo *flash* y, en menor medida, con extinción ondulosa y variedades policristalinas. Seguido del cuarzo también se registran en altos porcentajes los feldespatos tanto alcalinos como plagioclasa. Sin embargo, la variación en las proporciones de los componentes menores y los tipos de fragmentos líticos evidencian un cambio en la dinámica de aporte regional.

En los diagramas de procedencia de Dickinson *et al.* (1983), las muestras analizadas se concentran mayoritariamente en el campo de arco disectado, lo que indica un aporte dominante desde un arco magmático erosionado o bloques del basamento exhumados. Estos resultados son congruentes con lo propuesto por Armas *et al.* (2014) para la Formación Anacleto, donde se reconocen aportes mixtos desde el Macizo Norpatagónico y el arco magmático Jurásico.

No obstante, el análisis detallado de la fracción lítica permite establecer contrastes composicionales entre ambas unidades, tal como se observa en los gráficos circulares de la Figura 13. Mientras que en la Formación Anacleto los porcentajes de líticos volcánicos de textura granular se mantienen por debajo del 9 %, en la Formación Allen se registra un

incremento significativo de estos componentes, alcanzando un valor máximo del 14 % en la muestra M5-YPF.

De acuerdo con la composición de los fragmentos líticos, la Formación Allen presenta un predominio de líticos volcánicos ácidos (texturas seriadas y granulares), con una participación aproximadamente un 25 % mayor que la registrada en la Formación Anacleto. Asimismo, una diferencia diagnóstica relevante es la mayor representación de líticos sedimentarios en la Formación Allen (llegando al 5 % de carbonáticos en M5-YPF), componentes que son escasos o nulos en los niveles analizados de la Formación Anacleto.

Por otra parte, en la fracción del cemento también se reconocen diferencias entre las unidades estudiadas. Los cementos diagenéticos reconocidos en las areniscas analizadas muestran variaciones composicionales y texturales que permiten interpretar diferencias en la evolución post depositacional de las unidades estudiadas. En particular, la presencia de cementos ceolíticos (analcima) y carbonáticos constituye un rasgo relevante para discutir los procesos diagenéticos dominantes y las condiciones fisicoquímicas del sistema poral durante la diagénesis. Diversos modelos diagenéticos proponen que las zeolitas se originan principalmente a partir de la alteración del vidrio volcánico, mediante procesos de hidratación y disolución tempranos (Lin *et al.*, 2024). En este marco, la clinoptilolita suele interpretarse como un cemento característico de etapas diagenéticas iniciales, mientras que la analcima representa una fase más evolucionada dentro de la secuencia de transformación ceolítica (Limarino *et al.*, 2025, y referencias allí citadas). No obstante, la aparición de una u otra fase no depende exclusivamente del grado de soterramiento, sino también de la composición del sedimento y, fundamentalmente, de la química de las aguas.

Si bien la Formación Allen se dispone estratigráficamente por encima de la Formación Anacleto, la mayor abundancia de analcima como cemento en las areniscas de la Formación Allen no implica necesariamente un mayor grado de soterramiento regional. Por el contrario, esta diferencia puede explicarse por condiciones diagenéticas locales, vinculadas a un sistema poral enriquecido en sodio, favorecido por ambientes marginales con influencia marina episódica, como los propuestos para la Formación Allen.

De acuerdo con el modelo diagenético propuesto por Limarino *et al.* (2025), la transformación de clinoptilolita a analcima puede ocurrir a profundidades relativamente someras, siempre que exista un aporte suficiente de Na^+ en la solución poral. Esta reacción implica, además, la liberación de Ca^{2+} , sílice y agua hacia el fluido intersticial. El aumento en la concentración de Ca^{2+} favorece la precipitación de calcita, lo que explica la asociación frecuente entre analcima y cemento carbonático observada en sección delgada. En este sentido,

la calcita no constituye un cemento independiente, sino que puede interpretarse como una fase diagenética directamente vinculada a la evolución de las zeolitas (Limarino *et al.*, 2025). La presencia conjunta de analcima y calcita refleja así un sistema diagenético químicamente más evolucionado, controlado por la interacción fluido-roca, más que por diferencias estratigráficas entre las unidades.

Estos contrastes sugieren variaciones en las fuentes de aporte y en la configuración de la cuenca durante la transición del Grupo Neuquén y el Grupo Malargüe. Si bien la petrografía permitió reconocer estas tendencias generales, resulta limitada para establecer interpretaciones paleogeográficas precisas o definir de manera absoluta el límite entre ambas unidades. En este sentido, la realización de estudios más detallados, tales como el análisis de arcillas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) o difracción de rayos X (DRX), permitiría profundizar en la caracterización mineralógica y diagenética de las unidades. Asimismo, el análisis de edades U-Pb en circones detríticos representaría una herramienta eficaz para precisar la cronología de estas variaciones y confirmar la evolución de las áreas fuente.

4.3 Calidad de las areniscas como agente sostén

Al contrastar los parámetros texturales con la Norma API 19C, que exige una esfericidad y redondeamiento mínimo de 0,6 para arenas naturales, se evidencia una marcada heterogeneidad entre los sectores analizados.

En el perfil de la Cantera YPF, la calidad varía en un espesor vertical de 25 metros. Mientras que la base del perfil (M1-YPF) presenta una calidad óptima (esfericidad 0,8; redondeamiento 0,7; selección muy buena), en los niveles medios y superiores (M3 y M5-YPF) los valores caen un poco por debajo del estándar. Esta variabilidad textural en un espesor reducido representa una posible limitación para la explotación, ya que dificultaría la segregación de los niveles de alta calidad de aquellos con mala selección y baja esfericidad y redondeamiento.

Por otro lado, aunque el sector de Puesto Zinelli no constituye actualmente una zona de explotación, los resultados obtenidos muestran una mayor homogeneidad textural en comparación con la Cantera YPF. Las muestras analizadas en este perfil presentan valores de esfericidad y redondeamiento que, en su gran mayoría, se sitúan entre 0,6 y 0,7, cumpliendo de manera consistente con los requerimientos de la Norma API. Destaca especialmente el grado de selección en este sector, el cual es predominantemente "Bueno" y alcanza la categoría de "Muy Bueno" en muestras como la M15-PZ. Esta regularidad en Puesto Zinelli, sumada a una menor fluctuación de los parámetros analizados a lo largo de la columna, sugiere que este sector

podría representar una reserva potencial de material con características de calidad más constantes.

En cuanto a la composición mineralógica, es importante destacar que las normas internacionales que regulan los agentes de sostén, como la API 19C, no establecen un límite estricto o una exclusión basada en la mineralogía, sino que se centran en el desempeño físico (resistencia a la compresión, esfericidad y turbidez). No obstante, existe un consenso industrial que prefiere contenidos de cuarzo superiores al 90 % debido a su alta resistencia mecánica y estabilidad química, por lo que es recomendable que el componente principal de las rocas sea dicho mineral (Macellari, 2022). El análisis petrográfico revela que el cuarzo es el componente predominante en todas las muestras analizadas, con promedios cercanos al 40% de la composición (Fig. 18). Esta abundancia de cuarzo es un indicador positivo, ya que es el mineral que otorga la resistencia mecánica necesaria para soportar los esfuerzos en el reservorio. En las muestras analizadas de la Formación Allen, si bien se observa una participación importante de feldespatos (plagioclasas y feldespato alcalino) y fragmentos líticos, su aptitud como arena de fractura no queda necesariamente descartada.

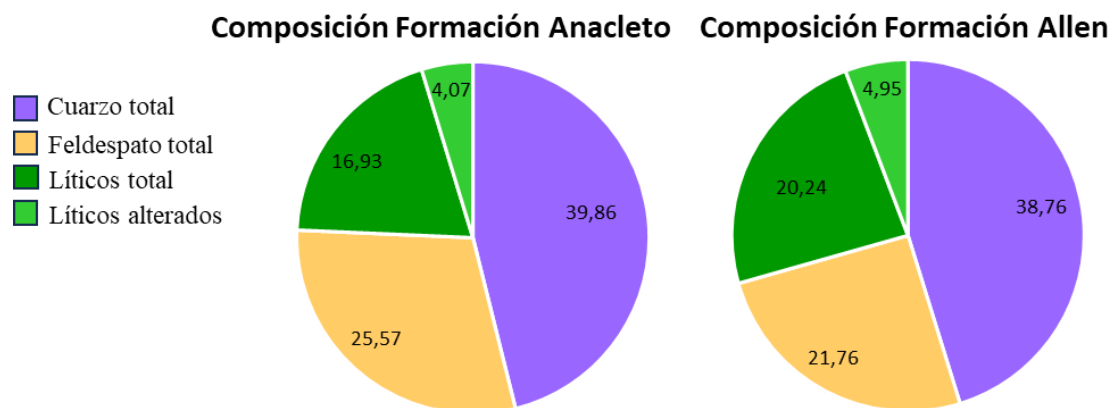


Figura 18. Comparación de la composición modal promedio entre la Formación Anacleto y la Formación Allen. Los porcentajes corresponden al promedio de los totales de cuarzo, feldespato, líticos y líticos alterados. El porcentaje restante para completar el 100% de la moda corresponde al cemento, la porosidad y los minerales accesorios detallados en el Anexo 1.

El análisis petrográfico también permitió observar que la fracción feldespática se encuentra predominantemente fresca o con grados de alteración muy leves. Este factor es determinante, ya que un grano de feldespato no alterado conserva una integridad estructural suficiente para soportar esfuerzos de confinamiento moderados sin colapsar. En contraste, los granos con alteración actúan como puntos de debilidad que, bajo presión, generan materiales finos que obstruyen la conductividad del reservorio y pueden dañar las herramientas de fondo, principalmente los impulsores de bombas electrosumergibles. Por otro lado, la presencia de

fragmentos líticos alterados constituye otro factor a considerar en la evaluación de estas areniscas como agentes de sostén. A diferencia del cuarzo y los feldespatos frescos, los líticos con signos de alteración (tales como fragmentos volcánicos) presentan una resistencia mecánica significativamente menor. Sin embargo, este factor no representa un impedimento crítico para la aptitud de la muestra, ya que estos componentes constituyen una fracción minoritaria y subordinada del total de la moda detrítica.

En conclusión, la Formación Allen posee niveles con alto potencial estratégico como agentes de sostén, pero su heterogeneidad vertical en las zonas de extracción activa exige un control de calidad riguroso. Esta variabilidad textural y mineralógica, representa un desafío para la competitividad del recurso local. Dicha falta de uniformidad podría justificar la tendencia de la industria a priorizar el uso de arenas provenientes de Entre Ríos, las cuales ofrecen propiedades de calidad más constantes que las observadas en los niveles analizados (Pérez, 2025). En este sentido, los resultados de Puesto Zinelli abren una perspectiva interesante para la identificación de capas con propiedades petrofísicas más uniformes que optimicen el procesamiento y la viabilidad comercial del recurso.

5. Conclusiones

A partir de la integración de los estudios de campo, el análisis petrográfico cuantitativo y cualitativo y la evaluación textural bajo estándares industriales, se presentan las siguientes conclusiones:

- Se propone que el área de estudio registra el pasaje de sistemas continentales a ambientes de transición vinculados a la transgresión atlántica. Para la Formación Anacleto, se interpretó un sistema de canales fluviales arenosos de energía moderada. Por otra parte, la Formación Allen muestra una heterogeneidad espacial en sus facies: en Puesto Zinelli predominan planicies intermareales que evolucionan hacia sectores con mayor influencia de oleaje; mientras que en la Cantera YPF se identificaron canales distributarios proximales y bahías interdistributarias o lagunas marginales con influencia marina episódica.
- La ausencia de facies eólicas en Puesto Zinelli y Cantera YPF, en contraste con los registros de sectores como Paso Córdoba, no responde a una configuración de depresiones topográficas, sino a una distinción cronoestratigráfica: mientras que los depósitos eólicos se vinculan a la Formación Anacleto (Campaniano), las secciones analizadas en este trabajo representan estrictamente el inicio de la transgresión de la

Formación Allen (Maastrichtiano), donde las condiciones marino-marginales inhibieron los procesos continentales previos.

- Petrográficamente, las areniscas se clasifican como cuarzo-feldespáticas y cuarzo-líticas, con una procedencia dominante de arco disectado. Si bien ambas unidades comparten una fuente magmática erosionada, la Formación Allen se diferencia por un incremento en líticos volcánicos ácidos y la aparición diagnóstica de líticos sedimentarios carbonáticos, sugiriendo cambios en la dinámica de aporte regional durante la depositación del Grupo Malargüe.
- Diageneticamente, los cambios en la cementación se deberían principalmente a la química de las aguas. Mientras que la Formación Anacleto presenta cementos carbonáticos y de ópalo, la Formación Allen se caracteriza por la asociación analcima-calcita, producto de aguas ricas en Na^+ debido posiblemente a la influencia marina durante la diagénesis temprana.
- De acuerdo con la Norma API 19C, se concluye que la Formación Allen presenta una elevada heterogeneidad textural vertical en sectores de extracción activa (Cantera YPF), donde niveles de alta calidad alternan con capas con arenas de baja redondeamiento y mala selección en pocos metros de espesor. En contraste, el sector de Puesto Zinelli demostró una mayor homogeneidad textural y un cumplimiento más constante de la norma (valores de 0,6-0,7), posicionándose como una reserva potencial de material más uniforme para la industria.
- Los resultados obtenidos resaltan la necesidad de complementar la petrografía con estudios de geocronología para precisar la evolución de las áreas fuente, así como también de seguir correlacionando los niveles de estas formaciones a nivel cuenca para obtener un mejor entendimiento de sus ambientes depositacionales.

6. Agradecimientos

Deseo agradecer en primer lugar a mis directores, la Dra. Maisa Tunik y el Dr. Silvio Casadío, por su acompañamiento y paciencia durante todo este año, y por haber sido los guías de este Trabajo Final de Grado, compartiendo generosamente su conocimiento. Hago especial énfasis en la ayuda que Maisa, a quien valoro profundamente, continúa brindándome tanto en lo académico como en lo personal, haciéndome partícipe de diversas instancias que me enriquecieron profundamente en ambos aspectos.

A la Universidad Nacional de Río Negro, por ser mi espacio de formación durante todos estos años. Es un orgullo ser parte de una universidad pública, gratuita y de calidad, la cual seguiré

defendiendo para que así se mantenga. Asimismo, agradezco al Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología por brindarme un espacio de trabajo y el equipamiento necesario para la realización de este estudio.

Este trabajo fue posible gracias al financiamiento de los proyectos de investigación de la UNRN y al aporte del subsidio de Diego Pol, que permitió la realización de los cortes petrográficos fundamentales para este estudio. Mención especial a Martín Rogel por acompañarme en el viaje de campo y por su ayuda en la confección de los perfiles y el análisis de las muestras.

A los Dres. Nerina Canale, Maximiliano Rodríguez y Débora Campetella, jurados de la presente tesis, por la lectura del manuscrito y sus valiosos comentarios. Sus sugerencias y revisiones permitieron enriquecer este estudio y contribuyeron significativamente a mejorar la calidad de la versión final de este trabajo.

Agradezco a YPF, por permitirnos trabajar en la cantera, y a Gabriel Gasparrini por su recorrido y asistencia durante las tareas de campo. A la Fundación YPF, por su acompañamiento a lo largo de toda mi carrera, que significó un estímulo constante y me permitió conocer lugares y personas increíbles, a quienes espero reencontrar como colegas en el futuro.

Gracias Meli por ser mi amiga incondicional de toda la vida, por hacer más llevaderos los momentos difíciles y por estar siempre presente con consejos, risas y un vinito. Te admiro mucho.

Un agradecimiento muy especial a Lauti, Ana y Vane, por ser mi sostén diario, por las charlas infinitas, los consejos y anécdotas que compartimos; este camino no hubiera sido igual sin ustedes. También agradezco a los amigos que me dejó la carrera: Enzo, Pache, Jacky, Eze, Lafi y a todos aquellos con quienes compartí risas, viajes, tropiezos y exámenes. Mención especial a Paola, quien también fue un gran sostén en el día a día de la universidad. Gracias por compartir charlas, risas y chismes.

Por último, agradezco a mi familia por apoyarme durante todos estos años. Este logro es tanto mío como de todos los que me acompañaron.

7. Bibliografía

- Abriata, M. 2022. Desarrollo de un Proceso de Gestión de Calidad de Proveedores de Arena para Fractura. Trabajo Final Integrador, Especialización en Ingeniería en Calidad, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. 87 pp.
- Agnolín, F. L., Motta, M. J., García Marsà, J., Aranciaga-Rolando, M. A., Álvarez-Herrera, G., Chimento, N. R., Rozadilla, S., Brissón-Egli, F., Cerroni, M. A., Panzeri, K. M., Bogan, S., Casadío, S., Sterli, J., Miquel, S. E., Martínez, S., Pérez, L. M., Pol, D. y Novas, F. E. 2024. New fossiliferous locality from the Anacleto Formation (Late

- Cretaceous, Campanian) from northern Patagonia, with the description of a new titanosaur. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, Nueva Serie*, 26(2), 217-259.
- Aguirre-Urreta, B., Tunik, M., Naipauer, M., Pazos, P., Ottone, E., Fanning, M. y Ramos, V.A. 2011. Malargüe Group (Maastrichtian-Danian) deposits in the Neuquén Andes, Argentina: implications for the onset of the first Atlantic transgression related to western Gondwana break-up. *Gondwana Research* 19, 482-494.
- Allen, J. R. L. 1983. Studies in fluvial sedimentation: bars, bar-complexes and sandstone sheets (low-sinuosity braided streams) in the Brownstones (L. Devonian), Welsh Borders. *Sedimentary Geology*, 33(4), 237-293.
- Ameghino, F. 1906. Les formations sédimentaires du Crétacé supérieur et du Tertiaire de la Patagonia. *Anales del Museo Nacional de Buenos Aires*, 3 (8): 1-568. Buenos Aires.
- American Petroleum Institute (API). 2018. API Standard 19C: Medición y especificaciones para propantes utilizados en operaciones de fractura hidráulica y gravel-packing. 2.ª ed. Traducción al español: YPF.
- Andreis, R.R., Iñiguez Rodríguez, A.M., Lluch, J.A. y Sabio, D.A. 1974. Estudio sedimentológico de las Formaciones del Cretácico Superior del área del lago Pellegrini (Provincia de Río Negro, República Argentina): *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 29: 83-104.
- Armas, P. y Sánchez, M.L. 2011. Análisis estratigráfico secuencial de las formaciones Anacleto y Allen (Cretácico Tardío) en el borde nororiental de Cuenca Neuquina, Argentina. *Andean Geology*, 38(1): 119-155.
- Armas, P. y Sánchez, M.L. 2013. Sedimentología y arquitectura de las dunas costeras de la Formación Allen, Grupo Malargüe, cuenca Neuquina - Río Negro, Argentina. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 30: 65-79.
- Armas, P., Moreno, C., Sánchez, M. L. y González, F. 2014. Sedimentary palaeoenvironment, petrography, provenance and diagenetic inference of the Anacleto Formation in the Neuquén Basin, Late Cretaceous, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 53, 59-76.
- Armas, P. y Sánchez, M.L. 2015. Márgenes costeros híbridos de la Cuenca Neuquina (Formación Allen, Cretácico Superior, Argentina). *Andean geology*, 42(1): 97-113.
- Baiano, M.A., Coria, R.A., Canale, J.I. y Gianechini, F.A. 2021. New abelisaurid materials from the Anacleto Formation (Campanian, Upper Cretaceous) of Patagonia, Argentina,

- shed light on the diagnosis of the Abelisauridae (Theropoda, Ceratosauria). *Journal of South American Earth Sciences* 110: 1-14.
- Ballent, S.C. 1980. Ostrácodos de ambiente salobre de la Formación Allen (Cretácico Superior) en la provincia de Río Negro (República Argentina): *Ameghiniana*, 17, 67-82.
- Barrio, C.A. 1990. Paleogeographic control of Upper Cretaceous tidal deposits, Neuquén Basin, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 3, 31-49.
- Bechis, F., Giambiagi, L.B., Tunik, M.A., Suriano, J., Lanés, S. y Mescua, J.F. 2020. Tectono-Stratigraphic Evolution of the Atuel Depocenter During the Late Triassic to Early Jurassic Rift Stage, Neuquén Basin, West-Central Argentina. En: Kietzmann D., Folguera A. (eds) *Opening and Closure of the Neuquén Basin in the Southern Andes*. Springer Earth System Sciences. Springer, Cham.
- Cazau, L.B. y Uliana, M.A. 1973. El Cretácico superior continental de la Cuenca Neuquina. *Actas 5º Congreso Geológico Argentino*, 3: 131-163. Buenos Aires.
- Chiappe, L.M., Coria, R.A. y Dingus, L. 1998. Nest structures for sauropods: a remarkable discovery from the Upper Cretaceous of Patagonia, Argentina. *Nature* 396(6708): 258-261.
- Coria, R.A. y Chiappe, L.M. 2000. A new close relative of *Carnotaurus sastrei* from the Late Cretaceous of Patagonia. *Journal of Vertebrate Paleontology* 20(2): 302-307.
- Coria, R.A., Currie, P.J., Eberth, D. y Garrido, A. 2002. Bird footprints from the Anacleto Formation (Late Cretaceous), Neuquén, Argentina. *Ameghiniana* 39: 453-463.
- Coria, R. A., González Riga, B. y Casadío, S. 2012. Un nuevo hadrosáurido (dinosauria, ornithopoda) de la Formación Allen, provincia de La Pampa, Argentina. *Ameghiniana* 49: 552-572.
- D'Elia, L., Bilmes, A., Naipauer, M., Vergani, G.D., Muravchik, M. y Franzese, J.R. 2020. The Syn-Rift of the Neuquén Basin (Precuyano and Lower Cuyano Cycle): Review of Structure, Volcanism, Tectono-Stratigraphy and Depositional Scenarios. En: Kietzmann, D., Folguera, A. (eds) *Opening and Closure of the Neuquén Basin in the Southern Andes*. Springer Earth System Sciences. Springer, Cham.
- Díaz Martínez, I., Cónsole Gonella, C.A., de Valais, S. y Salgado, L. 2018. Vertebrate tracks from the Paso Córdoba fossiliferous site (Anacleto and Allen formations, Upper Cretaceous), Northern Patagonia, Argentina: Preservational, environmental and palaeobiological implications. *Cretaceous Research* 83:207-220.
- Dickson, J.A.D. 1965. A modified staining technique for carbonates in thin section. *Nature*, 205 (4971): 587-587.

- Dickinson, W.R., Beard, L.S., Brakenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Knepp, R.A., Lindberg, F.A. y Ryberg, P.T. 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin*, 94, 222-235.
- Dingus, L., Clarke, J., Scott, G. R., Swisher, C.C., Chiappe, L.M. y Coria, R.A. 2000. Stratigraphy and magnetostratigraphic/faunal constraints for the age of sauropod embryo-bearing rocks in the Neuquén Group (Late Cretaceous, Neuquén Province, Argentina). *American Museum Novitates*, 2000(3290), 1-11.
- Dingus, L., Garrido, A. C., Scott, G. R., Chiappe, L. M., Clarke, J. y Schmitt, J. G. 2009. The litho-, bio-, and magnetostratigraphy of titanosaurian nesting sites in the Anacleto Formation at Auca Mahuevo (Campanian, Neuquén Province, Argentina). En: Albright III, L. B. (Ed.): *Papers on Geology, Vertebrate Paleontology, and Biostratigraphy in Honor of Michael O. Woodburne*. *Museum of Northern Arizona Bulletin* 65: 237-258.
- Doering, A. 1882. Geología. En: Informe oficial de la Comisión Científica agregada al Estado Mayor General de la Expedición al Río Negro (Patagonia) realizada en los meses de Abril, Mayo y Junio de 1879, bajo las órdenes del General Julio A. Roca. 3ª parte, Geología: 299-530. Buenos Aires.
- Economides, M. J. y Nolte, K. G. 2000. Reservoir stimulation (3.ª ed.). En Wiley (ed.). 856 pp.
- Folk, R. L. 1966. A Review of Grain-Size Parameters. *Sedimentology*, 6(2), 73-93.
- Folk, R. L. 1980. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin, Texas. Hemphill Publishing Co.
- Franzese, J.R. y Spalletti, L.A. 2001. Late Triassic–early Jurassic continental extension in southwestern Gondwana: tectonic segmentation and pre-break-up rifting. *Journal of South American Earth Sciences* 14, 257-270.
- Franzese, J., Spalletti, L., Gómez Pérez, I. y Macdonald, D. 2003. Tectonic and paleoenvironmental evolution of Mesozoic sedimentary basins along the Andes foothills of Argentina (32°-54°S). *Journal of South American Earth Sciences*. 16: 81-90.
- Franzese, J.R., Veiga, G.D., Muravchik, M., Ancheta, M.D. y D'Elía, L. 2007. Estratigrafía de syn-rift (Triásico Superior-Jurásico Inferior) de la Cuenca Neuquina en la sierra de Chacaico, Neuquén, Argentina. *Revista geológica de Chile*, 34(1), 49-62.
- Garrido, A.C. 2010. Estratigrafía del Grupo Neuquén, Cretácico Superior de la Cuenca Neuquina (Argentina): nueva propuesta de ordenamiento litoestratigráfico. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 12(2), 121-177.

- Garzanti, E. 2019. Petrographic classification of sand and sandstone. *Earth-science reviews*, 192, 545-563.
- Gastaldo, R. A. 1992. Taphonomic considerations for plant evolutionary investigations. *The Palaeobotanist*, 41, 211-223.
- Gianni, G.M., Dávila, F.M., Echaurren, A., Fennell, L., Tobal, J., Navarrete, C., Quezada, P., Folguera, A. y Giménez, M. 2019. A geodynamic model linking Cretaceous orogeny, arc migration, foreland dynamic subsidence and marine ingression in southern South America. *Earth-Science Reviews* 185: 437-462.
- Gómez, R., Tunik, M., Casadio, S., Canale, N., Greco, G., Baiano, M.A., Pino, D., Baez, A. y Pereira da Silva, S. 2022. Primeras edades U-Pb en circones detríticos del Grupo Neuquén en el extremo oriental de la Cuenca Neuquina (Paso Córdoba, Río Negro). *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 29(2), 67-81.
- Gulisano, C.A., Gutiérrez Pleimling y Digregorio, R.E. 1984. Esquema estratigráfico de la secuencia jurásica del oeste de la provincia del Neuquén. 9º Congreso Geológico Argentino. *Actas 1*: 236-259.
- Herrero Ducloux, A. 1939. Reconocimiento geológico de la zona situada entre la vía férrea, el río Neuquén y el meridiano de Plaza Huinul. *Yacimientos Petrolíferos Fiscales. Gerencia de Exploración*, (inédito). 23 p. Buenos Aires.
- Howell, J., Schwarz, E., Spalletti, L. y Veiga, G. 2005. The Neuquén Basin: an overview, en Veiga, G., Spalletti, L., Howell, J., Schwarz, E., (eds.), *The Neuquén Basin, Argentina: A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics*: Geological Society, London, *Special Publication 252*, 1-14.
- Hugo, C.A. y Leanza, H.A. 2001a. Hoja Geológica 3969-IV, General Roca. Provincias de Río Negro y Neuquén. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. *Boletín 308*, 65 p. Buenos Aires.
- Hugo, C.A. y Leanza, H.A. 2001b. Hoja Geológica 3966-III, Villa Regina. Provincia de Río Negro. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, *Boletín 309*, 53 p. Buenos Aires.
- Ingersoll, R.V., Bullard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P., Pickle, J.D. y Sares, S.W. 1984. The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Journal of Sedimentary Petrology* 54: 103-116.
- Krapovickas, V. y Garrido, A.C. 2006. Sobre una huella de Theropoda de la Formación Anacleto (Campaniano Temprano), provincia de Neuquén, Argentina. *Ameghiniana* 43: 43R.

- Krumbein, W. C. y Sloss, L. L. 1963. *Stratigraphy and Sedimentation*, 2nd edition, W. H. Freeman and Company, San Francisco.
- Legarreta L. y Uliana M.A. 1996. The Jurassic succession in west-central Argentina: stratal pattern, sequences and paleogeographic evolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 120: 303-330.
- Leanza, H.A. 2009. Las principales discordancias del Mesozoico de la Cuenca Neuquina según observaciones de superficie. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, Nueva Serie* 11(2): 145-184.
- Leckie, D. y Singh. C. 1991. Estuarine deposits of the Albian Paddy Member (Place River Formation) and Lowermost Shaftesbury Formation Alberta, Canada. *Journal Sedimentary Petrology* 61: 825-849.
- Limarino, C.O., Marensi, S.A. y Ciccioi, P.L. 2025. *Petrología de areniscas y conglomerados*. Buenos Aires, 684 pp.
- Lin, A. T. 2012. *Field Geology. Surface Geology 1 Handouts [PDF]*. Department of Earth Sciences, National Central University, Taiwan. Recuperado de: https://basin.earth.ncu.edu.tw/download/courses/field_geology/3_surface_geology_1_handouts.pdf#page=15.00
- Lin, T., Wang, W., Ma, Q., Kang, J., Yang, R. y Liu, X. 2024. Formation mechanism and implication of analcime in the sandstone reservoirs of the Permian Jingjingzigou formation in the Jinan sag, southern Junggar basin, NW China. *Frontiers in Earth Science*, 12, 1416594.
- Macellari, C. 2022. Origen y distribución de las arenas "In-Basin" para fractura hidráulica de Vaca Muerta. En: *Actas del 11° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (CONEXPLORO)*. Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (IAPG). Mendoza, Argentina.
- Maniel, I.J., de la Fuente, M.S. y Filippi, L.F. 2022. A new species of Prochelidella (Pleurodira: Chelidae) from the Anacleto Formation (Upper Cretaceous), Patagonia, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 116: 103845.
- Martin, C. A. y Turner, B. R. 1998. Origins of massive-type sandstones in braided river systems. *Earth-Science Reviews*, 44(1-2), 15-38.
- Melchor, R. N., Perez, M. y Umazano, A. M. 2024. Are aeolian ichnofacies distinctive and useful? An analysis of trace fossil assemblages from Cretaceous aeolian facies in northern Patagonia, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 655, 112487.

- Méndez, V., Zanettini, J. C. y Zappettini, E. O. 1987. Aspectos geológicos del Orógeno Andino Central de la República Argentina. X° Congreso Geológico Argentino. Actas 1: 181-184.
- Montgomery, C. T. y Smith, M. B. 2010. Hydraulic fracturing: History of an enduring technology. *Journal of Petroleum Technology*, 62(12), 26-40.
- Musa, G. 2022. Río Negro: la línea sur de Villa Regina, zona de sacrificio para el fracking. Prensa Obrera.
- Náñez, C. y Concheyro, A. 1997. Límite Cretácico-Paleógeno. En Ardolino, A. y Franchi, M. (Eds.), *Geología y Recursos Minerales del Departamento Añelo*. Provincia del Neuquén. República Argentina (pp. 129-149). Dirección Nacional del Servicio Geológico, Anales 25 y Dirección Provincial de Minería, Boletín 3.
- Nichols, G. 2009. *Sedimentology and stratigraphy*, 2nd ed. Oxford, U.K., Blackwell, 419 pp.
- Parras, A. y Griffin, M. 2013. Late Cretaceous (Campanian/Maastrichtian) freshwater to restricted marine mollusc fauna from the Loncoche Formation, Neuquén Basin, west-central Argentina. *Cretaceous Research*, 40, 190-206.
- Paz, M., Baez, A. D., Pino, D. A., Yunes, Y. S., Garat, L. M., Ponce, J. J. y Tunik, M. A. 2014. Análisis sedimentológico de depósitos lacustres y eólicos del Cretácico Tardío en la localidad Paso Córdoba, Cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 71(4): 459-471.
- Peñaranda, V. F. 2014. Arenas más allá del acatamiento a las normas. *Petrotecnia*, LV(3), 66-81.
- Pérez, N. 2025. Vaca Muerta afronta el desafío de traer arenas desde Entre Ríos. *Diario Río Negro*. Recuperado de: <https://www.rionegro.com.ar/energia/vaca-muerta-afronta-el-desafio-de-traer-arenas-desde-entre-rios/>
- Pincheira, E. P. y Garrido, A.C. 2024. Palynostratigraphy from the Allen and Jagüel formations at the Cerro Gutiérrez locality, Lago Pellegrini area, South Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 148, 105139.
- Ramos V.A. 1981. Descripción geológica de la Hoja 33c, Los Chihuidos Norte, provincia del Neuquén. Carta geológica económica de la República Argentina, escala 1:200.000. Servicio Geológico Nacional. Boletín 182. 103 pp. Buenos Aires.
- Reading, H.G. y Levell B.K. 1996. Controls on the sedimentary rock record. En H.G. Reading (Ed.), *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy*. Blackwell Science: 5-36.

- Reineck, H.E. y Wunderlich, F. 1968. Classification and origin of flaser and lenticular bedding. *Sedimentology* 11: 99-104.
- Rodríguez, M. F., Casa, A. L., Dal Molin, C. N. y Hernando, I. N. 2023. Hoja Geológica 3969-24 General Roca, provincia de Río Negro. Escala 1:100.000. Boletín N° 445, 107 pp. Buenos Aires. Servicio Geológico Minero Argentino, Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- Salgado, L., Coria, R.A. y Heredia, S.E. 1997. New materials of *Gasparinisaura cincosaltensis*, a basal iguanodontian dinosaur from the Upper Cretaceous of Argentina. *Journal of Vertebrate Paleontology* 17(4): 758-762.
- Salgado, L., Coria, R.A., Arcucci, A.B. y Chiappe, L. M. 2009. Restos de Alvarezsauridae (Theropoda, Coelurosauria) en la Formación Allen (Campaniano-Maastrichtiano), en Salitral Ojo de Agua, Provincia de Río Negro, Argentina. *Andean geology*, 36(1), 67-80.
- Scanferla, C.A. y Canale, J.I. 2007. A new record of *Dinilysia* (Serpentes) from the Anacleto Formation (Upper Cretaceous), Patagonia, Argentina. *Cretaceous Research* 28(5): 755-761.
- Somacal, L. y Tunik, M. A. 2024. Herramienta de código abierto @cont.ar para el conteo modal de areniscas. Actas del XXII Congreso Geológico Argentino, San Luis, Argentina.
- Tomaselli, M.B., Ortiz David, L.D. y González Riga, B.J. 2021. Paleoenvironmental contexts of South American Cretaceous sauropod tracks. *Journal of South American Earth Sciences* 110.
- Tunik, M.A., Folguera, A., Naipauer, M. y Ramos, V.A. 2010. Early uplift and orogenic deformation in the Neuquén Basin: constraints on the Andean uplift from U-Pb and Hf isotopic data of detrital zircons: *Tectonophysics*, 489, 258-273.
- Uliana, M.A. 1974. Geología superficial de la parte este de la Cuenca Neuquina. Yacimientos Petrolíferos Fiscales Gerencia de Exploración, (Inédito). Buenos Aires.
- Uliana, M.A. 1979. Geología de la región comprendida entre los ríos Colorado y Negro, Provincias de Neuquén y Río Negro (Inédito): La Plata, Universidad Nacional de La Plata, Tesis Doctoral.
- Uliana, M.A. y Dellapé, D.A. 1981. Estratigrafía y evolución paleoambiental de la sucesión maastrichtiana-eoterciaria del engolfamiento neuquino (Patagonia Septentrional). En Actas del 8° Congreso Geológico Argentino. Vol 1: 637-711. San Luis, Argentina.
- Uliana M.A. y Legarreta L. 1993. Hydrocarbons habitat in a Triassic to Cretaceous sub-andean setting: Neuquén basin, Argentina. *Journal of Petroleum Geology* 16: 397-420.

8. Anexo

Anexo 1 – Conteo modas detríticas

	Formación Anacleto				Formación Allen						
	Puesto Zinelli								Cantera YPF		
	Muestras										
	M2	M4	M6	M8	M13	M14	M15	M17	M1 YPF	M5 YPF	
Qmf	29,71	22,00	20,57	22,00	13,43	25,14	26,00	23,14	26,00	22,86	
Qmo	5,14	5,43	4,29	6,86	11,14	8,86	6,29	4,00	7,71	3,14	
Qp	7,14	10,86	11,43	14,00	7,14	10,86	6,86	10,86	12,29	6,86	
Fk	15,14	12,57	11,71	12,86	10,29	14,00	11,71	9,43	12,00	13,14	
Fmc	0,57	0,29	0,86	0,00	0,00	0,86	0,86	1,14	0,57	0,29	
Fpl	12,00	11,43	8,86	16,00	10,57	10,00	8,57	14,00	5,43	7,71	
Lp	0,00	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	1,43	0,29	
Lsc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,86	0,00	0,00	5,14	
Lss	0,00	4,57	0,00	0,00	0,00	1,71	1,43	2,29	0,00	0,00	
Lvl	3,43	2,29	3,14	1,43	2,00	4,29	0,57	0,57	0,29	0,57	
Lvp	2,29	1,43	4,00	2,57	4,29	2,00	2,86	2,29	0,00	0,00	
La	3,71	3,71	5,14	3,71	6,86	3,43	7,14	8,57	0,86	2,86	
Lvg	4,00	5,14	8,86	6,29	8,00	6,00	4,86	8,86	7,14	14,00	
Pse	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86	0,00	0,00	0,00	
Lvs	1,14	0,86	2,29	2,29	2,57	2,57	3,43	2,57	7,43	4,57	
Ca	0,00	11,43	0,00	0,00	0,29	4,86	9,43	7,14	0,00	0,00	
Cca	11,71	0,00	12,00	10,29	8,29	0,00	0,00	0,00	13,71	15,43	
Cf	2,00	2,29	3,71	0,00	0,29	0,00	0,57	0,00	0,00	1,43	
Oc	0	0	0	0	4,86	0	0	0	0	0	
Mi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,29	0,00	0,57	
Om	0,86	0,00	1,14	0,00	0,86	0,00	0,29	0,29	0,00	0,00	
Op	1,14	1,71	1,43	0,29	0,29	0,57	0,29	0,00	0,00	0,29	
Por	0,00	4,00	0,57	1,14	8,86	4,86	4,86	4,29	5,14	0,86	
Px	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,00	0,00	
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

Abreviaciones tabla de conteo:

Qzm: cuarzo monocristalino *flash*

Fpl: feldespato plagioclasa

Qzo: cuarzo monocristalino onduloso

Lp: lítico plutónico

Qp: cuarzo policristalino

Lsc: lítico sedimentario carbonático

Fk: feldespato alcalino

Lss: lítico sedimentario silicoclástico

Fmc: feldespato microclino

Lvl: lítico volcánico con textura *lathwork*

Lvp: lítico volcánico con textura pilotáxica

La: lítico alterado

Lvg: lítico volcánico con textura granular

Pse: pseudomatriz

Lvs: lítico volcánico con textura seriada

Ca: cemento de analcima

Cca: cemento carbonático

Cf: cemento ferruginoso

Oc: otros cementos

Mi: micas

Om: otros minerales

Op: opacos

Por: porosidad

Px: piroxeno