



## FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

# Tesina presentada para obtener el grado académico de LICENCIADA EN GEOLOGÍA

## IMPLICANCIAS GEOLÓGICAS DE LOS DEPÓSITOS CUSPIDALES DE LA FORMACIÓN CERRO AZUL, MESETA DE CHICAL CÓ, LA PAMPA

Carla Carrizo

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2017

#### **PREFACIO**

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Licenciado en Geología, de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en las instalaciones del Pabellón Sur del Campo de Enseñanza, dependiente de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, durante el período comprendido entre el 8 de abril y el 20 de diciembre de 2016, bajo la dirección del Dr. Marcelo Zárate y la codirección de la Dra. Adriana Mehl.

Carla Carrizo

23 de Febrero de 2017

Departamento de Ciencias Naturales

#### FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

### UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis directores, el Dr. Marcelo Zárate y la Dra. Adriana Mehl por el constante estímulo, dedicación y sobretodo paciencia.

A los evaluadores de este trabajo, la Dra. Graciela Visconti y el Dr. Walter Bertotto, por sus correcciones y observaciones que mejoraron este manuscrito.

A mis compañeros de campaña, Florencia Lorenzo, Juan Ponce y Pedro Di Liscia, por su compañía y buena predisposición durante los trabajos de campo.

A Claudia Montoya, por su ayuda en las tareas de laboratorio.

A la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, por prestarme sus establecimientos para el desarrollo de mis estudios universitarios.

A mis amigos, los de siempre.

A mi familia, pilar indiscutido en mi vida. Este logro es tan mío como de ellos.

#### <u>RESUMEN</u>

En las barrancas ubicadas en el límite oriental de la Meseta de Chical Có, noroeste de La Pampa, afloran sedimentos la Formación (Fm.) Cerro Azul. Se realizó un análisis geomorfológico, pedo-sedimentológico y estratigráfico de dichos afloramientos. Se identificaron dos Asociaciones de Facies, la **Asociación de Facies A (AF A)**, presenta dos sectores definidos: uno basal con depósitos típicos y representativos de la Fm. Cerro Azul y otro cuspidal con depósitos de fracciones granulométricas más gruesas. En el sector inferior de la sucesión se observa un arreglo litofacial de tipo fluvial efímero con intercalaciones de depósitos loéssicos, ocasionalmente retrabajados por lavado de pendiente, y paleosuelos. El sector cuspidal, con depósitos de mayor granulometría, refleja procesos fluviales, también efímeros, pero vinculados a flujos gravitacionales y/o hiperconcentrados que en forma alternante transportaron sedimentos finos en suspensión, y arenas y gravas como carga de lecho. La **Asociación de Facies B (AF B)** corresponde a calcretes pedogenéticos con horizontes bien diferenciados y características morfológicas particulares, resultado de la precipitación de carbonato de calcio por proceso pedogenético en zonas vadosas; cementan los depósitos cuspidales de la **AF A**.

La granulometría más gruesa del sector cuspidal de los afloramientos analizados se interpreta como una respuesta sedimentaria a la reactivación tectónica del Bloque de San Rafael, y en consecuencia de los pulsos de levantamiento andino del Mioceno tardío, que favorecieron el aumento de energía en el sistema del piedemonte oriental del Bloque de San Rafael. La estabilidad tectónica posterior y la concentración abundante de carbonato de calcio sobre una superficie relativamente estable, en un clima árido, propiciaron la formación de un calcrete potente que registra un largo periodo de estabilidad de la superficie de la Meseta de Chical Có.

#### **ABSTRACT**

On the cliff developed in the eastern margin of the *Meseta de Chical Có* plateau, northwest *La Pampa* province, sediments of the *Cerro Azul* Formation (Fm.) crop out. A geomorphological, pedo-sedimentological and stratigraphic analysis of these outcrops was carried out. Two Facies Associations were identified; the **Facies Association A** (**FA A**) presents two sections, one basal with the most typical sediments of the *Cerro Azul* Fm. and another with coarse sediments on top. In the lower part of the succession an ephemeral fluvial-type arrangement is inferred, with intercalations of loessic deposits, ocasionally reworked by slope wash processes, and paleosols. The upper part of **FA A** also indicates ephemeral fluvial processes, but linked to gravitational and/or hyperconcentrated flows that transported, alternatively, fine sediments by suspended load, and sands and gravels as bedload. The **Facies Association B** (**FA B**) corresponds to pedogenic calcrete with good horizonation and particular morphological features associated to each horizon. They were interpreted as the result of pedogenic calcium carbonate precipitation in the vadose zone, cementing the uppermost deposits of the **FA A**.

The coarser grainsizes of the uppermost part of the analyzed sequence are interpreted as the sedimentary response to the *San Rafael* Tectonic Block (SRTB) reactivation because of the late Miocene andean upwelling pulses that conditioned an increase of energy in the sedimentary system of the eastern piedmont of the SRTB. The abundant concentration of calcium carbonate on a relatively stable surface and in an arid climate led to the formation of the calcrete, which formation records a long lasting interval of stability of the *Meseta de Chical Có* surface.

## <u>ÍNDICE</u>

Portada	
Prefacio	1
Agradecimientos	2
Resumen	
Abstract	4
Índice	

## Capítulo 1. Introducción

1.1. Alcances de la investigación	7
1.2. Hipótesis y objetivos	8
1.3. Ubicación del área de estudio	9

## Capítulo 2. Materiales y métodos

2.1. Metodología general	12
2.2. Reconocimiento preliminar en gabinete de la región	12
2.3. Tareas de campo	12
2.4. Tareas de laboratorio y gabinete	13

## Capítulo 3. Marco geológico y geomorfológico

3.1. Geomorfología	18
3.2. Marco geológico regional	
3.3. Estratigrafía	22

## Capítulo 4. Resultados

4.1. Descripción de perfiles litoestratigráficos	27
4.2. Descripción e interpretación de litofacies	51
4.3.Asociación de facies: paleoambientes de sedimentación	57

## Capítulo 5. Discusión

5.1. Reconstrucción paleoambiental	60
5.2. Calcrete	62
5.3. Significado geológico/tectónico de las variaciones sedimentológicas	
observadas	66
Capítulo 6. Conclusiones	68
Capítulo 7. Anexo	69
Capítulo 8. Referencias bibliográficas	73

## <u>CAPÍTULO 1</u>

### **INTRODUCCIÓN**

#### 1.1. Alcances de la investigación

Desde el punto de vista geomorfológico, el territorio de la provincia de La Pampa, está dominado por una extensa planicie ligera a fuertemente ondulada y con gradiente hacia el este (Calmels, 1996). En particular, en el sector noroeste de la provincia se encuentra el Pediplano Occidental y en él se diferencian dos grandes unidades: la Meseta de Chical Có y La Meseta Basáltica (Calmels y Casadío, 2004).

La Meseta de Chical Có, con una extensión aproximada de 5500 km<sup>2</sup>, se ubica hacia el este del frente de levantamiento del Bloque de San Rafael (Folguera y Zárate, 2009) sobre un sistema de antepaís fragmentado fósil e incipiente (Folguera *et al.*, 2015). En el extremo oriental de la Meseta, en las barrancas desarrolladas en el frente de la línea de escarpa de falla, aflora una sucesión sedimentaria correspondiente a la Fm. Cerro Azul (Linares et al., 1980). Regionalmente, esta unidad ha sido asignada al Mioceno tardío basado en su contenido de vertebrados fósiles, correspondiente a los pisos-edades Chasiquense y Huayqueriense (Montalvo y Casadío 1988, Verzi et al., 2008). Esta sucesión se extiende aproximadamente desde el límite con la provincia de Mendoza al norte, hasta el Puesto de Las Matras (en las cercanías de la Ruta Nacional Nº151) en el sur, con buenas exposiciones en las barrancas cercanas a la localidad de Algarrobo del Águila (Visconti et al., 2010). Visconti (2007) y Visconti et al. (2010) reconocieron tres asociaciones de facies sedimentarias: una inferior, de ambiente lacustre, y las del sector medio y superior, de naturaleza eólica, donde alternan depósitos eólicos loéssicos y paleosuelos, con escaso retrabajo fluvial (Visconti et al., 2010). En este sector de la Meseta de Chical Có, la Fm. Cerro Azul apoya sobre el sustrato peneplanizado del bloque de San Rafael y remata en una costra calcárea potente sepultada por un manto eólico delgado del Pleistoceno tardío - Holoceno (Folguera, 2011). Hacia el este del frente de barrancas, en la zona de la Estancia Chical Có se observan lomas alargadas en sentido NO-SE, ya citadas por Núñez (1976), que están formadas por material gravoso en la parte superior y exposiciones de la Fm. Cerro Azul en la parte inferior.

En la zona de Algarrobo del Águila (corte Ruta Provincial N°10) la costra calcárea incluye clastos de tamaño grava cuya participación se incrementa hacia el norte de este lugar (Melchor y Lambías, 2004). Asimismo, Núñez (1976) señala la presencia de rodados

de riolitas, andesitas? y cuarcitas en los niveles calcáreos superiores. En la inspección de los perfiles aflorantes en las barrancas cercanas a la localidad mencionada se identificaron las variaciones citadas. Así, en la base del afloramiento se observaron materiales típicamente limosos con niveles de paleosuelos, que hacia arriba gradan a paquetes de arena fina con presencia de yeso, y remata en niveles conglomerádicos cementados por calcáreo. Una pregunta que surge de estas observaciones es: ¿cuál es el significado del cambio litológico registrado en la sección cuspidal de la Fm. Cerro Azul?.

De acuerdo con lo expuesto, el propósito de investigación de esta tesina de grado es efectuar un análisis sedimentológico-estratigráfico de la sección superior de la Fm. Cerro Azul en las inmediaciones de la localidad de Algarrobo del Águila. Para ello se llevará a cabo una descripción litológica de las unidades aflorantes, sus relaciones espaciotemporales y las formas de paisaje resultantes. Los resultados obtenidos aportarán información geológica para el noroeste de la provincia de La Pampa y permitirán discutir y analizar las propuestas existentes sobre la litología, génesis y evolución del área. Asimismo, brindarán la posibilidad de obtener una perspectiva regional de los acontecimientos geológicos que caracterizaron el Mioceno tardío del centro de Argentina.

#### **1.2. Hipótesis y objetivos**

#### Hipótesis

Los depósitos de arenas finas y niveles con rodados cementados por carbonato de calcio (costra calcárea) del sector cuspidal de la Fm. Cerro Azul son el resultado de: a) reactivaciones tectónicas del Bloque de San Rafael, antepaís fragmentado; b) cambios climáticos; c) factores de control locales.

#### a) *Objetivo general*

- Contribuir a la reconstrucción de la historia geológica del Mioceno tardío en la zona noroeste de La Pampa y sus implicancias regionales.

#### b) Objetivos particulares

-Determinar la composición litológica de las fracciones psefita y psamita de la sección cuspidal de la Fm. Cerro Azul.

 Inferir la génesis y el ambiente sedimentario de los depósitos de la sección cuspidal de la Fm. Cerro Azul.

#### 1.3. Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada aproximadamente entre los paralelos 36° - 36°40'S y los meridianos 67° - 67°40'O (Fig. 1); comprende un rasgo fisiográfico muy característico: la presencia de una línea de escarpa de falla en retroceso, popularmente conocida como "barda", cuya extensión alcanza varias decenas de kilómetros y limita por el oeste el valle del sistema Atuel-Salado-Chadileuvú-Curacó, a su vez es el borde oriental de la Meseta de Chical Có (Fig. 2). Allí se observan afloramientos neógenos de la Fm. Cerro Azul, a menudo cubiertos por sedimentos eólicos con clastos de tamaño grava dispersos en superficie. Las mejores exposiciones se encuentran en las barrancas expuestas sobre la Ruta Provincial N° 10, en la loma de Los Guanacos (36°23'S - 67°17'O), así como al norte y al sur de ésta, a lo largo de unos 30 km, y en los cañadones excavados en la Meseta de Chical Có. En la parte superior de la sucesión, los sedimentos están cementados por carbonato de calcio ("tosca"); estos niveles llegan a tener hasta dos metros de espesor (Visconti *et al.*, 2010), y están cubiertos por depósitos eólicos el Cuaternario.



Fig. 1. Ubicación del área de estudio en el sector noroccidental de la provincia de La Pampa.



Fig. 2. Imagen satelital (*Google Earth* ©) del área de estudio en la Meseta de Chical Có, sector noroccidental de la provincia de La Pampa, con la ubicación de los perfiles litoestratigráficos analizados en afloramientos de la Fm. Cerro Azul.

### CAPÍTULO 2

#### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1. Metodología general

Para el logro de los objetivos propuestos se realizó un análisis estratigráfico, sedimentológico-pedológico y geomorfológico; se utilizaron además conceptos de tectónica y geocronología. Para ello se llevaron a cabo tareas de gabinete, de campo y de laboratorio.

#### 2.2. Reconocimiento preliminar de la región en gabinete

Esta etapa incluyó la recopilación de información bibliográfica y cartográfica, tanto editada como inédita, imágenes satelitales, publicaciones e informes técnicos de la zona de estudio e inmediaciones. Se utilizaron las hojas geológicas del Servicio Geológico Minero Argentino que cubrían los puntos de interés y sus alrededores: Hoja Geológica 3769-II *Agua Escondida*, Hoja Geológica 3766-I *Santa Isabel*, Hoja Geológica 3766-III *La Reforma*, a escala 1:250000 y Hoja Geológica 31e *Chical Có* a escala 1:200000. También se emplearon imágenes satelitales y fotografías recopiladas con el *software Google Earth* de acceso gratuito en Internet e imágenes *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) visualizadas y editadas con el programa *Global Mapper 13.0*. Se realizó una identificación de las geoformas para ubicar los perfiles estudiados y un análisis del marco geológico-estructural de la zona de estudio.

#### 2.3. Tareas de campo

El relevamiento de campo se hizo en dos instancias. La primera fue una campaña de 2 días con alumnos y docentes de la cátedra de Geomorfología, en la cual se reconoció el área de estudio. La segunda fue de 3 días, en ella se llevó a cabo un reconocimiento geológico general de las diferentes unidades estratigráficas aflorantes, a fin de constatar y homologar la información recopilada con observaciones de campo, identificar y realizar nuevas tareas para complementar dicha información.

Se levantaron 5 perfiles estratigráficos ubicados a lo largo del frente de la línea de escarpa (cuadro 1).

PERFIL	COORDENADAS	СОТА	TAREA	
'LG I'	S 36° 23′ 58.3′′	449		
Loma de	0 67º 16′ 52′′	msnm	Descripción del perfil y muestro.	
Guanacos I	0 07 10 32			
'LG II'	S 36º 23' 44 1''	455		
Loma de	0 670 17' 7 0''		Descripción del perfil y muestro.	
Guanacos II	0 07 17 7.2	m.s.n.m.		
'LG III'	S 36º 23' 37.3''	459	Descripción del perfil general v sus	
Loma de	0 67º 17' 5 8''	menm	alrededores	
Guanacos III	0 07 17 5.0		aneueuores	
'PG'	S 36º 01' 25.7''	395	Descripción del porfil y musetro	
Puesto Gonzales	O 67º 14′ 34.3′′	m.s.n.m.	Descripcion dei perfii y muestro.	
'RP 151'	S 36º 32' 19.7''	424	Descripción del parfil y muastra	
Ruta Nacional Nº 151	O 67º 13′ 56.8′′	m.s.n.m.	Descripcion dei perin y muestro.	

Cuadro 1. Datos de los perfiles analizados: nombre, coordenadas geográficas, cota altimétrica, y descripción de las tareas realizadas.

El levantamiento de perfiles estratigráficos se realizó en exposiciones naturales y cortes artificiales; cada uno de ellos se posicionó con GPS Garmin Etrex 30 (cuadro 1). Se efectuó una descripción de atributos: litología, estructuras sedimentarias, color, espesor, geometría de los cuerpos sedimentarios, y relaciones estratigráficas de base y techo de los mismos. Se recolectaron muestras representativas de las unidades sedimentarias identificadas para la determinación de la granulometría de los depósitos a ojo desnudo y con lupa. A partir de la información recolectada se confeccionaron perfiles litoestratigráficos esquemáticos y se efectuó una descripción preliminar.

#### 2.4. Tareas de laboratorio y gabinete

En el laboratorio de Sedimentología de la FCEyN-INCITAP (CONICET-UNLPam) se analizaron los siguientes atributos en las muestras recolectadas: granulometría, color, pH, presencia de concreciones y raíces; porcentaje de materia orgánica y carbonato de calcio. El análisis granulométrico de los sedimentos se realizó con un contador láser de partículas marca *Malvern* modelo *Mastersizer Hydro 2000* µm con un rango de determinación de 2000 µm – 0.10 µm; el equipo trabaja con un *software* que calcula la distribución de tamaños de grano en la muestra analizada. El tamaño de partículas se mide en celda húmeda, es decir con la muestra sumergida en un determinado volumen de líquido (agua en el caso de las muestras de sedimento). No fue necesario tamizar el material a analizar ya que los valores del tamaño de partículas, estaban por debajo del límite de detección superior mencionado. Los depósitos que presentaban sábulos y gravas fueron descriptos en el campo, sin realizar una cuantificación de laboratorio. Las muestras que presentaban (sustancias) cementantes y/o aglutinantes fueron previamente tratadas (Cuadro 2. Procedimiento).

Sustancias cementantes y/o aglutinantes	Tratamiento
Carbonato de Calcio	Digestión de las muestras durante 24 horas en ácido acético al 5% de concentración.
Sulfatos y cloruros solubles	Eliminación con sucesivos lavados con agua destilada y calentamiento de la muestra en mechero para aumentar la solubilidad de los mismos.
Materia orgánica	Eliminación mediante digestión en agua oxigenada (100 volúmenes o menos, dependiendo de la concentración de materia en la muestra) y calentamiento de la muestra. La digestión se realizó en frío cuando la reacción generada fue excesivamente exotérmica.

Cuadro 2. Tratamientos para eliminación de sustancias cementantes en las muestras analizadas.

Una vez realizado el pre-tratamiento de las muestras, se tomó 1 gramo aproximadamente de cada muestra y se lo colocó en un vaso de precipitado con 800 ml de agua destilada y 5-10 ml de hexametafosfato de sodio al 1% de concentración, solución que actúa como medio dispersante y se efectuó el análisis con el contador de partículas. Los resultados obtenidos se expresan como porcentajes en volumen de las distintas fracciones granulométricas presentes en los sedimentos analizados respecto del volumen total. Los resultados se visualizaron en cada caso en una tabla de porcentajes y en una curva de distribución de frecuencias (granulometría vs. frecuencia en %) promedio de tres mediciones realizadas a cada muestra, junto con tres medidas de dispersión central de los valores obtenidos: percentiles de 10 (P10: diámetro de partícula que supera al 10% de los valores de la distribución y es superado por el 90% restante), 50 (P50 o mediana: diámetro de partícula que supera a la mitad de los valores de la distribución y es superado por la otra mitad) y 90 (P90: diámetro de partícula que supera al 90% de los valores de la distribución y es superado por el 10% restante). Se utilizó el sistema de clasificación de Udden – Wentworth (Anexo).

Para el análisis textural, se armaron tablas utilizando el programa *Microsoft EXCEL* como base de datos, y gráficos con los programas *Sigma Plot 10.0.* y *Corel Draw X7* para su interpretación. Se confeccionaron diagramas ternarios siguiendo la propuesta de Folk *et al.* (1970) para graficar los porcentajes de las facciones arena-limo-arcilla (Anexo) y clasificar texturalmente los sedimentos. También se usó el esquema de clasificación textural para sedimentos con participación de la fracción psefítica (Folk *et al.*, 1970. Anexo).

Para la determinación del color, tanto en húmedo como en seco, se utilizó la carta de colores *Munsell Soil Color Charts* (2000). La presencia de concreciones, barnices, moteados y raíces se determinó con la carta de comparación para estimar porcentajes de Folk *et al.*, 1970 (Anexo).

En cuanto a la alcalinidad/acidez del suelo, se calculó el pH actual (Anexo). Para cada una de las muestras, se pesaron 20 g de suelo seco al aire y tamizado por malla de 2000  $\mu$ m, se colocaron en un vaso de precipitado y se incorporaron 50 ml de agua destilada hervida. Se agitó intermitentemente durante 30 minutos y se determinó el pH introduciendo en la suspensión sobrenadante los electrodos del potenciómetro *pHMetro*, *OAKTON*, modelo *PCSTestr 35*.

Para cuantificar el contenido de M.O. y de carbonato de calcio de los sedimentos/suelos se utilizó el método de calcinación o pérdida por ignición (*loss on ignition* en inglés, LOI) que se basa en determinar la pérdida de peso que experimenta una muestra al someterla a determinados rangos de temperatura, para ello se utilizó un hornomufla *SIMCIC HM-3* y una balanza de precisión. Previo a las distintas pesadas realizadas, los crisoles se colocaron dentro de un desecador para enfriarlos y evitar que las muestras absorban agua de la atmósfera durante el proceso. Para la cuantificación de M.O. por LOI (calcinación) se pesaron 3 g de muestra en crisoles previamente secados y pesados. Luego se calentó la muestra a 105° C durante la noche (12 hs. aprox.) para eliminar el agua presente y se determinó el peso. La muestra se calentó nuevamente, hasta alcanzar los 550° C (4 hs.). El valor de LOI obtenido a 550°C indica el % aproximado de M.O. en la muestra y se calcula usando la siguiente ecuación:  $LOI_{550} = ((PS_{105} - PS_{550})/PS_{105})*100$ , siendo PS el peso seco de la muestra (Schumacher, 2002). Luego, se calentaron las muestras a 950° C durante dos horas; la pérdida de peso experimentada es representativa de la cantidad de dióxido de carbono (CO2) eliminado procedente de los carbonatos presentes (en la muestra queda CaO residual). El LOI a 950°C es calculado a partir de: LOI950 = ((PS550-PS<sub>950</sub>)/PS<sub>550</sub>)\*100. Asumiendo un peso de 44 g/mol para el dióxido de carbono y un peso de 66 g/mol para el carbonato, el peso perdido a 950°C multiplicado por 1,36 indica el peso en porcentaje del carbonato (CO<sub>3</sub>-<sup>2</sup>) en la muestra original (Heiri *et al.*, 2001). Asimismo, el contenido de carbonato de calcio puede ser calculado con la siguiente relación CaCO<sub>3</sub> = LOI<sub>950</sub> x 2,274 donde el factor de multiplicación surge de la relación molecular CaCO<sub>3</sub> (100,09) / CO<sub>2</sub> (44,01) = 2,274 (Loss-on-Ignition Protocol; University of Cambridge, Department of (http://www.geog.cam.ac.uk/facilities/laboratories Geography <u>/techniques/loi.html</u>). Los resultados de LOI<sub>550</sub> y LOI<sub>950</sub> se utilizaron para determinar el contenido de carbono orgánico (O.C.) y de carbono inorgánico (I.C.) por medio de las relaciones O.C. = LOI<sub>550</sub>/2, I.C. = LOI<sub>950</sub> x 0,273 (Dean, 1999; Santisteban *et al.*, 2004) (Anexo. Tabla II). Una vez obtenidos los resultados fueron graficados a través de los programas Sigma Plot 10.0. y Corel Draw X7, en diagramas que expresan la variación de los contenidos porcentuales de materia orgánica y carbonato de calcio en función de la profundidad.

Las muestras que no se pudieron tratar en el laboratorio porque contenían un alto % de yeso o por su consistencia endurecida, se analizaron en forma macroscópica y mesoscópica, bajo la lupa. Además, se realizó un análisis mineralógico de especímenes seleccionados a fin de inferir posibles áreas de aporte.

Tanto las costras calcáreas como cualquier acumulación de carbonato de calcio, se conoce vulgarmente en Argentina con el nombre de "tosca" y se utiliza el término "entoscamiento" como sinónimo de cementación avanzada por carbonatación. En este trabajo se sigue la propuesta de Bachman y Machete (1977), que define que el término calcrete refiere a depósitos terrestres de carbonato de calcio, someros o cercanos a superficie, que se acumularon y/o reemplazaron en un suelo preexistente, depósito no consolidado o roca meteorizada para producir una masa endurecida. Para la clasificación de los niveles carbonatados se trabajó sobre la base de las propuestas de Bachman y

Machete (1977) y de Netterberg (1980), quienes definen terminologías que permiten describir las características macroscópicas de los perfiles de calcretes, fundamentalmente en base a estructuras secundarias (químicas) y grado de desarrollo.

En función de la litología y las estructuras sedimentarias primarias y/o secundarias de los perfiles de campo relevados, se definieron y describieron facies sedimentarias y se infirieron los procesos sedimentarios que pudieron generar dichos depósitos (Brookfield y Ahlbrandt, 1983; Tucker, 2003; Miall, 2006; Bridge y Demicco, 2008). Se siguieron los lineamientos propuestos por Miall (2006); así en el código de litofacies se utilizó una letra mayúscula para indicar la litología y una o más letras minúsculas, y eventualmente una letra como subíndice, para hacer referencia a las estructuras sedimentarias mecánicas, orgánicas o alguna otra característica particular de la litofacies. Las asociaciones de facies determinadas permitieron inferir los ambientes de sedimentación. Por último, se realizó la interpretación integral de los datos obtenidos.

## CAPÍTULO 3

### MARCO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

#### 3.1. Marco geológico regional

Desde el punto de vista tectónico, la región centro-oeste de Argentina comprende la porción sur de los terrenos de Pampia, Cuyania y Chilenia (Folguera, 2011); en particular, el basamento del sector occidental de La Pampa corresponde al terreno Cuyania. Este se habría separado del continente de Laurentia durante el Cámbrico inferior mediante un episodio de *rifting* y habría colisionado con el terreno de Pampia entre los 460 y 470 Ma. durante la fase Guandacólica del ciclo Famatiniano (Ramos, 1999; García Torrejón *et al.*, 2011). Cuyania es considerado un "terreno compuesto" formado por los basamentos metamórficos de la sierra de Pie de Palo, de la Precordillera y su prolongación en el bloque de San Rafael (Ramos, 1999). La extensión más austral de Cuyania (Fig.3) se encuentra en la provincia de La Pampa, en el Bloque de las Matras, donde hay afloramientos de edad Grenvilliana en el Plutón de Las Matras (~1200 Ma. Sato *et al.*, 2004).

Este sector está comprendido en el "Cinturón Móvil Mendocino-Pampeano" como lo expresara Criado Roqué (1979), años después redefinido como "Provincia Geológica Sanrafaelino-Pampeana" (Criado Roque e Ibáñez, 1979, en Linares *et al.*, 1980), y posteriormente subdividida en las provincias geológicas del Bloque de San Rafael y del Bloque de Las Mahuidas (Ramos, 1999). La distribución de la Provincia Geológica Sanrafaelino-Pampeana abarca desde el suroeste de la provincia de Mendoza hasta el río Colorado en el sur de la provincia de La Pampa, y se expresa como una faja de basamento de rumbo NNO a SSE, situada entre los 33° - 39° S y los 69° - 65° O (Criado Roqué e Ibáñez, 1979). Hacia el oeste del área de estudio, lavas volcánicas provenientes del cerro Nevado y de otros cuerpos volcánicos de menor dimensión generados por el vulcanismo de Payunia, cubren parcialmente esta faja (Criado Roqué e Ibáñez, 1979; Ramos, 1999).

Dentro de la Provincia Geológica Sanrafaelino-Pampeana se reconoce el Bloque de San Rafael, un bloque de basamento peneplanizado ("Peneplanicie de San Rafael") (Ramos, 1999; Folguera y Zárate, 2009). Estratigráficamente, se inicia con un basamento proterozoico, cubierto por rocas de una plataforma carbonática cambro-ordovícica, que pasa hacia el oeste a facies turbidíticas con metamorfismo dinámico. Un magmatismo de tipo ofiolítico del Ordovícico medio intruyó estas secuencias. Se asocian a estas rocas, depósitos turbidíticos silúrico-devónicos altamente deformados. La orogenia Chánica imprimió una marcada discordancia angular, sobre la cual se apoyan depósitos carboníferos marinos y continentales, cubiertos a su vez por una potente serie volcánica permo-triásica de desarrollo regional amplio (Ramos, 1999). Hacia el este del Bloque, existen depósitos del Triásico medio a superior del *rift* de Llantenes en la subcuenca de Alvear (Criado Roqué, 1979). Así, el área se comportó como un elemento positivo al momento de la transgresión marina Maastrichtiana-Daniana (Ramos, 1999).

En la provincia de la Pampa, se desarrolla la extensión más oriental del Bloque de San Rafael (Fig.3), consiste de un basamento precámbrico formado por las dioritas del cerro de Las Matras (~36°51′S; 67°06′O), con una cubierta sedimentaria cambroordovícica de la Formación San Jorge. Por encima aparecen los granitos de la Formación Piedras de Afilar del Carbonífero inferior. Sobre ésta, apoyan en relación discordante las sedimentitas marinas de la Formación Agua Escondida del Carbonífero superior (Melchor y Llambías, 2004; Sato *et al.*, 2004; Narciso *et al.*, 2007). Finalmente aparecen las facies eruptivas del Grupo Choiyoi (Permo-Triásico).

La peneplanicie de San Rafael está siendo exhumada desde el Mioceno, debido a la orogenia Andina (Ramos, 1999). Las consecuencias inmediatas del régimen de subducción subhorizontal entre los 35° a 38° habrían sido la inversión de las estructuras del Triásico tardío en el antepaís, produciendo el basculamiento y la elevación del bloque de San Rafael y bloques de La Pampa Central–Chadileuvú (Zárate y Folguera, 2014). Importante rasgos de actividad neotectónica en su frente oriental, indican que este proceso está aún activo (Ramos, 1999).

Por su parte, el Bloque de las Mahuidas, reconocido como una provincia geológica por Ramos (1999), tiene un basamento metamórfico precámbrico intruído por plutonitas eopaleozoicas, aunque no se descartan edades más antiguas (Linares *et al.*, 1980). Se considera una extensión del basamento de Sierras Pampeanas; sin embargo, a diferencia de éstas, el bloque no ha estado sometido a los importantes levantamientos andinos, que ocurrieron en la región central del país durante el Neógeno y el Cuaternario. La región fue relativamente estable durante gran parte del Mesozoico y del Cenozoico, estando aún sometida a una intensa peneplanización (Ramos, 1999).



Fig. 3. Provincias geológicas de la región centro-oeste de Argentina (modificado de Ramos, 1999). Delimitación aproximada del terreno de Cuyania (modificado de Sato *et al.*, 2000).

#### 3.2. Geomorfología

Geomorfológicamente, la porción noroccidental de La Pampa fue incluida en el Pediplano Occidental, unidad que se desarrolla sobreimpuesta a la porción sur del Bloque de San Rafael junto con la unidad morfoestructural de Payunia (Narciso *et al.*, 2007). En el Pediplano Occidental pueden diferenciarse dos subunidades: la Meseta de Chical Có y la Meseta Basáltica (Calmels, 1996; Calmels y Casadío, 2004; Fig. 4). El Pediplano Occidental se extiende de oeste a este, desde los 68°15′O en el límite con la provincia de Mendoza con alturas máximas que superan los 1150 m.s.n.m. hasta los 67°30′O donde las cotas descienden hasta los 450 m.s.n.m. Limita al oeste, en territorio mendocino, con el área de Payunia y su límite oriental está constituido por una línea de escarpa de falla retrocedente, conocida como 'barranca', desarrollada en el contacto con la unidad

geomorfológica de la Llanura Aluvial del sistema fluvial del Atuel-Salado-Chadileuvú-Curacó (Calmels y Casadío, 2004). Esta última corresponde a una extensa y alargada faja fluvial que atraviesa gran parte del territorio pampeano en su porción centro-oeste (Fig. 4). Predominan en ella los procesos fluviales y en menor medida los eólicos, mostrando un relieve plano, que a menudo es interrumpido por formas positivas asociadas a afloramientos de roca y geoformas eólicas (Melchor y Casadío, 1999).



Fig. 4. Mapa del sector centro-oeste de la Argentina. Delimitación de las principales unidades geomorfológicas.

La Meseta de Chical Có se extiende desde el límite septentrional con la provincia de Mendoza hacia el sur, hasta alcanzar el frente de las coladas de la Meseta Basáltica. El límite este lo constituyen elevadas barrancas desarrolladas a partir de escarpas de falla del área Atuel-Salado, actualmente enmascarado por material meteorizado; hacia el oeste se funde con el área de la Payunia (Calmels y Casadío, 2004).

En la zona de la Meseta de Chical Có existen exposiciones de secuencias sedimentarias homogéneas de hasta 60 metros de espesor (Visconti, 2007 y Visconti *et al.*,

2010; Folguera y Zárate, 2009) descriptas como una alternancia de limolitas y areniscas, que constituyen la litología dominante (Visconti *et al.*, 2010). Hacia el techo se desarrollan costras calcáreas –calcretes-, que rematan la sucesión; estos depósitos corresponden a la Fm. Cerro Azul (Linares *et al.*, 1980). Por encima de éstas, se observa un manto eólico delgado.

La Meseta Basáltica (Fig.4) corresponde a la parte meridional del Pediplano Occidental, desde el sur de la Meseta de Chical Có hasta el río Colorado. Su paisaje es uniforme y monótono, con suaves ondulaciones (Calmels y Casadío, 2004). Está constituida por la superposición de coladas de lava basáltica, de tipo olivínica, erosionadas y de edad Plioceno al Pleistoceno, que representan la porción oriental del extenso campo basáltico de Payunia, que rodea al volcán Payún Matrú, provincia de Mendoza (Bertotto, 2000; Llambías *et al.*, 2010). Payunia registra dos picos de actividad, el más antiguo es mayormente mioceno -26 a 8 Ma- y el más joven de menos de 5 Ma, Plioceno – Holoceno, (Llambías *et al.*, 2010). Este campo basáltico comprende la región extracordillerana del sur de Mendoza, parte del sector noroccidental de La Pampa y el extremo norte de Neuquén, con un relieve irregular y escalonado de planicies y cerros (Cortés *et al.*, 1999) y vulcanitas de retroarco (Narciso *et al.*, 2007; Llambías *et al.*, 2010).

#### 3.3. Estratigrafía

La columna estratigráfica en el área de estudio, y zonas aledañas, está compuesta por las siguientes unidades en orden cronológico decreciente (Fig.5):

Fonotema	Fratema	Sistema	Serie	Form		Formación	Descripción			
2		Cualemain	Holoceno	15		15-Depósitos eólicos	Arenas finas a medianas (Melchor y Llambías, 2004)			
		0	Mioceno superior	13	14	14-Cerro Azul 13-Cortadera	Areniscas, pelitas y calizas (Linares <i>et al.</i> , 1980) Andesitas, dacitas y riolitas (Narciso, 2007)			
	leógen	Mioceno medio	1	2	12-Palao Có	Basalto olivínico (Núnez, 1976)				
	enozoi	z	Mioceno inferior	1	1	11-Puesto Barros	Areniscas tobáceas (Narciso, 2007)			
Fanerozoico zoico	oue	Oligoceno	1	0	10-La Parva	Basalto (Núnez, 1976)				
		Eoceno superior	9	9	9-Vaca Mahuida	Grainstones, areniscas y pelitas				
		ш.	Paleoceno		Q	8-Roca, Grupo Malarque	Rudstones, grainstones, areniscas y pelitas (Narciso, 2007)			
	zoico		Cretácico		o		······································			
	leso		Triásico inferior	7	7 2	7-Choique Mahuida	Lavas, tobas, ignimbritas y brechas riolíticas (Narciso, 2007)			
	2				≥ 6	6-Quebrada del Pimiento	Basalto (Narciso, 2007)			
	Carbonífero Devónico me Ordovícico ir		Pérmico superior	5	Σ	5-Agua de Burros	Dacitas, traquiandesitas, tobas e ignimbritas (Narciso, 2007)			
		Carbonífero superior			4-Agua Escondida	Arenitas, pelitas, vaques (Narciso, 2007)				
			Devónico medio	3	}	3-Piedras de Afilar	Granito (Tickyj <i>et al.</i> , 2015)			
								Ordovícico inferior	2	2
Prote	erozoi	ico	Mesoproterozoico			1-Las Matras	Trondhjemitas y tonalitas (Melchor y Llambías, 2004)			

Fig. 5. Columna estratigráfica. Las líneas continuas representan los contactos netos; las líneas oblicuas son discordancias angulares; las líneas discontinuas son discordancias erosivas.

#### Proterozoico

#### **Mesoproterozoico**

Corresponde a los afloramientos en el Cerro Las Matras, ubicado 13,5 km al suroeste de Paso de Los Algarrobos (~36°51'S; 67°06'O) y conforma el basamento de la Subcuenca de Alvear (Melchor y Llambías, 2004). Linares *et al.* (1980) señalaron que la unidad está integrada por una diorita de grano fino a mediano de color verdoso, intruída, y parcialmente granitizada, por un granito rosado. Se clasificaron geoquímicamente como trondhjemitas-tonalitas, con una edad de cristalización de alrededor de 1200 Ma. (Sato *et al.*, 2000), que concuerda con la edad correspondiente a la orogenia Greenvilliana (Ramos, 1999).

#### Paleozoico

#### Ordovícico inferior

Formación San Jorge: se trata de calizas estratificadas, micríticas con trombolitos y estromatolitos que constituyen asomos de reducida extensión situados al suroeste de las

lomas de Olguín. Representan emplazamientos de profundidad variable entre submareal y supramareal, con ocasional exposición subaérea (Melchor y Llambías, 2004).

#### Devónico medio

Formación Piedras de Afilar: corresponde a granitos (Tickyj *et al.*, 2015) ubicados a unos 15-20 km al NO de la localidad de Agua Escondida (provincia de Mendoza). Sobre la Ruta Provincial N°10 también se encuentran algunos asomos como resultado de destapes mineros.

#### Carbonífero superior

Formación Agua Escondida: está formada por sedimentitas marinas (arenitas, pelitas y vaques), que apoyan en relación discordante sobre las rocas devónicas (Narciso *et al.*, 2007; Melchor y Llambías, 2004). Esta unidad se ubica en los valles del sistema Atuel-Salado-Chadileuvú y las mejores exposiciones corresponden a la Loma de los Guanacos  $(36^{\circ}28'30''S - 67^{\circ}15'40''O)$ . Allí, Melchor (1996) describió la sección como una transición entre un ambiente de playa a una plataforma marina somera con influencia de mareas.

#### Paleozoico-Mesozoico

#### Permo-Triásico

Grupo Choiyoi: facies eruptivas que se extienden a lo largo de los bloques de San Rafael y de las Mahuidas. Corresponden a un acontecimiento magmático de carácter bimodal representativo de una etapa distensiva del límite Paleozoico-Mesozoico. Este apoya sobre la Fm. Agua Escondida en discordancia erosiva; con una sección inferior mesosilícea (Formación Agua de los Burros) y una superior silícea (Formación Choique Mahuida), e intercalación de una sección intermedia máfica (Formación Quebrada del Pimiento), mostrando una acidificación hacia las secciones más jóvenes (Narciso *et al.*, 2007). Criado Roqué (1979) propuso un equivalente para el Grupo Choiyoi en el Bloque de San Rafael y en su extensión en la provincia de La Pampa. Lo denominó *Grupo Sierra Pintada* y reconoció tres unidades con rango de Formación: Zúñiga (leucogranitos rosados), El Centinela (andesitas) y Choique Mahuida (riolitas).

#### Mesozoico-Cenozoico

#### Cretácico-Paleógeno

Formación Roca – Grupo Malargüe: los afloramientos se hallan en el centro-oeste del departamento Puelén y en el oeste del Chical Co en la provincia de La Pampa. Corresponden a rudstones, grainstones, areniscas y pelitas de edad Maastrichtiana, asociadas a un ambiente de rampa carbonática (Narciso *et al.*, 2007).

#### Cenozoico

#### Eoceno superior

Formación Vaca Mahuida: está formada por grainstones oolíticos cementados por calcita, que se intercalan con areniscas y pelitas calcáreas. Representa un ambiente marino marginal, de escasa profundidad, con niveles de energía variable (Narciso *et al.*, 2007).

#### Oligoceno-Mioceno

Formación La Parva: corresponde a un basalto con alto grado de diaclasamiento, que ocasionalmente se encuentra intruyendo a la Fm. Roca (Núñez, 1976).

#### Mioceno inferior

Formación Puesto Barros: caracterizada por una alternancia de areniscas tobáceas finas a medianas, que corresponden a un ambiente de planicie aluvial con procesos pedogénicos (Narciso *et al.*, 2007). Se observan discordancias erosivas en la base y en el techo.

#### Mioceno inferior a medio

Formación Palao Co: corresponde a basaltos olivínicos de grano grueso con abundantes vesículas tapizadas con calcita (Núñez, 1976).

#### Mioceno superior

Formación Cortadera: consta de volcanitas andesíticas, dacíticas y riolíticas calcoalcalina con contenidos normales de potasio, asociadas a un vulcanismo de retroarco. En el área de la Hoja Agua Escondida, apoyan en relación discordante sobre las volcanitas e intrusivos del Grupo Choiyoi (Narciso *et al.*, 2007).

Formación Cerro Azul: aflora principalmente en los sectores centro-este, sureste, centro y noroeste de la provincia de La Pampa (Fig. 6) y está compuesta por una alternancia de limolitas y areniscas, con intercalaciones de arcilitas en los estratos basales.

Hacia el techo se desarrollan calcretes, que rematan la sucesión y permitieron la preservación de las capas infrayacentes durante su exhumación (Visconti, 2007 y Visconti *et al.*, 2010), y en algunas exposiciones se encuentran englobando clastos de riolitas, andesitas (?) y cuarcitas (Nuñez, 1976). Esta unidad se encuentra cubriendo afloramientos de la Formación Agua Escondida y del Grupo Sierra Pintada y está cubierta por coladas del basalto El Mollar en el ámbito de la Hoja Santa Isabel (Melchor y Llambías, 2004).



Fig. 6. Distribución de la Fm. Cerro Azul (aflorante y subaflorante) en la provincia de La Pampa. Modificado de Visconti *et al.* (2010) y de Zárate y Folguera (2014).

## CAPÍTULO 4

#### **RESULTADOS**

### 4.1. Descripción de perfiles litoestratigráficos

### 4.1.1. Perfil Loma de Guanacos I

El perfil (Fig. 7) se ubica en las barrancas localizadas al oeste de la localidad de Algarrobo del Águila, departamento Chical Có, en un corte natural cercano a la Ruta Provincial Nº 10 (Lám. 1, Fig. A). El depósito tiene un espesor de 2,50 metros y no presenta base expuesta. Tiene dos niveles, el superior correspondiente a un calcrete, y el inferior a depósitos arenosos y limosos (Lám. 1, Fig. B).



Fig. 7. Perfil litoestratigráfico Loma de Guanacos I. Tabla con observaciones particulares (porcentaje de gravas, nódulos, yeso, raíces). Variación de granulometría, contenido de materia orgánica y carbonato de calcio, en función de la profundidad.

#### Nivel superior, desde arriba:

De 0-0,15 metros, calcrete nodular con "textura pisolítica" (Lám.1, Fig. C) color blanco (10YR 8/1). Las pisolitas presentan morfologías y dimensiones variadas. Su núcleo está compuesto por clastos tamaño arena media (relictos de la Fm. Cerro Azul según Visconti *et al.*, 2010) cementados por carbonato de calcio y recubiertos por sucesivas láminas de cemento calcáreo. Contiene un 5-10% de gránulos, guijas y guijarros, con un diámetro máximo de 4 cm y formas subangulares a angulares, son clastos polimícticos (riolitas, cuarcitas, basaltos, granitos) y están pobremente seleccionados. Se observan abundantes raíces actuales. El depósito sedimentario calcretizado puede clasificarse como una arenisca gravosa (Folk *et al.*, 1970). El límite inferior es plano.

De 0,15-0,60 metros, calcrete de color blanco (10YR 8/1) y estructura maciza. La matriz sedimentaria no se observa a ojo desnudo y la porosidad es baja a nula; su consistencia es muy firme y está endurecido por la cementación carbonática (Lám.1, Fig. D). Se observan escasas raíces y el contacto inferior es plano a levemente ondulado.

De 0,60-0,70 metros, calcrete color blanquecino (10YR 8/1), con estructura brechosa y lateralmente continuo. Está constituido por capas laminares que rompen en bloques angulares y subangulares con disposición subhorizontal. Granulométricamente, está compuesto por clastos de la fracción arenas finas/medias cementadas por carbonato de calcio. Presenta raíces que crecen en los planos de brechamiento y ejercen fuerzas que favorecen el fracturamiento. El límite inferior es plano a levemente ondulado.

De 0,70-0,90 metros, calcrete color blanco (10YR 8/1) y de estructura maciza. La matriz sedimentaria no se distingue a ojo desnudo. La consistencia es muy firme y está endurecido por el cemento carbonático. En la porción basal se observan clastos limoarcillosos (<2%) que se distinguen de la matriz calcárea por su color castaño (10YR 5/3), con diámetros que varían entre 0,2-2 cm y morfologías bien redondeadas y de baja esfericidad. El contacto inferior es plano a levemente ondulado.

De 0,90-1,50 metros, calcrete color castaño pálido (10 YR 6/3), estructuralmente se distingue una laminación difusa (Lám.1, Fig. E). Está conformado por láminas incipientes

levemente onduladas, de entre 3 y 5 cm de espesor. La matriz sedimentaria corresponde a arenas finas/medias cementadas por abundante carbonato de calcio. Contiene ~25% de clastos limo-arcillosos color castaño (10YR 5/3); sus tamaños varían entre 0,2-2,5 cm de diámetro y sus formas son redondeadas y esféricas; ocasionalmente se observan clastos de roca (gránulos de litología indefinida).En los 10 cm basales del nivel, la laminación incipiente se hace difusa y el carbonato de calcio es aún dominante pero pulverulento y cementa sedimentos más finos. La consistencia del estrato es moderadamente friable, hay raíces y el contacto inferior es ondulado y gradual.

#### Nivel inferior:

De 1,50-1,70 metros, depósito color castaño amarillento claro (10YR 6/4), macizo. Está compuesto por limos arenosos con una matriz rica en carbonato de calcio. Contiene ~10% de clastos limo-arcillosos de tamaño milimétrico a menudo recubiertos por pátinas de manganeso, y ocasionalmente se encuentran gránulos de riolitas y cuarcitas (<2%). La consistencia del estrato es friable, presenta raíces, y el límite inferior es irregular/transicional.

De 1,70-2,50 metros, depósito de color castaño claro amarillento (10YR 6/4) y estructura maciza. Está compuesto por arenas limosas (Lám.1, Fig. F) y presenta niveles localizados de yeso, enraizamientos y nódulos aislados de carbonato de calcio (<2%). La base está cubierta.

Las muestras tomadas en este nivel (inferior) muestran un porcentaje de M.O. relativamente bajo, con valores de entre 0,43 y 0,66 %. El contenido de  $CaCO_3$  varía entre 1,7 y 2,8 %. El pH muestra una ligera a moderada alcalinidad con valores que disminuyen progresivamente hacia la base del perfil (Fig. 8B)



Fig. 8. Perfiles litoestratigráficos analizados: Loma de Guanacos I, II, Puesto Gonzales y Ruta Nacional Nº151. A) Contenidos porcentuales de arena-limo-arcilla y grupos texturales dominantes (según Folk *et al.*, 1970). B) Parámetros analizados en las muestras, % Arcilla, % Limo, % Arena y fracción textural, pH, %M.O. (materia orgánica) y %CaCO<sub>3</sub> (carbonato de calcio).



Lámina 1: Figuras A, B, C, D, E y F.

- A) Vista panorámica del margen oriental de la Meseta de Chical Có.
- B) Perfil Loma de Guanacos I. Contacto entre nivel superior (calcrete) y nivel inferior (depósitos de arenas y limos).
- C) Detalle del horizonte nodular con textura pisolítica en planta.
- D) Detalle de los horizontes brechoso y macizo del calcrete.
- E) Horizonte carbonático con laminación incipiente; detalle del contenido de clastos limoarcillosos.
- F) Arena limosa con abundantes clastos de roca en la base del perfil.

#### 4.1.2. Perfil Loma de Guanacos II

El perfil analizado (Fig. 9) se ubica en cercanías a la Ruta Provincial Nº 10, a unos pocos metros del perfil Loma de Guanacos I, en una exposición natural del margen oriental de la Meseta de Chical Có. Allí aflora una sucesión sedimentaria de 7 metros de potencia sin base expuesta (Lám. 2, Fig. A). De techo a base, el nivel superior corresponde a un calcrete, y el nivel inferior a sedimentos dominantemente areno-limosos.



Fig. 9. Perfil litoestratigráfico Loma de Guanacos II. Tabla con observaciones particulares (porcentaje de gravas, nódulos, yeso, raíces). Variación de granulometría, contenido de materia orgánica y carbonato de calcio, en función de la profundidad.

#### Nivel superior:

De 0-0,70 metros, calcrete color blanco (10YR 8/1) y estructura brechosa (Lám. 2, Fig. C); tiene elevada firmeza y se rompe en bloques angulares y subangulares. Contiene ~2% de gránulos, guijas y guijarros con diámetros variables entre 0,2 y 3 cm (Lám. 2, Fig. B). Son clastos polimícticos (basaltos, riolitas, sábulos y fragmentos oscuros de litología indefinida). Las fracturas existentes están rellenas por sedimento suelto de la fracción

arena fangosa y contienen raíces. El contenido de  $CaCO_3$  es ~8,27 % y el de M.O. es 0,94% (muestra LG2 M1; Fig. 8B). El límite inferior es plano.

De 0,70-3,60 metros, calcrete color castaño-castaño oscuro (10YR 4/3), tiene una estructura maciza con textura pulverulenta. La matriz está formada por arenas finas/medias con abundante carbonato de calcio. La precipitación del carbonato sin un endurecimiento significativo, conduce a la formación de este tipo de horizonte, que Esteban y Klappa (1983) denominaron como *chalky horizon*. Presenta ~10% de sábulos de material pelítico-psamítico, recubiertos de pátinas de manganeso, los cuales se hacen más abundantes hacia la base del nivel. Se caracteriza por ser de consistencia friable a inconsolidado. Contiene abundante yeso, que a menudo engloba parte del material hospedante y rellena fracturas verticales y subverticales (Lám. 2, Fig. D). Se hallaron abundantes raíces actuales y el contacto inferior es irregular/transicional.

A los 2,80 y 3,10 metros de profundidad se desarrollan bancos con disposición horizontal (Lám. 2, Fig. E) de 10 y 8 cm de espesor, respectivamente; son dominantemente limoarenosos, con clastos limo-arcillosos de color castaño-castaño oscuro (10YR 4/3) que a menudo están recubiertos con pátinas de manganeso; estos bancos están cementados por carbonato de calcio. Los contactos superior e inferior son planos.

#### Nivel inferior:

De 3,80-4,40 metros, depósito de color castaño amarillento claro (10YR 6/4), presenta estructura maciza y está compuesto por arenas limosas. Ocasionalmente se encuentran sábulos (<2%), y contiene escaso CaCO<sub>3</sub> (0,31 %, LG2 M7; Fig. 8B). El contacto inferior es plano.

De 4,40-4,70, depósito color castaño-castaño oscuro (10YR 4/3); son bancos con estructura en bloques prismáticos y con estratificación horizontal. Corresponden a limolitas arenosas, con clastos limo-arcillosos. Se observan pequeñas fracturas rellenas de carbonato de calcio y abundantes raíces; el contacto inferior es plano.

De 4,70-7 metros, el depósito presenta un color castaño amarillento claro (10YR 6/4), estructura maciza, y exhibe arenas limosas. Se observan abundantes nódulos de carbonato de calcio (Lám. 2, Fig. F) con morfologías variadas; entre ellas esféricas, cilíndricas (en general elongadas verticalmente), e irregulares. Los nódulos, de hasta 15 cm de longitud,

se distinguen de la matriz areno-limosa que los contiene, por su color castaño muy pálido (10YR 8/3) y aparecen distribuidos de manera aleatoria. La base del depósito está cubierta.

El nivel (inferior) en general, muestra un contenido de M.O. relativamente bajo, que varía entre 0.24 y 0.27 %. Los valores de  $CaCO_3$  varían entre ~0.31 y 0.56%. El pH muestra una ligera a moderada alcalinidad con valores que disminuyen progresivamente hacia la base del perfil (Fig. 8B).


#### Lámina 2: Figuras A, B, C, D, E y F.

- A) Vista general del perfil Loma de Guanacos II.
- B) Vista en planta de clastos tamaño grava incluidos dentro del calcrete.
- C) Calcrete con estructura brechosa.
- D) Calcrete con estructura maciza y textura pulverulenta. Detalle de las ramificaciones de yeso.
- E) Bancos de limolitas arenosas con clastos limo-arcillosas, con cemento calcáreo y raíces.
- F) Depósitos de arenas limosas con abundantes nódulos de carbonato de calcio.

#### 4.1.3. Perfil Loma de Guanacos III

La sucesión sedimentaria analizada (Fig. 10) se encuentra expuesta en un corte natural sobre el margen oriental de la Meseta de Chical Có, a unas pocas decenas de metros de los perfiles Loma de Guanacos I y II. El perfil cuenta con 6 metros de espesor, sin base expuesta y se diferenciaron dos niveles estratigráficos, superior (calcrete) e inferior (areniscas y limolitas).



Fig. 10. Perfil litoestratigráfico Loma de Guanacos III. Tabla con observaciones particulares (porcentaje de gravas, nódulos, yeso, raíces).

#### Nivel superior:

De 0-1,80 metros, calcrete color castaño muy pálido (10 YR 8/3) y de estructura brechosa que se rompe en bloques angulares y subangulares, dispuestos subhorizontalmente. Cementa sedimentos de la fracción arena fina/media. En algunos sectores contiene hasta ~40% de gránulos, guijas, guijarros y guijones mal seleccionados, con tamaños que varían entre 0,2-15 cm de diámetro y morfologías angulares, subangulares, y redondeadas (Lám. 3, Fig. B). La composición comprende riolitas, basaltos, granitos, cuarcitas y lutitas. Los clastos están distribuidos heterogéneamente y en forma aleatoria; muchos de ellos se encuentran fracturados y rellenos de carbonato de calcio (Lám. 3, Fig. C). Se reconocen

estructuras de disolución, con formas de cavidades huecas y otras irregulares (Lám. 3, Fig. D). El límite inferior es plano a levemente ondulado.

De 1,80-2,40 metros, calcrete color castaño muy pálido (10 YR 8/3), estructura maciza con textura pulverulenta. Cementa arenas finas/medias y contiene ~10% de gránulos y guijas mal seleccionadas. Se observan abundantes clastos limo-arcillosos (~25%) subredondeados color castaño (10YR 5/3). Contiene yeso disperso en la matriz calcárea. El contacto inferior es irregular/transicional.

De 2,40-3,30 metros, calcrete color castaño (10YR 5/3), con estructura nodular. Cementa arenas finas/medias y la morfología de los nódulos es variable, desde esféricas a cilíndricas e irregulares (Lám. 3, Fig. E). En algunos sectores se observan estructuras de disolución y acumulaciones de sábulos con pátinas de manganeso (~10%). En los 30 cm basales, la estructura se hace difusa, el carbonato de calcio (matriz pulverulenta) es aún dominante cementando sedimentos más finos y disminuye la presencia de nódulos carbonáticos. En este tramo se ven acumulaciones lentiformes de conglomerados mal seleccionados (~10%) de riolitas, cuarcitas, fragmentos líticos indiferenciados y basaltos. El contacto inferior es ondulado.

#### Nivel inferior:

De 3,30-3,60 metros, depósitos color castaño amarillento claro (10YR 6/4), con estructura maciza. Son arenas finas con escaso contenido de clastos conglomerádicos y carbonato de calcio esparcido en la matriz arenosa.

De 3,60-3,90 metros, sedimentos color castaño (10YR 5/3); son bancos con estructura en bloques prismáticos y presentan estratificación horizontal. Corresponden a limolitas arenosas con ~30 de clastos limo-arcillosos. Contiene <2% de gránulos, pequeñas fracturas rellenas de carbonato de calcio y abundantes raíces. Los contactos superior e inferior son planos.

De 3,90-4,40 metros, depósitos color castaño amarillento claro (10YR 6/4), con estructura maciza. Son arenas limosas con escaso contenido de gránulos y guijas (<3%) y baja proporción de carbonato de calcio esparcido en la matriz arenosa.

De 4,40-4,80 metros, sedimentos color castaño (10YR 5/3); son bancos con estructura en bloques prismáticos y estratificación horizontal. Están constituidos por limolitas arenosas

con clastos limo-arcillosos y gránulos (<2%). Presentan pequeñas fracturas rellenas de carbonato de calcio y abundantes raíces. Los contactos superior e inferior son planos.

De 4,80-5,15 metros, depósitos color castaño amarillento claro (10YR 6/4), con estructura maciza. Son arenas finas con escaso contenido de gránulos y guijas (<3%).

De 5,15-5,60 metros, sedimentos color castaño (10YR 5/3). Son bancos con estructura en bloques prismáticos y estratificación horizontal. Corresponden a limolitas arenosas con 30% de clastos limo-arcillosos. Presenta pequeñas fracturas rellenas de carbonato de calcio y abundantes raíces. Sus contactos superior e inferior son planos.

De 5,60-6 metros, depósitos color castaño amarillento claro (10YR 6/4), con estructura maciza. Son materiales de la fracción arena fina con escaso contenido de gránulos y guijas (<3%).



#### Lámina 3: Figuras A, B, C, D, E y F.

- A) Vista general del perfil Loma de Guanacos III.
- B) Calcrete con estructura brechosa y abundante contenido de gravas.
- C) Grava fuertemente fracturada y meteorizada por carbonato de calcio.
- D) Estructuras de disolución (círculo).
- E) Calcrete con estructura nodular.
- F) Bancos de limolitas arenosas con estratificación horizontal.

#### 4.1.4. Perfil Puesto Gonzales

El afloramiento analizado (Fig. 11) está ubicado al norte de la localidad de Algarrobo del Águila, en cercanías del paralelo 36°, que coincide con el límite interprovincial. Es una exposición natural en el borde oriental de la Meseta de Chical Có (Lám. 4, Fig. A). El perfil de 3,50 metros de espesor y sin base expuesta, presenta de techo a base, un nivel superior que corresponde a un calcrete y un nivel inferior con depósitos sedimentarios pelítico-psamíticos.



Fig. 11. Perfil litoestratigráfico Puesto Gonzales. Tabla con observaciones particulares (porcentaje de gravas, nódulos, yeso, raíces). Variación de granulometría, contenido de materia orgánica y carbonato de calcio, en función de la profundidad.

#### Nivel superior:

De 0-0,60 metros, calcrete color gris pardo claro (2.5Y 6/2), con estructura brechosa y geometría tabular. Cementa arenas finas/medias y gránulos, guijas y guijarros (~40%) mal seleccionados y distribuidos al azar. La composición litológica de las gravas de mayor tamaño corresponde a riolitas y basaltos, mientras que las más pequeñas -gránulos/guijas-, son de cuarcitas, granitos y fragmentos verdosos (Lám. 4, Fig. B). Morfológicamente, las gravas con angulares, redondeadas y subredondeadas; sus diámetros llegan hasta los 15 cm. El brechamiento tiene mayor intensidad en la parte más superficial del horizonte (Lám. 4, Fig. C), donde además hay abundantes raíces. El carbonato de calcio recubre los clastos

e incluso los fractura; en algunos sectores laterales al perfil se pueden distinguir pisolitas formadas por núcleos de arenas medias recubiertas por láminas carbonáticas. El contacto con el estrato inferior es plano (Lám. 4, Fig. D), y se denota por el cambio en la coloración y en el tamaño del grano que se hace considerablemente menor.

#### Nivel inferior:

De 0,60-3,5 metros, los depósitos muestran variadas tonalidades. De 0,60-1,60 metros el color pasa de blanco (10YR 8/1) a castaño muy pálido (10YR 8/3) y de 1,60 metros hasta la base del nivel cambia a castaño amarillento claro (10YR 6/4). En general, tiene estructura maciza y homogénea; dominan el grupo textural areno-limoso. Contiene abundantes gránulos y guijas (~25-30%), y su fábrica es granocreciente. Son clastos redondeados y subredondeados polimícticos (riolitas, basaltos, cuarcitas). Es común el desarrollo de nódulos de carbonato de calcio (~5%) incluidos dentro de la matriz areno-limosa. Entre 0,60 y 1,70 metros, los nódulos son esféricos o subesféricos; entre 1,70 y 3,50 metros pasan a formas más elongadas/cilíndricas e irregulares y con mayor abundancia. Se distinguen por las diferencias de color con respecto de la matriz que los rodea (castaño pálido -10 YR 6/3-), comúnmente son de color blanco (10 YR 8/2), y son más compactos y consistentes.

Los contenidos de M.O. son relativamente bajos (0,23-0,28 %); los porcentajes de CaCO<sub>3</sub> muestran un valor de 3,77 % a los 0,80 metros (muestra PG-M1), que desciende considerablemente en profundidad (entre 1-1,5%). Los valores de pH muestran una ligera alcalinidad (Fig. 8B).



#### Lámina 4: Figuras A, B, C, D, E y F.

- A) Vista general del perfil Puesto Gonzales.
- B) Vista en planta del horizonte brechoso con abundantes gravas.
- C) Calcrete con estructura brechosa.
- D) Contacto entre el nivel superior (calcrete) e inferior (arenas limosas).
- E) Detalle del depósito de arenas limosas con guijas y guijarros.
- F) Morfología de los nódulos de carbonato de calcio en niveles basales del perfil.

# 4.1.5. Perfil Ruta Nacional Nº151

El perfil analizado corresponde a una sección expuesta en un corte artificial en la Ruta Nacional Nº 151 (Fig. 12), cuando ésta intercepta el borde oriental de la Meseta de Chical Có en sentido NNE-SSO (Lám. 5, Fig. A). Tiene 5,50 metros de espesor, sin base expuesta y presenta dos niveles, el superior correspondiente a un calcrete y el inferior con sedimentos dominantemente pelíticos-psamíticos.



Fig. 12. Perfil litoestratigráfico Ruta Nacional Nº 151. Tabla con observaciones particulares (porcentaje de gravas, nódulos, yeso, raíces). Variación de granulometría, contenido de materia orgánica y carbonato de calcio, en función de la profundidad.

#### Nivel superior:

De 0-0,30 metros, calcrete color blanco (10YR 8/1), estructura nodular y textura pisolítica (Lám. 5, Fig. C). Las pisolitas tienen núcleos compuestos de arenas medias gravosas (Folk *et al.*, 1970) cementada por carbonato de calcio en forma de láminas delgadas y concéntricas. Contiene abundantes clastos (Lám. 5, Fig. B) de tamaño gránulos, guijas y guijarros gruesos (~20%) distribuidos aleatoriamente, con variadas litologías (mayormente riolitas, en menor proporción basaltos, granitos y cuarcitas). En planta se observan abundantes raíces. El contacto inferior es ondulado.

De 0,30-0,80 metros, calcrete que presenta cambios en las tonalidades -desde blanco (10YR 8/1) a castaño amarillento (10 YR 5/4)- producto de la re-cementación, su estructura es brechosa, rompe en fragmentos angulares y subangulares y deja fracturas al descubierto donde se acumula calcáreo terroso y friable (Lám. 5, Fig. C). Cementa arenas finas/medias y contiene ~10% de gránulos, guijas y guijarros, con diámetros máximos de hasta 5 cm. Las litologías varían entre riolitas, basaltos y cuarcitas. Contiene abundantes raíces y cristalización de yeso "en roseta". El contacto inferior es plano a levemente ondulado.

De 0,80-1,05 metros, calcrete color castaño pálido (10 YR 6/3), con estructura maciza y geometría tabular. La matriz sedimentaria no se distingue a ojo desnudo; posee baja a nula porosidad y su contacto inferior es plano a levemente ondulado.

De 1,05-1,40 metros, calcrete color castaño pálido (10 YR 6/3), con estructura nodular. Los nódulos de carbonato de calcio son en general subredondeados con diámetros que varían entre 2-5 cm. (Lám. 5, Fig. D) y disminuyen con la profundidad. Están contenidos en una matriz arenosa con cemento calcáreo pulverulento. Contiene, además, ~30% de clastos limo-arcillosos de 1-2 cm de diámetro, recubiertos por pátinas de manganeso y ~20% de gránulos y guijas de riolitas y otros fragmentos oscuros indefinidos. El contacto inferior es irregular/transicional.

#### Nivel inferior:

De 1,40-3,10 metros, depósitos color castaño muy pálido (10YR 7/3), con estructura maciza de arenas limosas. Contiene ~40% de gránulos y guijas finas, bien seleccionados (Lám. 5, Fig. E) de riolitas y cuarcitas. También se observan clastos limo-arcillosos (10%) recubiertos con pátinas de manganeso y nódulos de carbonato de calcio. En la cúspide de este depósito, el CaCO<sub>3</sub> alcanza valores máximos de 2,45% y luego disminuye con la profundidad (Fig. 8B). El límite inferior es plano a levemente ondulado.

De 3,10-3,50 metros, depósitos color castaño amarillento claro (10YR 6/4); son bancos con estructura en bloques prismáticos y estratificación horizontal difusa. Corresponden a limolitas arenosas con <3% de gránulos y guijarros. Contiene además, clastos limo-arcillosos (~5%) frecuentemente recubiertos con pátinas de manganeso, fracturas rellenas con cemento carbonático y raíces. El límite inferior es plano a levemente ondulado.

De 3,50-5 metros, los depósitos son de color castaño amarillento claro (10YR 6/4), con estructura maciza y corresponde a arenas limosas. Contiene ~3% de nódulos de carbonato de calcio (Lám. 5, Fig. F) y escasos gránulos y guijarros. También se observan clastos limo-arcillosos (2%) esparcidos dentro de la matriz arenosa. El contacto inferior es ondulado.

De 5-5,50 metros, el depósito es de color castaño amarillento claro (10YR 6/4); son bancos con estructura en bloques prismáticos. Corresponde a limolitas arenosas con clastos limoarcillosos y fracturas rellenas por material calcáreo. También se observan abundantes raíces. El contenido de M.O. es de 0,49% (R 151 M7; Fig. 8B). El contacto inferior no está expuesto.

En este nivel (inferior) en general, los porcentajes de CaCO<sub>3</sub> disminuyen con la profundidad, desde valores máximos de 2,4 % en los depósitos que están inmediatamente por debajo del calcrete. El pH muestra una alcalinidad ligera a moderada (Fig. 8B).



#### Lámina 5: Figuras A, B, C, D, E y F.

- A) Vista general del perfil Ruta Nacional Nº151.
- B) Vista en planta del calcrete brechoso con abundante contenido de gravas.
- C) Calcrete nodular con textura pisolítica y subyaciendo el calcrete con estructura brechosa.
- D) Calcrete macizo en la parte superior y calcrete nodular en la inferior.
- E) Depósito de arena limosa con detalle en la fracción guijarrosa.
- F) Morfología de los nódulos de carbonato de calcio.

#### 4.2. Descripción e interpretación de litofacies

El análisis litofacial permitió reconocer 12 litofacies en los depósitos analizados. En la parte superior de los perfiles estudiados es frecuente encontrar litofacies de 'calcretes' con distintos tipos de estructura y textura (cuadro 4) que evidencian diferentes estadios de evolución. Su formación es post-depositacional respecto de la depositación de las litofacies clástica (cuadro 3).

LITOFACIES (clásticas)	LITOLOGÍAS Y ESTRUCTURAS	INTERPRETACIÓN
Le	Limolita arenosa con clastos limo- arcillosos, rizolitos carbonáticos y raices	Procesos pedogenéticos que afectan a depositos de loessitas, paleosuelo
Lmg	Limo arenoso macizo guijarroso	Loessitas con fracción gruesa (gránulos y guijarros) asociados a un proceso eólico o lavado de pendiente.
Am	Arena limosa maciza	Depósitos de flujos gravitatorios
Amg	Arena limosa maciza guijarrosa	Depósitos de flujos hiperconcentrados en sistemas fluviales efímeros
Ami	Arena fina/media maciza con intraclastos	Depósitos de flujos fluidos hiperconcentrados (5-70 %) en ambientes no confinados
Gmm	Grava matriz-soportada maciza	Depósitos de flujos de detritos de alta resistencia

Cuadro 3. Litofacies clásticas observadas en los depósitos analizados y sus características.

LITOFACIES (no clásticas)	DESCRIPCIÓN	ESTADIOS PROPUESTOS POR BACHMAN Y MACHETE (1977)	ESTADIOS PROPUESTOS POR ESTEBANY KLAPPA (1983)			
Ср	Calcrete nodular con textura pisolítica	Etapa VI	Etapa 5: Retrabajo, brechamiento y meteorización.			
Cb	Calcrete brechoso	Etapa VI	Etapa 5: Retrabajo, brechamiento y meteorización.			
Cm	Calcrete macizo	Etapa V	Etapa 4: Litificación, cementación y fosilización.			
Ci	Calcrete con laminación incipiente	Etapa IV	Etapa 3: Acumulación de carbonato de calcio y diferenciación de horizontes			
Cn	Calcrete nodular	Etapa III	Etapa 3: Acumulación de carbonato de calcio y diferenciación de horizontes			
Cd	Calcrete pulverulento	Etapas II-III	Etapa 3: Acumulación de carbonato de calcio y diferenciación de horizontes			

Cuadro 4. Litofacies calcáreas observadas en los depósitos analizados, sus características y estadios de desarrollo.

# Litofacies Le (Limolita arenosa con clastos limo-arcillosas, rizolitos carbonáticos y raíces)

Esta litofacies se asignó a niveles o bancos de limolitas arenosas con estructuras en bloques prismáticos de espesores variables, color castaño oscuro (10YR 4/3). Presenta clastos limo-arcillosos de color castaño-castaño oscuro (10YR 4/3), cemento carbonático, rizolitos, gravillas (en general <5%) y abundantes raíces. A menudo se observa estratificación horizontal. En general, los contactos superior e inferior son planos y la geometría es tabular. Esta litofacies se observó en los perfiles Loma de Guanacos II (Lám. 2, Fig. E), Loma de Guanacos III (Lám. 3, Fig. F) y Ruta Nacional Nº 151.

<u>Interpretación</u>: Por la presencia de rizolitos, marcas de raíces, concreciones calcáreas de poco desarrollo, geometría tabular y contactos superior e inferior netos, ésta litofacies permite inferir el desarrollo de procesos pedogenéticos, que actuaron en intervalos con menor tasa de sedimentación, desarrollando paleosuelos sobre las sedimentitas previamente depositadas.

#### Litofacies Lmg (limo arenoso macizo guijarroso)

Los depósitos de esta litofacies están formados por limos arenosos, macizos, con gravillas (~10% de gránulos en su mayoría) y ocasionalmente nódulos de carbonato de calcio de formas variadas (esféricas, cilíndricas en general elongadas verticalmente e irregulares). Esta litofacies se observa en el perfil Loma de Guanacos I (Lám. 1. Fig. F).

Interpretación: los depósitos de la fracción fina (limos) podrían corresponder a sedimentitas loéssicas (Brookfield y Ahlbrandt, 1983). En este caso, incluyen una fracción gruesa de gránulos y guijarros que podrían atribuirse a procesos de rodadura y/o saltación eólicos. Ocasionalmente podría haber ocurrido lavado de pendiente (Bridge y Demicco, 2008). Visconti *et al.* (2010) mencionan el retrabajo de este tipo de depósito. Ambos procesos habrían sido favorecidos por la posición proximal que ocupa el perfil en el piedemonte del Bloque de San Rafael.

#### Litofacies Am (arena fina/media maciza)

Corresponde a arenas finas/medias, macizas y homogéneas. Son depósitos tabulares, con bajo o nulo contenido de carbonato de calcio. En caso de estar presente, se forma como nódulos con morfologías variadas. Esta litofacies se observa en los perfiles Loma de Guanacos I, II y III (Lám. 2, Fig. F).

Interpretación: Miall (2006) expresa que en general es difícil encontrar verdaderos depósitos de areniscas macizas, frecuentemente exhiben gradación o revelan una débil laminación; son el resultado de depósitos de flujos gravitatorios de sedimentos, aunque el autor cita que en algunos casos puede corresponder a depósitos afectados por procesos de meteorización-bioturbación que destruyen las estructuras primarias. Ocasionalmente puede ser característico de pequeños canales resultado de un colapso posterior. Así, las capas de areniscas pueden presentar apariencia maciza si la meteorización no resalta la laminación.

#### Litofacies Amg (arena limosa maciza guijarrosa)

Esta litofacies está representada por areniscas limosas macizas; en general el aspecto es homogéneo, la consistencia es friable, y la geometría de los depósitos es tabular. El contenido de gránulos y guijarros es abundante (~20%), pero no supera el 30%, por lo tanto son consideradas arenas gravosas (Folk *et al.*, 1970). La litofacies tiende a mostrar un arreglo granocreciente en el contenido de gravas. La porción superior de los niveles que subyacen al calcrete, presenta carbonato de calcio pulverulento, cuyo contenido disminuye

progresivamente en profundidad aunque frecuentemente se observan nódulos de formas variadas (esféricas, cilíndricas generalmente elongadas verticalmente, e irregulares). La mejor expresión de esta litofacies se observa en el perfil Puesto Gonzales (Lám. 4, Fig. E).

Interpretación: estos depósitos corresponderían a flujos gravitatorios (Miall, 2006) con un alto contenido de sedimentos finos y variable proporción de clastos. En sistemas fluviales efímeros los depósitos de arenas macizas, a veces guijarrosas, se depositan rápidamente a partir de flujos hiperconcentrados. Estos se habrían desplazado sin confinamiento a favor de la pendiente local y habrían depositado su carga frente a gradientes no favorables para el transporte (Reading, 1996, en Mehl y Zárate, 2007) en un régimen de drenaje probablemente efímero.

#### Litofacies Ami (arena fina/media, maciza con intraclastos)

Esta litofacies está representada por arenas finas/medias color castaño pálido (10 YR 6/3), macizas, con abundantes clastos limo-arcillosos de color castaño (10YR 5/3). Sus tamaños varían entre 0.2-2.5 cm de diámetro y sus formas son redondeadas y esféricas; representaría sedimentos típicos de la Fm. Cerro Azul.

<u>Interpretación</u>: podría representar flujos fluidos hiperconcentrados (5-70% sedimentos) con capacidad erosiva en ambiente no confinados (Miall, 2006). Esta litofacies corresponde a la matriz primaria de la litofacies Ci (descripta más adelante) y se observa solamente en el perfil Loma de Guanacos I.

#### Litofacies Gmm (Grava matriz-soportada maciza)

Corresponde a depósitos de gravas arenosas (contenido de gravas superior al 30%; Folk *et al.*, 1970) soportados por una matriz mal seleccionada de arena, limos o lodos; contiene guijarros y guijones (~40%) mal seleccionados, con tamaños que varían entre 0.2-15 cm de diámetro, y morfologías angulares, subangulares y redondeadas. La composición litológica corresponde a riolitas, basaltos, granitos, cuarcitas y lutitas (Lám. 6, Fig. D).

<u>Interpretación</u>: esta litofacies puede formarse por procesos de flujos de detritos de alta resistencia (Miall, 2006). Las capas pueden ser macizas o pueden mostrar gradación de clastos y/o matriz. La imbricación en general está ausente, pero los clastos tabulares pueden presentar una cierta orientación horizontal. Comúnmente, las capas exhiben contactos abruptos entre sí, pero no así erosivas con respecto a las capas subyacentes. Estos

flujos ocupan pasivamente una topografía fluvial preexistente, por ejemplo canales, y así en ocasiones pueden asumir una morfología canalizada.

#### Litofacies Cp (Calcrete nodular con textura pisolítica)

Corresponde a un calcrete formado por pisolitas con núcleos clásticos de arena media, y en algunos casos sedimentos más finos, recubiertos por sucesivas láminas de cemento calcáreo de <2 mm de espesor. Se reconocen pisolitas individuales o pisolitas aglutinadas. Esta litofacies está asociada a abundante actividad microbiológica y meteorización física (Alonso-Zarza y Wright, 2010). A menudo se observan distintas tonalidades en el calcrete debido a la meteorización superficial (Alonso-Zarza y Wright, 2010). Esta litofacies calcárea se describió en los perfiles Loma de Guanacos I (Lám. 1, Fig. C) y Ruta Nacional Nº151 (Lám. 5, Fig. C). La fracción clástica cementada está representada por la litofacies primaria Amg (Arenas macizas guijarrosas).

Interpretación: el desarrollo de calcretes con textura pisolítica corresponde, de acuerdo con Bachman y Machete (1977), al estadio más avanzado de formación de un calcrete, donde se registra un calcrete macizo, multilaminar y fuertemente cementado, indicando etapas sucesivas de brechamiento y recementación. Esteban y Klappa (1983), por su parte, lo incluyen en la etapa 5 del desarrollo de un calcrete, conjuntamente con el horizonte brechoso (ver litofacies a continuación). Los calcretes con textura pisolítica se desarrollan en general a partir de materiales parentales de grano grueso (Alonso-Zarza y Wright, 2010) y son comunes en el techo de los mismos, sobre todo cuando hay intenso brechamiento. Cuando las pisolitas presentan evidencias (al microscopio) de acción microbiana, principalmente fúngica, es un indicio de cese del proceso pedogenético que da lugar a la formación del calcrete (Alonso-Zarza y Wright, 2010), mientras que la laminación carbonática (micrítica en general) más la presencia de restos de tejidos radiculares pone de manifiesto la existencia de raíces (Etcheverria y Folguera, 2014).

#### Litofacies Cb (Calcrete brechoso)

Esta litofacies se caracteriza por la ocurrencia de fragmentos de un calcrete originalmente laminar en una masa calcárea maciza y espacios rellenos por material desplazado desde el suelo superficial. Es una litofacies típica de la parte más superficial de los calcretes, en consecuencia influenciada por la actividad biológica. Las planchas/láminas de carbonato de calcio se rompen en bloques angulares y subangulares dispuestos subhorizontalmente (de 30 cm de largo por 5 cm de ancho aproximadamente), de color blanquecino (10YR 8/1). Este nivel tiene asociadas abundante raíces. Esta litofacies fue observada en todos los perfiles analizados. En los perfiles Loma de Guanacos I, II (Lám. 2, Fig. C), III (Lám. 3, Fig. A) y Ruta Nº151 (Lám. 5, Fig. C), cementa a la litofacies Amg (arenas macizas guijarrosas), mientras que en el perfil Puesto Gonzales cementa a la litofacies Gmm (Gravas matriz soportada macizas).

Interpretación: Esteban y Klappa (1983) incluyen este tipo de horizonte calcáreo en la etapa 5 de desarrollo pedogenético de los calcretes, denominada "retrabajo, brechamiento y meteorización". El calcrete litificado queda expuesto a la alteración por microorganismos, que favorecen la colonización posterior de comunidades vegetales a medida que se desarrolla el suelo. Las raíces fracturan el horizonte endurecido, *duripan*, y la disolución y re-precipitación de carbonatos conducen a la formación de un "conglomerado" brechoso. Si los procesos pedogenéticos disminuyen en intensidad, pueden generar procesos de humectación y desecación en el horizonte brechado (Etcheverría y Folguera, 2014).

#### Litofacies Cm (Calcrete macizo)

Esta litofacies se manifiesta como un horizonte macizo, endurecido y carente de porosidad visible. La matriz sedimentaria no se observa a ojo desnudo. Frecuentemente se presenta como un rasgo prominente en el perfil. Esta facies se observa en los perfiles Loma de Guanacos I (Lám. 1, Fig. D) y Ruta Nacional Nº151 (Lám. 5, Fig. D).

Interpretación: Este tipo de litofacies se produce cuando los procesos erosivos y de sedimentación son de baja magnitud o prácticamente nulos. Al aumentar la proporción de carbonato de calcio en el sustrato sedimentario, imposibilita la colonización de organismos, por lo que los procesos biológicos se detienen. El carbonato disuelto precipita, posteriormente se litifica y forma un *hardpan* (Alonso-Zarza y Wright, 2010). Esteban y Klappa (1983) incluyen esta facies dentro de la etapa 4 ("litificación, cementación y fosilización").

#### Litofacies Ci: Calcrete con laminación incipiente

En esta litofacies el carbonato de calcio cementa a la litofacies Ami (arenas macizas con intraclastos) formando un estrato macizo con laminación difusa. Son planchas calcáreas horizontales o levemente onduladas, de 3-5 cm de espesor. Contiene clastos limo-arcillosos redondeados y subredondeados con bordes definidos y ocasionalmente se

observan clastos de roca (gránulos). El perfil Loma de Guanacos I presenta desarrollo de esta facies (Lám. 1, Fig. E).

<u>Interpretación</u>: Este horizonte calcáreo corresponde al estadio inicial (estadio 3 de Esteban y Klappa, 1983; y estadio IV de Bachman y Machete (1977) del proceso de formación de un horizonte típicamente laminar o *platy*.

#### Litofacies Cn (calcrete nodular)

Se caracteriza por la presencia de abundantes nódulos de carbonato de calcio contenidos en una matriz arenosa con cemento calcáreo en menor proporción. Los nódulos presentan morfología esférica o subesférica, irregular o cilíndrica, y aparecen aislados o en forma coalescente. Estas características se ponen de manifiesto en los perfiles Loma de Guanacos III y Ruta Nacional Nº151 (Lám. 5, Fig. D). La matriz arenosa cementada es comparable a la litofacies Amg (arenisca maciza guijarrosa).

Interpretación: esta litofacies está incluida en la etapa 3 de desarrollo de un calcrete propuesta por Esteban y Klappa (1983), y en las etapas I-III de Bachman y Machete (1977). La precipitación del carbonato de calcio tiene lugar en zonas discontinuas, estrechamente asociada a raíces y microorganismos. Los componentes biológicos del suelo son calcificados y forman nódulos elongados favorecidos por el movimiento vertical del agua. En una etapa inicial se encuentran dispersos, pero con el progreso de la calcificación tienden a forman una masa nodular (Alonso-Zarza y Wright, 2010). Los nódulos con un margen difuso pueden indicar una formación abiogénica por aguas meteóricas. Sin embargo, no es fácil de distinguir entre nódulos formados biogénicamente de aquellos formados abiogénicamente (Pfeiffer, 2011).

#### Litofacies Cd (calcrete pulverulento)

En esta litofacies, el carbonato de calcio se observa en forma pulverulenta, y en menor medida se encuentra como nódulos. Se caracteriza por ser un depósito friable y homogéneo; los sedimentos cementados corresponden a la litofacies Amg (arenisca maciza guijarrosa). Frecuentemente, se observan concentraciones de yeso que engloba parte del material hospedante. Esta facies se observó en los perfiles Loma de Guanacos II (Lám. 2, Fig. D) y III.

<u>Interpretación</u>: esta litofacies se habría generado en una etapa donde el carbonato se acumula sin un endurecimiento significativo, en forma discontinua, pero siempre asociado

a la presencia de raíces y microorganismos. Esteban y Klappa (1983) denominan a este tipo de litofacies como *chalky horizon* (etapa 3 de evolución de calcretes).

#### 4.3. Asociación de facies: paleoambientes de sedimentación

#### Asociación de Facies A (AF A): depósitos clásticos

La Asociación de Facies A (**AF A**) está definida en base a la diferenciación de dos sectores dentro de la Fm. Cerro Azul: un sector basal con depósitos representativos de las exposiciones regionalmente más típicas de esta formación, y un sector cuspidal que corresponde a depósitos de mayor tamaño y que evidencia un cambio granulométrico con respecto al sector inferior.

El sector basal está compuesto por la alternancia de depósitos de arenas limosas y limos arenosos macizos. Comprende las litofacies Le (Limolita arenosa con clastos limoarcillosos, estratificación horizontal, rizolitos carbonáticos y raíces), Lmg (limo arenoso macizo guijarroso), Am (arena limosa maciza) y Amg (arena limosa maciza guijarrosa). Las litofacies Amg y Lmg contienen gránulos y guijarros dispersos cuyo arreglo es granocreciente. La asociación de las litofacies Amg y Am permite interpretar un paleoambiente fluvial efímero con depósitos de flujos mantiformes, que transportaron los clastos por suspensión o saltación. La litofacies **Lmg** corresponde a sedimentitas loéssicas depositadas por acción eólica; contiene además clastos guijarrosos que pudieron ser transportados e incorporados en el depósito por rodadura y/o saltación eólica coetánea. Ocasionalmente estos depósitos pueden ser el resultado del retrabajo de sedimentos loéssicos por corrientes ácueas efímeras sin confinamientos desplazadas a favor de la pendiente local (lavado de pendiente; Bridge y Demicco, 2008). Los rasgos de pedogénesis están evidenciados por el desarrollo de paleosuelos incipientes (Le) que indican lapsos con bajas tasas de sedimentación, aporte silicoclástico menor y estabilidad de las superficies, o bien podría ser por mayor intensidad de la pedogénesis.

El sector cuspidal de la sucesión sedimentaria incluida en la AF A corresponde a sedimentos que aquí serán mencionados como *depósitos primarios* que posteriormente fueron calcretizados (ver **AF B**). Está integrada por las litofacies **Am** (arenisca maciza), **Amg** (arenisca maciza guijarrosa), **Ami** (arenisca maciza con intraclastos) y **Gmm** (Grava matriz-soportada maciza). Su génesis se vincularía con procesos fluviales también

efímeros que habrían transportado, en forma alternante, sedimentos finos movilizados por suspensión, así como arenas y gravas transportados principalmente como carga de lecho a través de flujos gravitacionales y/o flujos hiperconcentrados. Este sector cuspidal de la **AF A** evidencia un cambio granulométrico con depósitos de mayor tamaño respecto a los del sector basal. En consecuencia la **AF A** presenta un marcado arreglo granocreciente.

### Asociación de Facies (AF B): Litofacies calcáreas

Esta asociación es posterior a la depositación de la Formación Cerro Azul. Se caracteriza por la presencia de un calcrete, bien diferenciado en horizontes con características morfológicas particulares. Involucra las litofacies **Cn** (calcrete nodular), **Ci** (calcrete con laminación incipiente), **Cd** (calcrete pulverulento), **Cm** (calcrete macizo), **Cb** (calcrete brechoso), **Cp** (calcrete con textura pisolítica). Verticalmente, las litofacies muestran una distribución que concuerda con las etapas de depositación de carbonato de calcio de Bachman y Machete (1977), y con la propuesta de perfil idealizado de Esteban y Klappa (1983), aunque algunos horizontes pueden estar ausentes. Se interpreta como calcretes pedogenéticos (Goudie, 1983), donde la acumulación diferencial de carbonatos de calcio en el suelo, producen la formación de los distintos horizontes o litofacies calcáreas. Su formación es el resultado la precipitación de carbonato de calcio en un ambiente vadoso superficial.

# CAPÍTULO 5

# **DISCUSIÓN**

#### 5.1. Reconstrucción paleoambiental

A partir del análisis sedimentológico-estratigráfico de la sección cuspidal de la Formación Cerro Azul en cercanía de la localidad de Algarrobo del Águila (La Pampa), se infirió el significado del cambio litológico registrado.

El análisis de litofacies de los perfiles analizados permitió determinar una **Asociación de Facies A (AF A),** con dos sectores definidos: uno basal con depósitos típicos y representativos de la Fm. Cerro Azul y otro cuspidal con depósitos de fracciones granulométricas más gruesas que posteriormente fueron calcretizados.

El sector basal están conformado por las litofacies: Le (limos arenosos con clastos limo-arcillosos, rizolitos carbonáticos y raíces), Lmg (limo arenoso macizo guijarroso), Am (arena limosa maciza) y Amg (arena limosa maciza guijarrosa). Estas litofacies, en términos generales, se repiten cíclicamente. La litofacies de limos guijarrosos (Lmg) correspondería a sedimentitas loéssicas ocasionalmente retrabajadas por lavado de pendiente; la fracción guijarrosa puede haber sido incorporada por rodadura y/o saltación eólica como consecuencia de la posición proximal en el piedemonte del Bloque de San Rafael, o bien incorporados por el retrabajo ácueo. Las litofacies arenosas (Am y Amg) se vincularían a procesos fluviales efímeros que transportaron los sedimentos en suspensión, saltación y rolido. Los paleosuelos (Le) están separados espacialmente en la columna sedimentaria con el material originario identificable (Lmg, Am, Amg); se habrían formado con un aporte discontinuo de sedimentos y periodos de pedogénesis suficientes para formar un suelo maduro (Imbellone y Cumba, 2003).

Para el sector cuspidal de la Fm. Cerro Azul se determinaron las siguientes *litofacies primarias* que posteriormente fueron calcretizadas: **Am** (arenisca maciza), **Amg** (arenisca maciza guijarrosa), **Ami** (arenisca maciza con intraclastos) y **Gmm** (Grava matriz-soportada maciza). Estas exhiben mayor tamaño granulométrico que las litofacies del sector basal antes analizado. Están formadas por arenas medias, arenas guijarrosas y gravas (guijones y guijarros) matriz-soporte (arena media). Se infiere que se trata de procesos fluviales también efímeros como flujos gravitacionales y/o flujos

hiperconcentrados que, alternadamente transportaron sedimentos finos (en suspensión) y arenas y gravas (como carga de lecho).

Por su parte la **Asociación de Facies B** (**AF B**), reúne las litofacies que permiten describir y analizar el proceso post-depositacional de calcretización de los depósitos cuspidales de la **AF A** (Cuadro 3). Incluye a las litofacies **Cn** (calcrete nodular), **Ci** (calcrete con laminación incipiente), **Cd** (calcrete pulverulento), **Cm** (calcrete macizo), **Cb** (calcrete brechoso), **Cp** (calcrete con textura pisolítica), que reflejan las diferentes clases de horizontes cementados definidos en base a su estructura. En general, la relación vertical en los perfiles analizados es siempre la misma aunque en algunos casos pueden faltar horizontes. Estas litofacies se interpretan como la formación y desarrollo de un calcrete pedogenético; reflejan la modificación post-depositacional de los depósitos del sector cuspidal de la **AF A**. Estos cambios, marcados por una abundante y prolongada depositación de carbonato de calcio que condujo al entoscamiento/calcretización de los depósitos, indicarían la ocurrencia de dichos procesos en un clima típicamente árido y sugiere la estabilidad relativa de la superficie de la denominada Meseta de Chical Có.

En relación a la **AF** A descripta, los trabajos de investigación previos en el área mencionan este cambio granulométrico. Núñez (1976) hace referencia a un perfil en una pequeña barranca ubicada entre la tapera de Chical Có y el 'cerrito Colorado', donde, en la parte superior, describe un calcáreo terroso, con rodados de rocas volcánicas, clastos de hasta 30 cm, que pasa hacia abajo a un conglomerado fino casi arenoso. Por debajo cambia a un calcáreo arenoso, friable con rodados sueltos; y en la base del perfil, un sedimento calcáreo-arenoso. Los clastos de las secciones conglomerádicas son de riolitas, andesitas? y cuarcitas, no hay basaltos. Posteriormente, Melchor y Llambías (2004) describieron exposiciones de 'tosca' ubicadas al norte de la ruta provincial 10, y plantearon que éstas muestran mayor participación de clastos de grava de vulcanitas. Sin embargo, estos autores indicaron que no pueden determinar si este proceso de calcretización o entoscamiento se produjo mucho tiempo después de la sedimentación del resto de la unidad. Asimismo, Narciso *et al.* (2007) menciona la presencia de areniscas conglomerádicas friables con clastos de riolitas y andesitas predominantemente, y en el tope de la sección, conglomerados con cemento calcáreo y clastos subredondeados de rocas volcánicas.

El visible cambio en la granulometría exhibido en el sector basal en relación con el sector cuspidal de los depósitos que constituyen la **AF A**, de amplia representación areal, permite inferir una modificación sustancial del régimen de transporte de los sedimentos en

la región. La evolución general de la unidad sugiere al menos una reactivación de los sistemas sedimentarios, que se manifiesta con un claro aumento de los aportes sedimentarios y del tamaño de clastos transportados, evidenciando un aumento de la energía hacia el sector cuspidal de la unidad (**AF A**).

#### 5.2. Calcretes

Bachman y Machete (1977) definen a los calcretes como depósitos terrestres de carbonato de calcio, someros o cercanos a la superficie, que se acumularon y/o reemplazaron en un suelo preexistente, depósito no consolidado o roca meteorizada para producir una masa endurecida. Su formación es el resultado de la cementación y la entrada desplazante o por reemplazo de carbonato de calcio en zonas en las que aguas vadosas y freáticas superficiales están saturadas en carbonato cálcico (Alonso-Zarza y Wright, 2010)

Existen dos modelos de formación de calcretes:

A - Calcretes diagenéticos: aquellos donde el cemento carbonático autigénico ha sido introducido dentro del suelo o sedimento por acumulación "absoluta". Puede darse por acción fluvial o por el ascenso por capilaridad de aguas subterráneas, respondiendo al modelo *per ascensum* (Goudie, 1983).

B - Calcretes pedogenéticos: aquellos donde el carbonato de calcio se concentra verticalmente dentro del perfil, por acumulación "relativa". Este modelo es denominado *per descensum* (Goudie, 1983). El carbonato y el calcio se transportan en disolución y su origen puede ser muy variado: agua de lluvia y escorrentías, polvo eólico, bioclastos, restos de vegetación, rocas carbonáticas. Es muy común identificar horizontes bien diferenciados de acumulación de carbonato en macro y micro escalas (Alonso-Zarza y Wright, 2010).

Las características morfológicas macroscópicas observadas en el nivel calcretizado de los cinco perfiles analizados permiten inferir su génesis pedogenética, es decir un modelo *per descensum* (Goudie, 1983). El desarrollo de horizontes bien diferenciados permite realizar una clasificación de cada uno sobre la base de la propuesta de Esteban y Klappa (1983), quienes proponen un perfil idealizado (Fig. 13) para caracterizar los calcretes. Los autores muestran una sucesión vertical de estratos u horizontes morfológicamente distintivos, donde los contactos entre estratos pueden ser transiciones graduales o cambios abruptos.



Fig. 13. Perfil idealizado de Esteban y Klappa (1983).

Netterberg (1980) señaló que la variabilidad lateral y vertical de la morfología de los depósitos calcáreos es una característica distintiva de la mayoría de los calcretes. A su vez, este desarrollo morfológico de los distintos horizontes que los componen permite establecer el grado de evolución del mismo (Bachman y Machete, 1977; Netterberg, 1980). Así, Bachman y Machete (1977) distinguieron seis estadios de desarrollo para los calcretes, considerando un sustrato originalmente permeable. Etapa I: es la etapa inicial, incluye finos recubrimientos y filamentos de carbonato fijados a los granos detríticos. Etapa II: incluye capas de gravilla continuas; los nódulos de carbonato firmes son poco comunes. Etapa III: presencia de nódulos coaligados que ocurren en una matriz de carbonato friable o diseminado. Etapa IV incluye una matriz carbonática laminar, firmemente cementada que envuelve los nódulos; el horizonte está conectado hacia abajo, por las soluciones en movimiento. Etapa V: suelos o estratos aplanados, tabulares, fuertemente cementados, con una capa laminar bien desarrollada. Etapa VI: es la más avanzada; es maciza, multilaminar y el calcrete está fuertemente cementado con abundantes pisolitas, la superficie superior

pueden estar brechada. Las pisolitas pueden indicar generaciones múltiples de brechamiento y de la re-formación.

De acuerdo con estos perfiles idealizados mencionados (Esteban y Klappa, 1983; Bachman y Machete, 1977), en los perfiles de Algarrobo del Águila y sus alrededores se evidenció un estado inicial de formación de calcrete con un bajo grado de desarrollo (Litofacies Cn, Ci y/o Cd). Al iniciarse el proceso de calcretización comienza a aparecer un horizonte transicional que aún tiene características propias del material parental (es decir, sedimentos con muy bajo porcentaje de carbonato de calcio y sin endurecimeinto significativo), esta característica apareció en todos los perfiles y está representado en unos pocos centímetros por debajo del calcrete. Con el tiempo, las masas de carbonato de calcio se agruparon para formar nódulos (Cn), quedando inmersos en una matriz menos ricas en carbonatos. Este tipo de horizonte se observó solo en los perfiles Loma de Guanacos III y Ruta Nº151. En general, el proceso de formación del calcrete continúa con el desarrollo de un horizonte laminar con hábito planar, comúnmente fracturado. Este tipo de horizonte no se encontró en los perfiles analizados, sin embargo en el perfil Loma de Guanacos I se observó un nivel con una laminación incipiente (Ci). En los perfiles Loma de Guanacos II y III se describieron potentes niveles de arenas medias cementadas por carbonato de calcio con textura pulverulenta o "chalky" (Cd), y abundante contenido de yeso. Al continuar con el desarrollo del calcrete, se puede observar un horizonte macizo (Cm). Este estadio está representado en los perfiles Loma de Guanacos I y Ruta Nº 151; donde los Cm son de geometría tabular, firme y homogénea y con contactos netos; este horizonte no está presente en aquellos perfiles en los que aparece el horizonte pulverulento (Cd). En general, en todos los perfiles analizados, se desarrolla en la parte cuspidal de la unidad calcretizada horizonte brechoso (Cb), cuyo término fue incorporado por Bachman y Machete un (1985) para describir una superficie que evidencia múltiples procesos de brechamiento y reformación, dentro de la etapa VI. Asimismo fue interpretado por Esteban y Klappa (1983), quienes lo describen dentro de la etapa 5 de retrabajo, brechamiento y meteorización. En este estadio, se forman las pisolitas (Cp), característica que se ve representada en los perfiles Loma de Guanacos I y Ruta Nacional Nº 151, como la etapa más avanzada en el desarrollo de los calcretes. En las litofacies Cb y Cp se observaron cantidades variables de gravas en los depósitos clásticos primario, estos aparecen en todos los perfiles analizados y pueden llegan hasta el 40%. Pfeiffer (2011) analizó suelos cálcicos con contenido de gravas en el material parental, e indicó estadios evolutivos. El Estadio I se caracteriza por una delgada y discontinua lámina alrededor de los clastos de roca. En el Estadio II, las láminas son continuas y varían en espesor. Las acumulaciones macizas entre clastos y las gravas totalmente cementadas incluyen el Estadio III. En suelos pobres en gravas, el Estadio I muestra pocos filamentos o películas sobre la superficie de los agregados. Los nódulos más débiles, son indicadores del Estadio II, y la presencia de nódulos coalescentes caracteriza el Estadio III. Así, los horizontes **Cb** y **Cp** descriptos pueden ser comparados con el Estadio III en suelos cálcicos con contenido de gravas de Pfeiffer (2011), dado que estas litofacies corresponden a gravas arenosas y arenas gravosas fuertemente cementadas por el carbonato de calcio.

De acuerdo con la descripción e interpretación de las facies calcáreas analizadas (AF B) se infirió el desarrollo de perfil de tosca, o calcrete. La presencia de clastos de roca inmersos en la matriz calcárea, permitió deducir que al momento de la formación de la costra calcárea ya existía un depósito sedimentario silicoclástico de génesis principalmente fluvial (AF A) que aportó material de las fracciones grava y arena gruesa, que posteriormente fueron cementados por el carbonato de calcio (AF B). Estos podrían provenir de áreas pendiente arriba, como productos derivados de una fuente principalmente volcánico y en menor medida plutónica. Como áreas de aporte probables se sugieren los afloramientos de las siguientes formaciones: Piedras de Afilar (Devónico medio), Grupo Choiyoi (Pérmico-Triásico), La Parva (Oligoceno-Mioceno inferior) y Palao Co (Mioceno inferior-medio). Todos ellos están comprendidos en la Meseta de Chical Có y según Vogt et al. (2010) son parte integrante del piedemonte Sub-Andino. Según estos autores, la costra calcárea se encuentra en relación discordante sobre los depósitos de la Fm. Cerro Azul involucrando un hiatus. Se basan en evidencias vinculadas a la modificación del régimen de transporte de material con un aumento de energía en el sistema y una importante cantidad de carbonato de calcio disponible, todo asociado a una modificación climática. La existencia de niveles supone su formación en diferentes lapsos y la edad atribuida a las costras calcáreas, cuyo desarrollo indica la estabilización de las superficies de acumulación sedimentaria, se basa en sus posiciones estratigráficas relativas en la secuencia. Por encima de ésta, apoya un manto de arenas loéssicas del Pleistoceno tardío-Holoceno.

De esta manera, la formación de un calcrete pedogenético bien diferenciado sobre una topografía relativamente plana, de gran extensión, estaría avalado por la propuesta de Alonso-Zarza y Wright (2010) que consideran que la estabilidad relativa de una superficie geomorfológica durante determinado tiempo es fundamental para que actúen los procesos pedogenéticos y díagenéticos que formarán más tarde la costra calcárea; es por ello que se los puede utilizar para identificar paleosuperficies.

#### 5.3. Significado geológico/tectónico de las variaciones sedimentológicas observadas

La morfología actual del área de estudio está vinculada a la evolución del ciclo Andino, que se caracterizó por un subciclo Paleógeno y otro Neógeno, ambos controlados por las variaciones en la velocidad de convergencia relativa entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana. Así, el marco tectónico en el Neógeno estuvo controlada por la segmentación de los Andes (Ramos, 1999).

Para el segmento centro-sur (entre los 34° - 37°S) del país se registró una ciclo completo de engrosamiento de la corteza y elevación del área montañosa, y posterior colapso extensional por fallas normales en el antepaís proximal, denominado paleo *flatslab* Payenia, relacionados directamente con los cambios en la geometría de la zona de subducción (Ramos, 2014). La cuenca de antepaís que se inició, a estas latitudes, en Chile a partir del Eoceno, ingresó en territorio argentino en el Mioceno inferior a medio. Se invirtieron los depocentros de *rift* mesozoicos, alcanzando la cuenca de Cuyo (Ramos, 1999). La sedimentación se reinició con la acumulación de los depósitos continentales del Mioceno tardío y Plioceno que cubren parcialmente el Bloque de San Rafael (Folguera y Zárate, 2014). A su vez, la expansión de la deformación hacia el antepaís ha sido vinculada con el establecimiento de elevadas tasas de exhumación en la Cordillera Principal entre 10 Ma y 7,5 Ma. Entre los 8 a 3 Ma., la deformación de la Mioceno tardío a través de la reactivación de la falla de Santa Isabel (Ramos, 2014). Esta fractura está expresada hoy en día por la escarpa de línea de falla que limita el margen oeste de la cuenca de Alvear.

En este segmento latitudinal, las sedimentitas miocenas de la Cordillera Principal y la región extraandina de Mendoza y Neuquén, incluyendo al Bloque de San Rafael, rellenaron la cuenca de antepaís; estos depósitos se incluyen en la Fm. Aisol (Mioceno medio, Sepúlveda *et al.*, 2007) en la provincia de Mendoza, y en la Fm. Cerro Azul en la provincia de La Pampa. Es en esta última, que los depósitos que afloran en el borde oriental de la Meseta de Chical Có, exhiben evidencias de una modificación del régimen de transporte de sedimentos (perfil granocreciente), resultado de un aumento de la energía en el sistema sedimentario. Posteriormente un prolongado periodo de estabilidad geomorfológica (Mioceno tardío - Plioceno?) dió lugar a la formación de la costra calcárea, bajo un régimen climático árido (Folguera y Zárate, 2009). En la cuenca de Colorado, la preservación de estas superficies de sedimentación - estabilización del Mioceno tardío - Plioceno dió indicios de importantes cambios en el nivel de base del área, permitiendo realizar inferencias acerca de el/los posibles pulsos de ascensos tectónicos vinculados a la orogenia Andina (Folguera y Etcheverría, 2014). En el Pleistoceno temprano, la zona aledaña al Bloque de San Rafael sufrió un colapso extensional general como consecuencia del aumento en el ángulo de la placa subductada, mientras que inyecciones de fundidos desde la astenósfera caliente condujo a la formación de la provincia basáltica Payenia (Ramos, 2014), que se ha estado desarrollando en los dos últimos millones de años.

# CAPÍTULO 6

#### **CONCLUSIONES**

Los estudios realizados en este trabajo permiten validar una de las hipótesis planteadas inicialmente como la más probable. Así, los depósitos de areniscas, areniscas gravosas y gravas, cementados por carbonato de calcio (costra calcárea) del sector cuspidal de la Fm. Cerro Azul, que afloran en la escarpa de erosión retrocedente desarrollada en el margen oriental de la Meseta de Chical Có, pueden interpretarse como la respuesta sedimentaria a la reactivación tectónica del Bloque de San Rafael, como consecuencia de los pulsos de levantamiento andino del Mioceno tardío. La reactivación de los fallamientos y generación de relieve en el área del Bloque de San Rafael y zonas aledañas, condicionó un aumento de la energía en el piedemonte oriental del Bloque, con generación de flujos gravitatorios y corrientes hiperconcentradas que favorecieron la formación de depósitos de mayor granulometría en los términos cuspidales de la Fm. Cerro Azul.

La prolongada depositación de carbonato de calcio en una secuencia estratigráfica condensada asociada a un clima árido sobre una superficie relativamente plana y estable durante un lapso prolongado, redundó en la formación de un calcrete potente con una horizonación interna bien definida, que pudo analizarse en función de los modelos de evolución morfológica de calcretes en climas áridos (estadios de formación de calcretes) y de su significado geomorfológico y estratigráfico.

# CAPÍTULO 7

# **ANEXO**

Clasificación granulométrica de los sedimentos epiclásticos utilizada, según Udden (1914) y Wentworth (1922).

			-		1				
m	mm	ф	Individu	o	Sedimento/Sedimentita				
			Macrolit	0					
1048,6		-20							
524,3		-19							
262,1		-18			Sedimento/Sedimentita Megaclástica				
131,1		-17							
65,5		-16	Megable	oque					
32,8		-15							
16,4		-14							
8,2		-13							
4,1	4096	-12	<u> </u>	Mus on see		Mary Genera			
	2048	11		Grueso	1	Grueso			
	1024	-10	Bloque	Mediano	Aglomerado	Mediano			
	512	9		Fine	1	Eiro			
	256	8	<b>├</b> ──	FINO		FIIIO			
	128	7	Guijón Guijarro Guija			Grueso			
	64	6			1	Mediano			
	32	5			Grava/Conglomerado				
	8				]	Fino			
	4	2							
	2	1	Gránulo		(Sábulo/Sabulita)				
	1	- 0	Grano	Muy grueso		Muy Gruesa			
	0.5	. 1		Grueso		Gruesa			
	0.25	- 2		Mediano	Arena/Arenisca	Mediana			
	0.125	. 3		Fino	]	Fina			
	0.062			Muy fino		Muy fina			
	0.031	5				Grueso/a			
	0.015	- 6			Limo/Limolita				
	0,010	- 0			Linochiona	Fino/a			
	0.004	- /	D. H.	-					
	0,002	- 9	Particul	8					
	0,001	- 10							
	0,0005	- 11			Arcilla/Arcilita				
	0,0002	- 12							
	0,0001	- 13							

Diagrama de clasificación de los sedimentos epiclásticos basado en: A) el contenido de arenas-limosarcillas, y B) participación de la fracción psefítica. Ambos tomados de Folk *et al.*, 1970.



# Referencias de los colores observados en las muestras de sedimento analizadas de acuerdo con Munsell Soil Color Charts (2000):

10 YR 8/1: blanco; 10 YR 8/2 blanco; 10 YR 8/3: castaño muy pálido; 10 YR 7/3: castaño muy pálido; 10 YR 6/3: castaño pálido; 10 YR 6/4: castaño amarillento claro; 10YR 5/2: castaño grisáceo; 10 YR 5/3: castaño; 10 YR 5/4: castaño amarillento; 10 YR 4/3: castaño-castaño oscuro; 10 YR 4/4: castaño amarillento oscuro; 10 YR 3/4: castaño amarillento oscuro; 10 YR 3/6: castaño amarillento oscuro; 7,5 YR 4/6: castaño fuerte.

Carta de comparación visual para estimar abundancias, tomada deFolk et al. (1970).



Rangos de pH del suelo, alcalinidad/acidez:



Perfil	Muestra	Prof.	% A	% L	% LG	% AMF	% AF	% AM	% AG	% AMG	ARCILLA	LIMO	ARENA	FRACCION TEXTURAL
Loma de	LG1 - M2	1,6	11,9	27,79	11,1	16,67	16,17	11,54	4,81	0,02	11,9	38,89	49,21	Limo arenoso
Guanacos I	LG1 - M3	1,9	9,8	22,8	9,5	15,15	15,45	12,25	11,03	4,02	9,8	32,3	57,9	Arena limosa
	LG1 - M4	2,2	10,56	23,69	12,94	18,91	19,69	11,61	2,6	0	10,56	36,63	52,81	Arena limosa
	LG2 - M1	0,5	17,28	23,09	8,6	13,53	15,08	15,5	6,91	0,01	17,28	31,69	51,03	Arena fangosa
Loma de	LG2 - M7	3,8	9,94	20,72	13,31	24,89	18,61	10,67	1,86	0	9,94	34,03	56,03	Arena limosa
Guanacos II	LG2 - M9	4,9	10,92	21,59	11,71	22,3	18,23	10,89	4,33	0,03	10,92	33,3	55,78	Arena limosa
	LG2 - M10	6,9	10,64	24,27	14,31	22,43	15,8	10,28	2,27	0	10,64	38,58	50,78	Arena limosa
	PG - M1	0,8	13,2	25,37	10,47	16,77	17,5	13,31	3,38	0	13,2	35,84	50,96	Arena limosa
	PG - M2	1,4	9,93	22,46	11,84	19,19	18,4	13,93	4,25	0	9,93	34,3	55,77	Arena limosa
Puesto	PG - M3	1,95	9,08	21,3	13,64	21,29	17,46	13,09	4,14	0	9,08	34,94	55,98	Arena limosa
Gonzáles	PG - M4	2,3	8,88	19,85	13,61	22,33	18,28	13,25	3,8	0	8,88	33,46	57,66	Arena limosa
	PG - M5	<mark>2,4</mark> 5	9,76	25,24	14,59	20,84	15,65	11,54	2,38	0	9,76	39,83	50,41	Arena limosa
	PG - M6	3,4	9,75	21,51	14,75	22,39	15,76	11,75	4,09	0	9,75	36,26	53,99	Arena limosa
	R151 - M1	1,64	8, <mark>34</mark>	19,43	11,28	19,48	20,55	16,39	4,53	0	8,34	30,71	60,95	Arena limosa
	R151 - M2	2,14	9,33	20,58	10,05	15,56	15,92	17,4	11	0,16	9,33	30,63	60,04	Arena limosa
Ruta	R151 - M3	2,45	10,12	21,4	11,43	18,01	16,4	14,98	7,66	0	10,12	32,83	57,05	Arena limosa
Nacional	R151 - M4	3,22	12,27	27,07	16,15	22,3	13,35	7,43	1,43	0	12,27	43,22	44,51	Limo arenoso
Nº151	R151 - M5	3,7	10,15	21,69	13,3	20,17	14,08	11,97	8,56	0,08	10,15	34,99	54,86	Arena limosa
	R151 - M6	4,3	6,44	15,45	11,5	19,34	17,55	17,86	11,72	0,14	6,44	26,95	66,61	Arena limosa
	R151 - M7	5,1	13,1	26,96	17,27	21,91	10,7	7,37	2,69	0	13,1	44,23	42,67	Limo arenoso

Tabla I. Análisis granulométricos de las sedimentitas muestreadas:
## Tabla II: Datos adicionales

Perfil	Muestra	Prof. (mts)	Color (en seco)	Color (en húmedo)	Granulometria	pН	Materia Orgánica	Carbonato de Calcio
Loma de Guanacos I	LG1 - M2	1,6	10 YR 7/3	10 YR 5/3	Limo arenoso	8,38	0,66	2,43318
	LG1 - M3	1,9	10 YR 6/4	10 YR 5/4	Arena limosa	8,17	0,43	1,7055
	LG1 - M4	2,2	10 YR 6/4	10 YR 5/4	Arena limosa	8,15	0,56	2,81976
Loma de Guanacos II	LG2 - M1	0,5	10 YR 8/2	10 YR 6/4	Arena fangosa	8,14	0,94	8,27736
	LG2 - M7	3,8	10 YR 6/4	10 YR 4/4	Arena limosa	7,79	0,24	0,31836
	LG2 - M9	4,9	10 YR 5/4	10 YR 3/6	Arena limosa	7,72	0,27	0,5685
	LG2-M10	6,9	10 YR 6/4	10 YR 4/4	Arena limosa	7,81	0,25	0,3411
Puesto Gonzáles	PG-M1	0,8	10 YR 8/1	10 YR 6/4	Arena limosa	8,18	0,25	3,77484
	PG-M2	1,4	10 YR 8/3	10 YR 5/4	Arena limosa	7,9	0,23	1,56906
	PG-M3	1,95	10 YR 6/3	7,5 YR 4/6	Arena limosa	7,72	0,23	1,20522
	PG-M4	2,3	10 YR 6/3	7,5 YR 4/6	Arena limosa	7,9	0,26	1,45536
	PG - M5	2,45	10 YR 6/4	10 YR 4/4	Arena limosa	7,85	0,28	1,52358
	PG-M6	3,4	10 YR 6/3	10 YR 4/4	Arena limosa	7,75	0,28	1,00056
Ruta Nacional №151	R151 - M1	1,64	10 YR 7/3	10 YR 5/3	Arena limosa	7,91	0,27	2,45592
	R151 - M2	2,14	10 YR 7/3	10 YR 5/4	Arena limosa	7,88	0,22	2,43318
	R151 - M3	2,45	10 YR 7/3	10 YR 4/3	Arena limosa	8,31	0,21	1,56906
	R151 - M4	3,22	10 YR 6/4	10 YR 4/4	Limo arenoso	8,39	0,4	0,88686
	R151 - M5	3,7	10 YR 6/4	10 YR 4/4	Arena limosa	7,84	0,2	0,43206
	R151 - M6	4,3	10 YR 6/4	10 YR 3/4	Arena limosa	7,8	0,43	1,11426
	R151 - M7	5,1	10 YR 6/4	10 YR 4/4	Limo arenoso	7,59	0,49	0,75042

## CAPÍTULO 8

## <u>BIBLIOGRAFÍA</u>

Alonso-Zarza, A.M., Wright, V.P., 2010. Calcretes, En: Alonzo-Zarza, A.M. y Tanner, L.H., Carbonates in continental Settings: Facies, environments, and Processes. Developments in Sedimentology 61, pp. 225-267.

Bachman, G.O. y Machete, M.N., 1977. Calcic soils and calcretes in the southwestern United States. *U.S. Geological Survey* Open-File Report 77–794, 163 p. Washington

**Bertotto, G.W., 2000.** Cerro Agua Poca, un cono basáltico cuaternario portador de xenolitos ultramáficos, en el oeste de la provincia de La Pampa, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 55 (1-2): 59-71.

**Bridge, J. y Demicco, R. 2008.** Earth Surface Processes, Landforms and Sediment Deposits. Cambridge University Press, Cambridge, 815 p.

**Brookfield, M. E., y Ahlbrandt, T. S.** (Eds.). (1983). *Eolian sediments and processes* (Vol. 38). Elsevier.

**Calmels, A.P., 1996.** Bosquejo geomorfológico de la provincia de La Pampa. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de La Pampa. 110 pp. Santa Rosa.

**Calmels, A.P. y Casadío, S.A., 2004.** Compilación Geológica de la provincia de La Pampa. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Nacional de La Pampa. 322 pp. Santa Rosa.

**Cortés, J.M., Vinciguerra, P., Yamín, M. y Pasini, M., 1999.** Tectónica Cuaternaria de la región Andina del Nuevo Cuyo (28°- 38° LS). En: Caminos, R. (Ed.): Geología Argentina. Servicio Geológico Argentino, Anales 29 (24): 760-778, Buenos Aires.

**Criado Roqué, P., 1979.** Subcuenca de Alvear Provincia de Mendoza. En: J.C.M. Turner (Ed.), Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, 1:811-836. Córdoba.

**Criado Roque, P. e Ibáñez, G., 1979.** Provincia Sanrafaelino Pampeana. En: J.C.M. Turner (Ed.), Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, 1:837-869. Córdoba.

**Dean, W.E., 1999.** The Carbon Cycle Biogeochemical Dynamics in Lake Sediments. *Journal of Paleolimnology* 21 (4), pp. 375-393.

**Esteban, M. y Klappa, C.F., 1983.** Subaerial exposure environments. In: Scholle, P.A., Bebout, D.G., Moore, C.H. (Eds), Carbonate Depositional Environments. American Association of Petroleum Geologists Memoir 33, pp. 1296.

**Etcheverría, M.P. y Folguera, A., 2014.** Los calcretes del sudeste de la provincia de La Pampa: Calcretización y origen. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 71 (1): 92 – 99. Buenos Aires.

**Folguera, A., 2011.** La reactivación neógena de La Pampa Central. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, 192 pp. (Inédito).

Folguera, A. y Zárate M., 2009. La sedimentación neógena continental en el sector extrandino de Argentina central. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 64 (4): 692-712. Buenos Aires.

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

García Torrejón, M., Álvarez, O., Nacif, S., Novara, I., Sánchez, M., Spagnoto, S., Martínez, P. y Giménez, M., 2011. Evidencias de la zona de contacto entre los terrenos de Precordillera Y Pie de Palo, provincias de San Juan Y Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 68 (4): 502-506.

**Goudie, A.S., 1983.** Calcrete. En Goudie, A.S. y Pye, K. (Eds): Chemical Sediments and Geomorphology. Academic Press, London, pp. 93-131.

Heiri, O., Lotter, A.F. y Lemcke, G., 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology* 25: 101-110.

**Imbellone, P.A. y Cumba, A., 2003.** Una sucesión con paleosuelos superpuestos del Pleistoceno medio-tardío, Holoceno. Zona sur de La Plata, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*. Vol. 10, 1:3-21. Buenos Aires.

Linares, E., Llambías, E.J. y Latorre, C.O., 1980. Geología de la provincia de La Pampa, República Argentina, y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 35:87-146. Buenos Aires.

Llambías, E.J., Bertotto, G.W., Risso, C. y Hernando, I., 2010. El volcanismo cuaternario en el retroarco de Payenia: una revisión. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67 (2): 278-300.

**Melchor, R.N., 1996.** La Bahía Pampeana de la Cuenca San Rafael. Reunión Anual del Grupo Argentino de Trabajo del Paleozoico Superior, Comunicaciones: 26-27. Buenos Aires.

Melchor, R.N. y Casadío, S. 1999. Descripción de la Hoja Geológica 3766-III, La Reforma, Provincia de la Pampa (1:250.000). Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 295, 56 p.

Melchor, R.N. y Llambías, E.J. 2004. Descripción de la Hoja Geológica 3766-I, Santa Isabel, Provincia de La Pampa (1:250.000). Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 344, 42 p.

Melh, A.E. y Zárate, M.A., 2007. Litología y Génesis de los depósitos del Cenozoico tardío del Bajo del Durazno, provincia de La Pampa, Argentina. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 14(2), 129-142. La Plata.

Miall, A.D. 1978. Fluvial sedimentology. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoirs 5, 859 p.

**Miall, A.D., 2006.** The geology of fluvial deposits. Sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology. *Springer*, 4° edición, 582 pp.

**Montalvo, C.I. y Casadío, S. 1988.** Presencia del género Palaeoctodon (Rodentia, Octodontidae) en el Huayqueriense (Mioceno tardío) de la Provincia de La Pampa. *Ameghiniana* 25: 111-114.

Montenegro, T., Quenardelle, S. y Llambías, E. 2003. Estudios termométricos de granitoides de Algarrobo del Águila, provincia de La Pampa. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58 (4): 643-652.

Narciso, V., Zanettinni, J.C.M., Santamaría, G. y Mallimacci, H., 2007. Hoja Geológica 3769-II, Agua Escondida, Provincias de Mendoza y La Pampa. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 300, 54 p.

**Netterberg, F., 1980.** Geology of Southern African calcretes: Terminology, description, macrofeatures and classification. *Transactions of the Geology Society of South Africa* 83, 255-283.

Núñez, E., 1976. Descripción de la Hoja Geológica 31 e, Chical Có, provincias de Mendoza y La Pampa (1:250.000). Servicio Geológico Minero Nacional, Buenos Aires. Inédito.

**Pfeiffer Jakob, M.M., 2011.** Evolución y génesis de calcretas pedogénicas en la paleobahia de Tongoy. Tesis de magister. Facultad de Ciencias Física y Matemáticas, departamento de Geologia. Universidad de Chile. 172 p.

Ramos, V.A., 1999. Evolución tectónica de la Argentina. En: Caminos, R. (Ed.): Geología Argentina. Servicio Geológico Argentino, Anales 29 (24): 715-759, Buenos Aires.

Ramos, V.A., Litvak, V.D., Folguera, A. y Spagnuolo, M., 2014. An Andean tectonic cycle: From crustal thickening to extension in a thin crust (34°-37°SL). *Geoscience Frontiers* 5: 351-367.

**Reading, H.G. y B.K. Levell, 1996.** Controls on the sedimentary rock record. En: Reading, H.G. (Ed.), *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy.* Blackwell Science, 688 pp.

Santisteban, J., Mediavilla, R., Lopez-Pamo, E., Dabrio, C.J., Ruiz Zapata, M.B., Gil Garcia, M.J., Castaño, S. y Martinez-Alfaro, P.E., 2004. Loss on ignition: a qualitative or quantitative method for organic matter and carbonate mineral content in sediments?. *Journal of Paleolimnology* 32: 287–299, Madrid, Spain.

Sato, A.M., Tickyj, H., Llambias, E.J. y Sato, K., 2000. The Las Matrastonalitic– trondhjemitic pluton, central Argentina: Grenvillian-age constraints, geochemical characteristics, and regional implications. *Journal of South American Earth Sciences* 13: 587–610. **Sato, A.M., Tickyj, H., Llambías, E., Stipp Basei, M.A. y González, P., 2004.** Las Matras Block, Central Argentina (37°S–67°W): the Southernmost Cuyania Terrane and its Relationship with the Famatinian Orogeny. *Gondwana Research*, 7: 1077-1087.

Schumacher, B.A., 2002. Methods for the determination of total organic carbon (toc) in soils and sediments. Ecological Risk Assessment Support Center, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, Wachington, D.C., USA.

Sepúlveda, E.G., Carpio, F.W., Regairaz, M.C., Zárate, M.A. y Zanettini, J.C.M., (2007). Descripción de la Hoja Geológica 3569-II, San Rafael, Provincia de Mendoza (1:250.000). Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 321, 59 pp. Buenos Aires

Tickyj, H., Tomezzoli, R.N., Basei, M.A., Fernández, M.A., Blatter, J.M., Rodriguez, N. y Gallo, L.C., 2015. Geología de la Formación Piedras de Afilar, basamento granítico del Distrito Minero Agua Escondida, Mendoza. 3º Simposio sobre Petrología Ígnea y Metalogénesis Asociada, Actas 1: 158-159, Gral. Roca.

**Tucker, M.E. 2003.** Sedimentary Rocks in the Field. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, West Sussex, England, 3° Edición, 234 p.

**Verzi, D.H., Montalvo, C.I. y Deschamps, C.M., 2008.** Biostratigraphy and biochronology of the Late Miocene of central Argentina: evidence from rodents and taphonomy. *Geobios* 41:145-155.

**Visconti, G., 2007.** Sedimentología de la Formación Cerro Azul (Mioceno superior) en la provincia de La Pampa. Tesis doctoral nº 4084, Universidad de Buenos Aires (inédita), 203 p., Buenos Aires.

Visconti, G., R.N. Melchor, C.I. Montalvo, A.M. Umazano y E.E. De Elorriaga, 2010. Análisis litoestratigráfico de la Formación Cerro Azul (Mioceno superior) en la provincia de La Pampa. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67:257-265.

**Vogt, H., Vogt, T. y Calmels, A. P., 2010.** Influence of the post-Miocene tectonic activity on the geomorphology between Andes and Pampa Deprimida in the area of Provincia de la Pampa, Argentina. *Geomorphology* 121: 152–166.

Zárate, M. y Folguera, A., 2014. Planation Surfaces of Central Western Argentina. En J. Rabassa and C. Ollier (editors) Gondwana Landscapes in southern South America, Dordrecht, *Springer*. 365-392.