UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
Facultad de Ciencias Químicas
Departamento Ciencias de la Tierra

ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS MARINAS DEL CAMPANIANO-MAASTRICHTIANO, PERTENECIENTES A LA CUENCA DE MAGALLANES, EN EL SECTOR ESTE DE SIERRA CONTRERAS, PROVINCIA DE ÚLTIMA ESPERANZA, REGIÓN DE MAGALLANES Y DE LA ANTÁRTICA CHILENA, CHILE

Memoria para optar al Título de Geóloga

Melanie Francisca Masquiarán Díaz

Profesor Patrocinante:	Dra. María Verónica Pineda Mascayano
Profesional Guía:	Dr. Marcelo Adrián Leppe Cartes
Profesores Comisión:	Sr. Ramiro Ulises Bonilla Parra
	Dr. Alfonso Encinas Martín

Concepción, 2019

“A river cuts through rock,
not because of its power,
but because of its persistence”

- Jim Watkins

ÍNDICE

Página

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN 1
   1.1. Objetivos 1
      1.1.1. Objetivo General 1
      1.1.2. Objetivos Específicos 2
   1.2. Ubicación y Accesos 2
   1.3. Metodología de Trabajo 2
      1.3.1. Etapa de Gabinete I 2
      1.3.2. Etapa de Terreno 3
      1.3.3. Etapa de Gabinete II 4
   1.4. Fisiografía 5
      1.4.1. Geomorfología 5
      1.4.2. Clima 6
      1.4.3. Flora y Fauna 7
   1.5. Trabajos Anteriores 11
   1.6. Patrimonio 12
   1.7. Agradecimientos 14
2. MARCO GEOLÓGICO 16
   2.1. Generalidades 16
   2.2. Rocas Estratificadas 16
      2.2.1. Formación Tobífera (Oxfordiano-Kimmeridgiano superior) 16
      2.2.2. Formación Zapata (Titoniano-Albiano) 18
      2.2.3. Formación Punta Barrosa (Albiano superior-Cenomaniano) 19
      2.2.4. Formación Cerro Toro (Cenomaniano-Campaniano) 20
      2.2.5. Formación Tres Pasos (Campaniano-Maastrichtiano inferior) 20
      2.2.6. Formación Dorotea (Maastrichtiano) 21
      2.2.7. Formación Man Aike (Eoceno medio) 22
      2.2.8. Depósitos semiconsolidados y no consolidados (Cuaternario) 23
   2.3. Rocas Intrusivas 24
      2.3.1. Gabros Externos (Oligoceno) 24
      2.3.2. Complejo Intrusivo Torres del Paine (Mioceno) 24
   2.4. Marco Tectónico 25
      2.4.1. Etapa de extensión regional (Jurásico Medio a Superior) 25
      2.4.2. Etapa de subsidencia termal (Cretácico Inferior) 26
      2.4.3. Etapa de inversión tectónica, con desarrollo de una cuenca de antepaís y un cinturón de fajas corridas y plegadas (Cretácico Superior a Reciente) 26
3. ESTRATIGRAFÍA 28
   3.1. Generalidades 28
   3.2. Columnas Estratigráficas 29
      3.2.1. Columna Sierra Contreras 1 (SC1) 29

3.2.2. Columna Sierra Contreras 2 (SC2) 35
3.2.3. Columna Sierra Contreras 3 (SC3) 38
3.2.4. Columna Sierra Contreras 4 (SC4) 41
3.2.5. Columna Sierra Contreras 11 (SC11) 44
3.2.6. Columna Sierra Contreras 12 (SC12) 51
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE FACIES 58
4.1. Descripción de Facies 58
4.1.1. Facies de arenisca (S) 58
4.1.2. Facies de fangolita (M) 62
4.1.3. Facies de alternancia de areniscas y fangolitas, con dominio de areniscas (SM) 64
4.1.4. Facies de alternancia de areniscas y fangolitas, con dominio de fangolitas (MS) 66
4.1.5. Facies de arenisca con grava (PyS) 66
4.1.6. Facies de fangolita arenosa (SyM) 68
4.1.7. Facies de arenisca fangosa (MyS) 68
4.2. Asociación de Facies 71
4.2.1. Asociación 1: Fangolitas arenosas laminadas intercaladas con areniscas fangosas masivas 71
4.2.2. Asociación 2: Areniscas fangosas masivas 73
4.2.3. Asociación 3: Fangolitas laminadas o masivas intercaladas con areniscas fangosas o areniscas masivas 74
4.2.4. Asociación 4: Areniscas con estratificación paralela, laminación paralela o masivas intercaladas con areniscas fangosas con estratificación o laminación paralela, y niveles de conglomerado arenoso 75
4.2.5. Asociación 5: Alternancia de areniscas y fangolitas, dominada por areniscas, con niveles de conglomerado arenoso 77
4.2.6. Asociación 6: Alternancia de areniscas y fangolitas, con dominio de fangolitas 79
4.3. Ambiente de Depositación 80
5. CONTENIDO PALINOLÓGICO 84
5.1. Introducción 84
5.2. Resultado y Análisis 84
5.2.1. Columna Sierra Contreras 1 (SC1) 85
5.2.2. Columna Sierra Contreras 11 (SC11) 90
5.3. Interpretación 92
6. DISCUSIÓN 96
6.1. Correlación Estratigráfica 96
6.2. Facies y Ambiente 98
6.3. Contenido Palinológico y Clima 102
7. CONCLUSIONES 104
8. REFERENCIAS 107
ANEXOS 122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1. 1.	Mapa de localización del área de estudio	3
1. 2.	Ubicación de columnas estratigráficas en el área de estudio	4
1. 3.	Mapa geomorfológico de la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	6
1. 4.	Flora de estepa	9
1. 5.	Fauna de estepa	10
2. 1.	Mapa geológico de la Provincia de Última Esperanza	17
3. 1.	Distribución de columnas estratigráficas elaboradas en el sector Este de sierra Contreras (SC)	29
3. 2.	Columna Sierra Contreras 1	31
3. 3.	Trazas fósiles y afloramientos de columna SC1, tramos SC1-1 y SC1-2	32
3. 4.	Trazas fósiles y niveles carbonosos en arenisca fina de columna SC1, tramo SC1-2	32
3. 5.	Trazas fósiles y afloramientos de columna SC1, tramo SC1-4	34
3. 6.	Columna Sierra Contreras 2	36
3. 7.	Afloramientos de columna SC2	37
3. 8.	Columna Sierra Contreras 3	39
3. 9.	Areniscas y niveles de restos vegetales de columna SC3	40
3.10.	Columna Sierra Contreras 4	42
3.11.	Areniscas de columna SC4, tramos SC4-2 y SC4-3	44
3.12.	Columna Sierra Contreras 11	45
3.13.	Afloramientos y estructuras sedimentarias en columna SC11, tramo SC11-1	46
3.14.	Afloramientos y restos vegetales en arenisca de columna SC11, tramo SC11-2	48
3.15.	Trazas fósiles en arenisca y lente de arenisca en fangolita de columna SC11, tramos SC11-2 y SC11-4	48
3.16.	Basalto y areniscas en columna SC11, tramos SC11-4 y SC11-5	49
3.17.	Columna Sierra Contreras 12	52
3.18.	Afloramientos de columna SC12, tramo SC12-2	53
4. 1.	Facies de arenisca, subfacies de arenisca masiva y arenisca con estratificación paralela	60
4. 2.	Facies de arenisca, subfacies de arenisca con estratificación y laminación paralela	61
4. 3.	Basalto en facies de fangolita, subfacies de fangolita con laminación paralela	63
4. 4.	Trazas fósiles en fangolita	63
4. 5.	Facies de fangolita, subfacies de fangolita masiva, y facies de alternancia de areniscas y fangolitas, con dominio de areniscas	64
4. 6.	Facies de alternancia de areniscas y fangolitas	65
4. 7.	Nivel conglomerádico y lente de arcillolita	67
4. 8.	Facies de arenisca fangosa	69
4. 9.	Afloramientos de las asociaciones 1, 2 y 3, y *rip-up clasts*	72

4.10. Diagrama que muestra el desarrollo de turbiditas intracuencales y extracuencales 82
5. 1. Palinomorfos 1 86
5. 2. Palinomorfos 2 87
5. 3. Gráfico de abundancia relativa, por grupo taxonómico, en la columna SC1 89
5. 4. Gráfico de abundancia relativa de palinomorfos en la columna SC1 89
5. 5. Gráfico de abundancia relativa, por grupo taxonómico, en la columna SC11 91
5. 6. Gráfico de abundancia relativa de palinomorfos en la columna SC11 92
5. 7. Glendonita, con forma de cruz, en fangolita de la columna SC1, muestra SC1P1 95
6. 1. Mapa con la distribución de las 6 columnas estratigráficas 96
6. 2. Desplazamiento de afloramientos entre columnas SC11 y SC12 97
6. 3. Mapa de sierra Contreras y localidades cercanas 99
6. 4. Esquema que muestra las condiciones necesarias para formar corrientes de turbidez eficientes, de gran volumen, en una cuenca de antepaís 102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla **Página**
4. 1. Facies sedimentarias con su respectivo código y características 59
5. 1. Lista de palinomorfos identificados, por cada muestra, con su respectiva afinidad botánica 85
5. 2. Abundancia relativa de palinomorfos en la columna SC1 88
5. 3. Abundancia relativa de palinomorfos en la columna SC11 90
5. 4. Rango climático de las familias predominantes 94

RESUMEN

Se exponen los resultados del estudio de secuencias estratigráficas que permiten interpretar el ambiente de depositación para la Formación Tres Pasos, la cual forma parte del relleno de la cuenca de Magallanes, en el sector oriental de sierra Contreras, Provincia de Última Esperanza, Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, entre los 50º 53’ 23’’ a 50º 53’ 55’’ latitud S y los 72º 33’ 49’’ a 72º 32’ 05’’ longitud W.

El estudio se efectúa a partir del levantamiento en terreno y análisis de columnas estratigráficas, la descripción macroscópica y microscópica detallada de muestras de roca, el reconocimiento y clasificación de fósiles de plantas e invertebrados marinos y, adicionalmente, la identificación del contenido palinológico, tanto en la base como en el techo de la secuencia total.

En sierra Contreras, aflora la base de la Formación Tres Pasos (Campaniano-Maastrichtiano), que se constituye principalmente de areniscas, areniscas con niveles conglomerádicos, fangolitas, fangolitas intercaladas con una capa basáltica, o bien intercalaciones de areniscas y fangolitas.

El análisis litológico, además de las características de los estratos y su arquitectura, permite establecer un conjunto de facies, cuya asociación lleva a concluir que el ambiente de depositación de las sucesiones estratigráficas en la zona, corresponde a un ambiente marino profundo de talud, con aguas anóxicas a subóxicas que permiten la conservación de materia orgánica. En términos generales, los afloramientos consisten en secuencias de turbiditas extracuencales, representadas por facies canalizadas y laminadas, que varían en la vertical de distales a proximales. Se presume que estos depósitos tienen un importante control tectónico y climático.

Complementariamente, como apoyo al estudio geológico y en un análisis preliminar, se deduce que durante el periodo de depositación de los estratos en sierra Contreras, predominaban condiciones húmedas en un clima templado frío a subtropical, con base en el contenido de esporas, polen, dinoflagelados e ikaita.

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca de Magallanes es una cuenca de antepaís de retro-arco cuya secuencia sedimentaria está preservada en el cinturón de fajas corridas y plegadas de Magallanes, que refleja la ocurrencia de una fase extensional y una subsecuente fase contráctil relacionada a la orogénesis andina (Fildani *et al.*, 2008). En el área de estudio afloran estratos pertenecientes a la Formación Tres Pasos, la cual representa la fase final de sedimentación marina profunda en un ambiente de talud submarino dentro de la cuenca (Romans *et al.*, 2011). El presente trabajo se enfoca en un análisis estratigráfico de dicha formación, por medio de la elaboración de columnas e identificación de fósiles, a fin de determinar su ambiente de depositación.

El financiamiento de esta Memoria de Título es a través del proyecto Fondecyt Nº1151389 "*Paleogeographic patterns v/s climate change in South America and the Antarctic Peninsula during the latest Cretaceous: a posible explanation for the origin of the Austral biota?*", a cargo del Dr. Marcelo Leppe Cartes, en colaboración con las siguientes instituciones: Laboratorio de Paleobiología de Antártica y Patagonia del Instituto Antártico Chileno (INACH), Laboratorio de Ontogenia y Filogenia de la Universidad de Chile (Chile), Museo Nacional de Historia Natural (Chile), Museo de Historia Natural de Karlsruhe (Alemania), Instituto de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Heidelberg (Alemania), Instituto de Geociencias Básicas, Ambientales y Aplicadas de la Universidad de Buenos Aires (Argentina), División de Paleontología de Vertebrados de la Universidad Nacional de La Plata (Argentina), Laboratorio de Paleobotánica de la Universidad de Rio do Sinos (Brasil), Facultad de Ciencia e Ingeniería, Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad Chuo (Japón) y Estancia Cerro Guido.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Realizar un estudio estratigráfico de afloramientos de la Formación Tres Pasos con la finalidad de interpretar el ambiente de depositación de las secuencias pertenecientes a la cuenca de Magallanes, en el sector oriental de sierra Contreras.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar las distintas unidades litológicas de la Formación Tres Pasos.
- Reconstruir el ambiente de sedimentación de las secuencias estratigráficas de la Formación Tres Pasos, a partir de la determinación de facies y asociaciones de facies.
- Integrar los resultados obtenidos de esta memoria a la información previamente establecida para las formaciones Tres Pasos y Dorotea.

1.2. Ubicación y Accesos

El área de estudio se ubica en el sector oriental de sierra Contreras, al Este del río Zamora, cercano al Parque Nacional Torres del Paine, Provincia de Última Esperanza, Región de Magallanes y de la Antártica Chilena (Figura 1.1A); entre los 50º 53’ 23’’ a 50º 53’ 55’’ latitud S y los 72º 33’ 49’’ a 72º 32’ 05’’ longitud W, a aproximadamente 287 km al Noroeste de Punta Arenas y 91 km al Norte de Puerto Natales.

El acceso es desde la ciudad de Punta Arenas, capital regional, a través de la Ruta 9, carretera de asfalto en buenas condiciones, con dirección Noroeste a Puerto Natales (Figura 1.1B). Se continúa hacia el Norte por la misma ruta hasta la Estancia Cerro Guido, desde donde se prosigue por un camino de ripio en mal estado, unos 9 km al Oeste, llegando a lo que se conoce como Segunda Barranca, en las faldas de sierra Contreras (Figura 1.1C). Los afloramientos más cercanos quedan a alrededor de 3 km al Norte de este último punto.

1.3. Metodología de Trabajo

1.3.1. Etapa Gabinete I

Con desarrollo entre los meses de diciembre de 2017 y febrero de 2018. Consiste en una exhaustiva recopilación bibliográfica de trabajos previos, sean publicaciones o memorias, referentes a tectónica, estratigrafía y paleontología en el área de estudio y alrededores; además del análisis de mapas e imágenes satelitales obtenidas de *Google Earth Pro* y *SASPlanet*, y

archivos *raster* adquiridos del USGS. A partir de dichas imágenes y mapas se identifican puntos geográficos estratégicos y las rutas a seguir para acceder a ellos, con motivo de construir columnas y completar las secuencias que afloran en la zona.

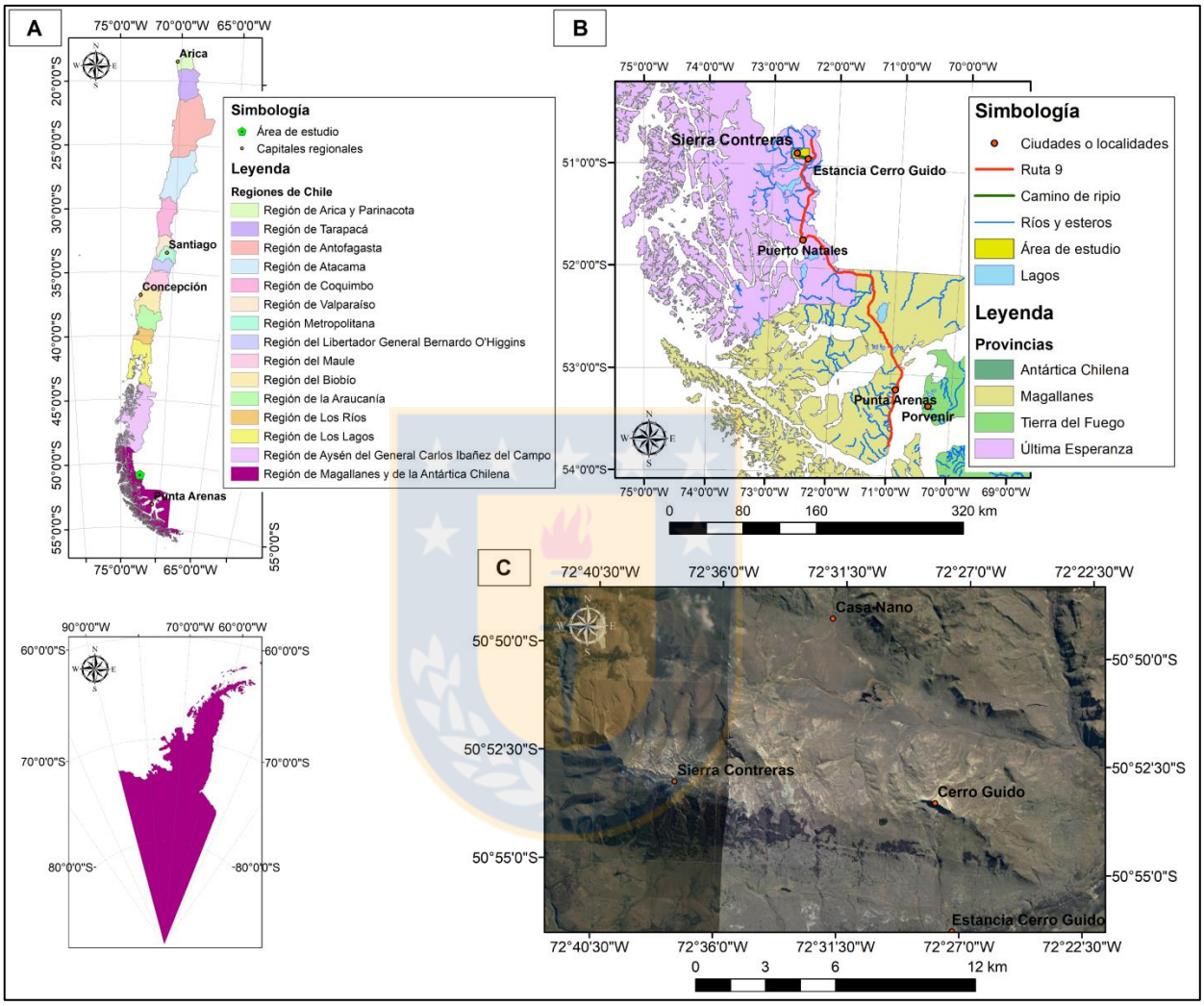


Figura 1.1. **Mapa de localización del área de estudio. A:** Mapa con la división política administrativa de Chile, en verde se señala el área de estudio dentro de la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena. **B:** Acercamiento a la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena con rutas de acceso al área de estudio. **C:** Área de estudio y localidades cercanas.

1.3.2. Etapa Terreno

Desarrollada entre el 15 de febrero y 1 de marzo de 2018. Realización de un levantamiento estratigráfico, que consta de la elaboración de columnas en diferentes puntos que abarquen una porción significativa del área de estudio (Figura 1.2), considerando para su construcción:

estructuras sedimentarias, litologías y fósiles, incluyendo toma de muestras para una descripción más completa.

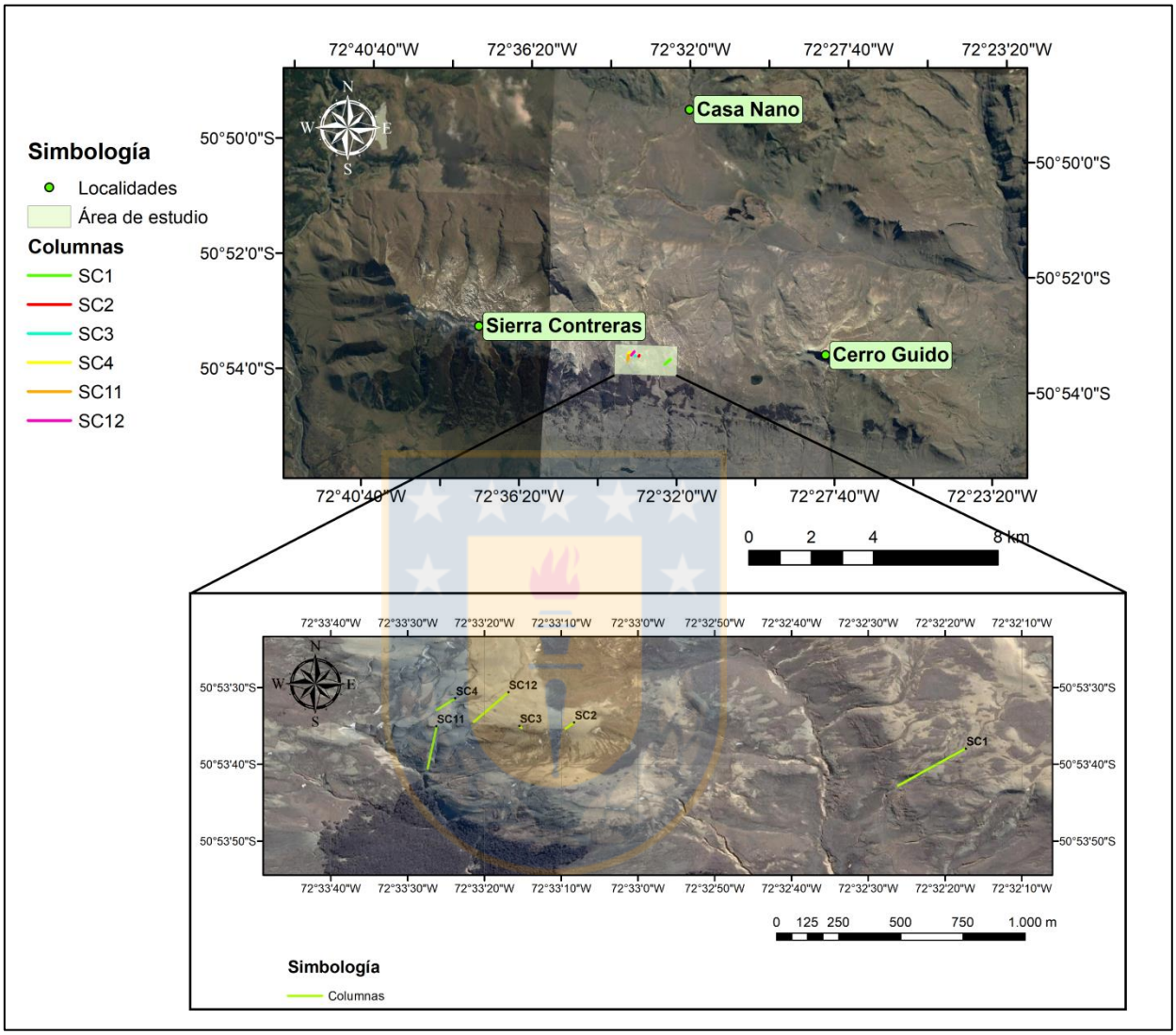


Figura 1.2. Ubicación de columnas estratigráficas en el área de estudio.

1.3.3. Etapa Gabinete II

Análisis detallado de rocas, macroscópica y microscópicamente, esto último tras la selección de muestras y elaboración de secciones transparentes, llegando a su respectiva clasificación. Reconocimiento, descripción y clasificación de contenido paleontológico. Confección de columnas estratigráficas con el *software Adobe Illustrator*. Caracterización de facies, cuya asociación permite la interpretación del ambiente de depositación de secciones de la Formación

Tres Pasos. Observación, comparación e identificación de palinomorfos para la estimación preliminar del paleoclima, como apoyo al estudio geológico.

1.4. Fisiografía

1.4.1. Geomorfología

Börgel (1983), divide Chile de Norte a Sur en cinco grandes regiones geomorfológicas según las características que muestran las formas del relieve, además de los materiales y procesos que intervienen en su formación. Las regiones de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y de Magallanes y de la Antártica Chilena se encuentran dentro de la quinta zona geomorfológica denominada "región patagónica y polar del inlandsis antártico". Los rasgos más característicos de dicha zona son la fragmentación del territorio como consecuencia de la tectónica de hundimiento, que ha creado las grandes formas del paisaje, las intrusiones, plegamientos y otros accidentes geológicos; y las secuencias climáticas de hielo y deshielo.

Las regiones geomorfológicas se subdividen en zonas morfológicas y el área de estudio, siguiendo la clasificación de Börgel (1983), está localizada dentro de las "cordilleras patagónicas orientales con ríos y lagos de control tectónico y hundimiento" (Figura 1.3). Se extienden de Norte a Sur en una franja de 945 km de largo, dividida en dos sectores (2 y 4), siendo el sector 2 específicamente el que comprende a sierra Contreras, el cual alcanza un desarrollo en el ancho E-W estimado en un promedio de 80 km. Como su nombre lo indica, la característica principal de estas cordilleras es el efecto modelador del paisaje impuesto por la tectónica, con un relieve de plegamiento erosionado por glaciares y ríos que aprovechan líneas de fracturamiento tectónico para escurrir, razón por la cual los ríos muestran redes de drenaje paralelas, rectangulares u ortogonales, en bayoneta, entre otras, y los lagos también exhiben formas irregulares con claras tendencias a bordes en ángulos rectos.

Las cordilleras patagónicas alcanzan su mayor cota en sierra Contreras y su punto culminante, cerro Guido, en cordillera de Paine y cerro Paine Medio de 2.360 m s.n.m., en sierra del Toro cuya altura máxima es 1.390 m s.n.m., en sierra Cazador y cerro Cazador de 1.089 m s.n.m., en

sierra Ballena, en sierras Dorotea y Arturo Prat y en la cordillera Manuel Señoret, al Norte del seno Última Esperanza. Todas estas alturas, orientadas en ejes E-W y N-S, constituyen un relieve disminuido transicional respecto de la estepa fría magallánica (Börgel, 1983).

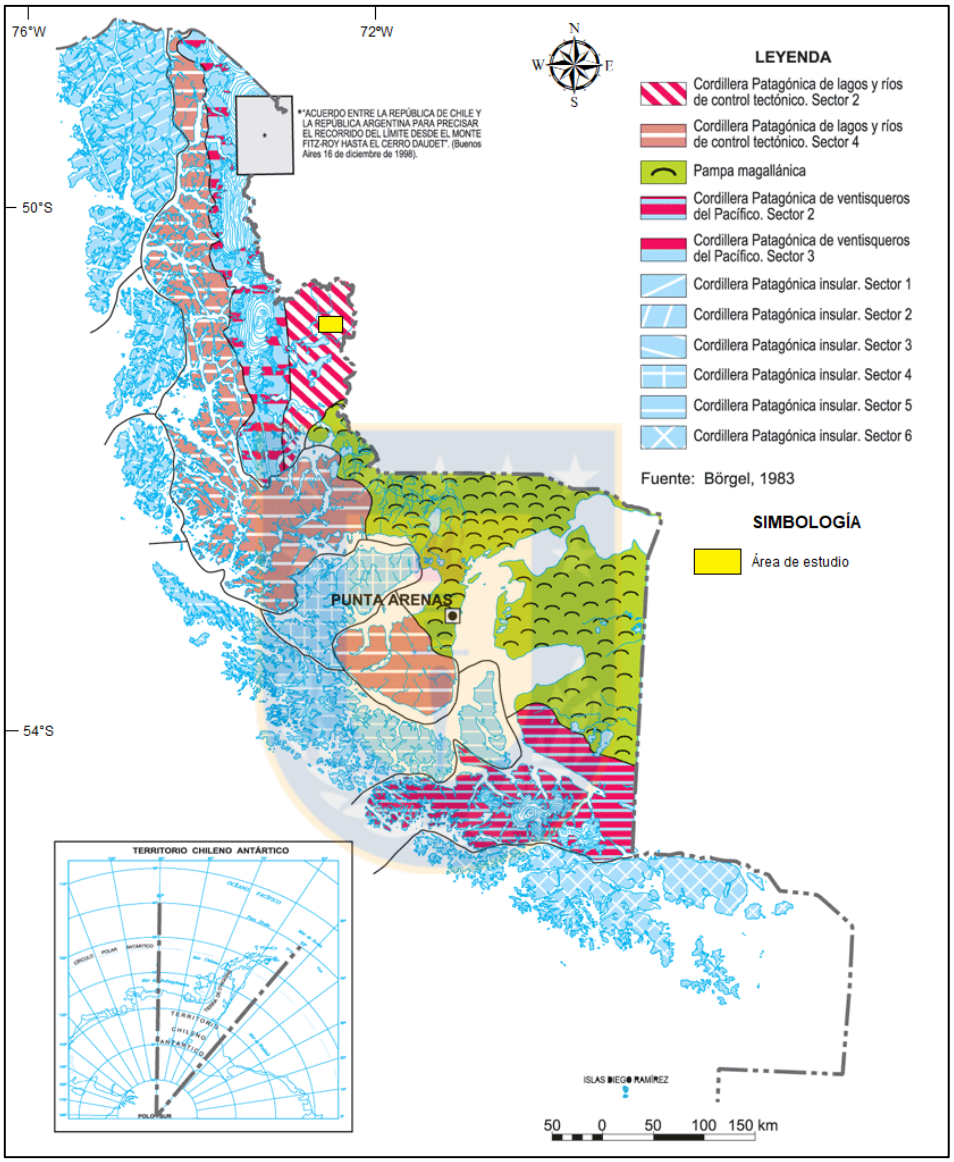


Figura 1.3. **Mapa geomorfológico de la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena**, basado en Börgel (1983).

1.4.2. Clima

En la Región de Magallanes la cordillera andina actúa como una barrera que retiene, en las secciones occidentales y suroccidentales, la carga de humedad traída por los vientos del ámbito

oceánico austral y Antártico, dejando pasar hacia el Este y el Norte a las corrientes eólicas prácticamente desprovistas de humedad. El anticiclón semipermanente del Pacífico provoca que entre diciembre y febrero las temperaturas sean más elevadas y los vientos más intensos, mientras que hacia el invierno y primavera predomina el régimen de masas de aire del océano Antártico que, con condiciones de viento Suroeste, generan los valores de temperaturas más bajos, llegando incluso a los -20ºC (CEC consultores, 2003).

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen, la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena se divide en cinco climas principales: templado frío lluvioso, tundra, trasandino con degeneración esteparia, estepa fría y hielo por efecto de la altura.

El área de estudio está bajo la influencia de un clima de estepa fría, comprendido desde el Norte de cerro Guido hasta la mitad Norte de Tierra del Fuego. Este clima se caracteriza por precipitaciones que disminuyen a medida que la zona se aleja de la cordillera Patagónica y avanza hacia el Atlántico, acentuando las condiciones de aridez, con precipitaciones anuales entre 500 mm y 250 mm, distribuyéndose homogéneamente durante el año con máximos que ocurren en verano y otoño. Lo que llueve en los cuatro meses lluviosos es equivalente al 40% del total anual y las precipitaciones invernales son de carácter nival. La temperatura media anual es de 7ºC, entre diciembre y marzo la media supera los 10ºC y en los meses de invierno es del orden de 2ºC, definiendo una amplitud térmica anual entre 8º a 9ºC (Cruz y Calderón, 2008; Errázuriz *et al.*, 1998). Cabe destacar, que la precipitación se encuentra en equilibrio precario con la evapotranspiración, de modo que cualquier deficiencia de lluvias genera periodos de sequía (CONAMA, 2008).

1.4.3. Flora y Fauna

La vida silvestre se organiza sobre Chile continental en unidades que guardan una clara correlación con el desarrollo de diferentes tipos climáticos a lo largo del territorio. Una sistematización de las biocenosis fundamentales debe recurrir, en consecuencia, a la delimitación de comunidades que representan la etapa final lograda por la evolución bajo condiciones del

clima imperante (Mann, 1960). Es así como, para el caso particular del área de estudio, se habla de comunidades de “estepa” o “estepa patagónica”.

Según CONAMA (2008), la vegetación en la porción continental de la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes, muestra el siguiente patrón: un matorral caducifolio de ñirre (*Nothofagus antarctica*) en las zonas altas que da paso a un bosque caducifolio de lenga (*Nothofagus pumilio*, figura 1.4A) hasta el borde de la estepa, donde en la transición vuelve a aparecer el matorral caducifolio achaparrado. La estepa de la región, dominada por gramíneas como el coirón (*Festuca gracillima*), que suelen encontrarse junto a costras duras o llareta austral (*Bolax gummifera*, figura 1.4B), cubre todo el sector oriental continental y la porción Norte de Tierra del Fuego. Su composición varía según el relieve, que permite la presencia de un mayor o menor número de especies arbustivas.

La cubierta de gramíneas, alta y densamente dispuesta, según Mann (1960), ofrece óptimas condiciones de vida para reptiles como cabezón de Darwin (*Leiosaurus* sp. o *Diplolaemus darwinii*), lagartija de las rocas patagónicas (*Liolaemus kingii)* y lagartija de tres líneas (*Liolaemus lineomaculatus*, figura 1.5A); aves como el ñandú patagónico (*Pterocnemia p. pennata o Rhea pennata pennata*, figura 1.5B) y la perdiz austral (*Tinamotis Ingoufi*); y mamíferos como el tuco tuco de Magallanes (*Ctenomys magellanicus*), ratón chinchilla (*Euneomys chinchilloides*) y rata conejo (*Reithrodon physodes*).

Valles intermontanos y regiones dispuestas a la sombra de los vientos ofrecen posibilidades para el desarrollo de una comunidad integrada por matorrales arbustivos de mediana altura entre los que predominan zarzaparrilla (*Ribes magellanicum*), calafate (*Berberis buxifolia* o *Berberis microphylla*, figura 1.4C), chilco de Magallanes (*Baccharis magellanica*) y mata negra (*Verbena tridens* o *Mulguraea tridens*). En sus espesuras buscan abrigo gran cantidad de aves y mamíferos como armadillos, piche patagónico (*Zaedius pichiy* o *Euphractus pichiy*) y armadillo peludo (*Chaetophractus villosus*), cuyes (*Microcavia australis*), chingue de la Patagonia (*Conepatus humboldtii*) y gato montés (*Oncifelis geoffroyi* o *Leopardus geoffroyi*), acorde a lo especificado por Mann (1960) y CONAMA (2002).

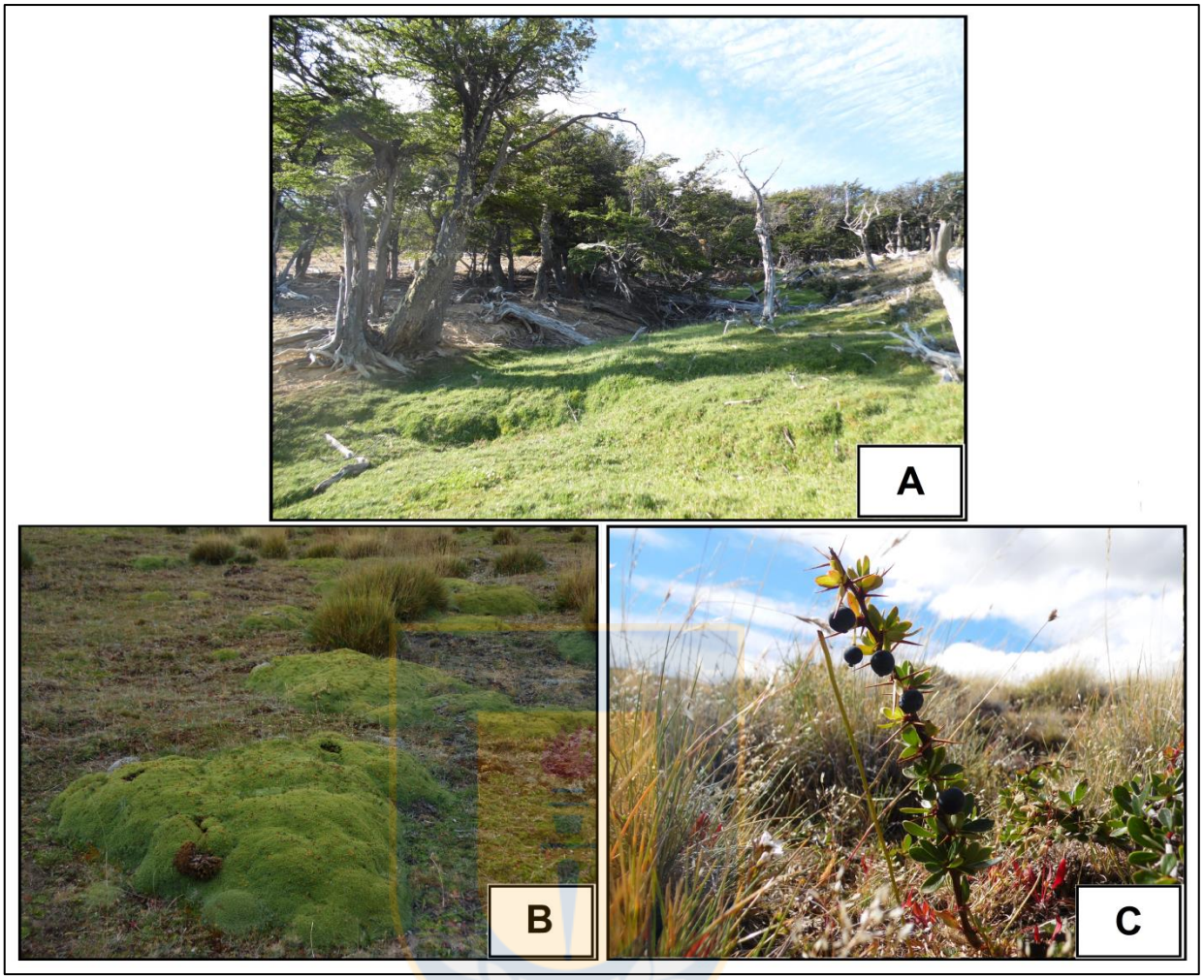


Figura 1.4. **Flora de estepa. A:** Bosque de lengas (*Nothofagus pumilio*). **B:** Coirón (*Festuca gracillima*) y llareta austral (*Bolax gummifera*). **C:** Calafate (*Berberis buxifolia*).

Destacan en la pampa o estepa patagónica y en la estepa-matorral y bosque, conforme a CONAMA (2002), mamíferos como el guanaco (*Lama guanicoe*, figura 1.5C), zorro chilla (*Lycalopex griseus*, figura 1.5D), zorro culpeo (*Lycalopex culpaeus*), puma (*Puma concolor*), quique (*Galictis cuja*), huroncito patagónico (*Lyncodon patagonicus*), gato colocolo (*Leopardus colocolo*) y abundante presencia de liebres europeas (*Lepus capensis*) y conejos europeos (*Oryctolagus cuniculus*). En cuanto a las aves, se reconocen tres especies de gansos silvestres dominados por caiquén (*Chloephaga picta*) y canquén (*Chloephaga poliocephala*) en menor proporción, y canquén colorado (*Chloephaga rubidiceps*), especie propia de la estepa, queltehue (*Vanellus chilensis*), bandurria austral (*Theristicus melanopsis*), trato o carancho (*Caracara plancus*), tiuque común o chimango (*Milvago chimango*), halcón peregrino (*Falco peregrinus*), cernícalo americano (*Falco sparverius*), águila mora (*Geranoaetus melanoleucus*), aguilucho

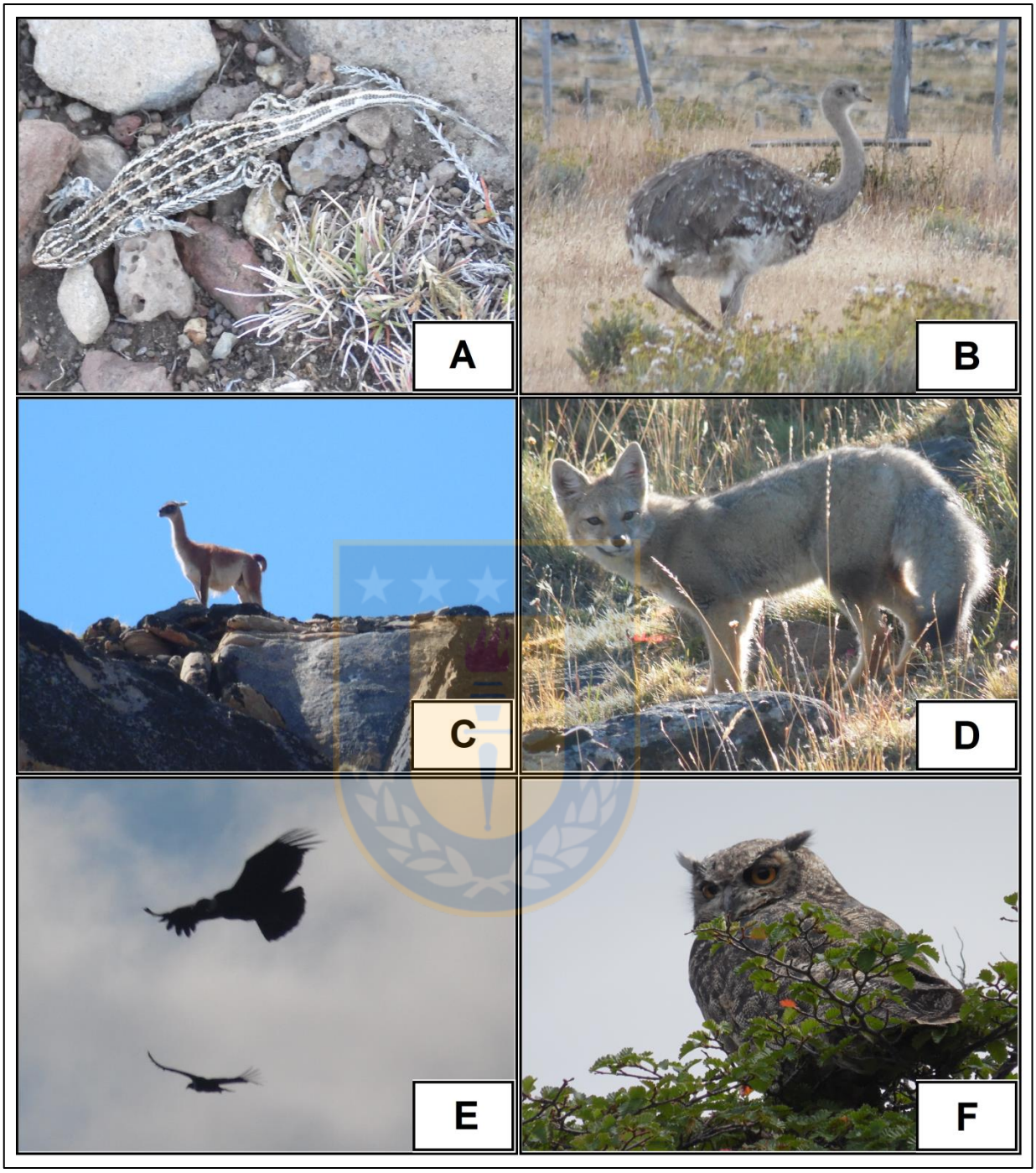


Figura 1.5. **Fauna de estepa. A:** Lagartija de tres líneas (*Liolaemus lineomaculatus*). **B:** Ñandú (*Rhea pennata pennata*). **C:** Guanaco (*Lama guanicoe*). **D:** Zorro chilla (*Lycalopex griseus*). **E:** Cóndor (*Vultur gryphus*). **F:** Búho magallánico (*Bubo virginianus magellanicus*).

(*Geranoaetus polyosoma*), vari (*Circus cinereus*), peuquito (*Accipiter bicolor chilensis*) y cóndor andino (*Vultur gryphus*, figura 1.5E). Además, se han avistado entre las aves al flamenco chileno

(*Phoenicopterus chilensis*), búho magallánico (*Bubo virginianus magellanicus*, figura 1.5F) y carpinteros; como también al insecto chinchemolle (*Agathemera* sp.).

1.5. Trabajos Anteriores

Inicialmente, Hauthal (1907) y Quensel (1911) se refieren parcialmente al conocimiento geológico de la región de Última Esperanza, pero el primer trabajo geológico organizado en el área corresponde a los perfiles levantados por Díaz (1948 en Cortés, 1964). Más tarde, Cecioni y Gallo (1955) extienden los trabajos hasta el cerro Mirador y las cercanías de Estancia Las Chinas. Cecioni (1957a), por su parte, estudia la estratigrafía y flora de cerro Guido, comparándola con la estratigrafía general de la Provincia de Última Esperanza, además establece la edad de zonas faunísticas de la Formación Dorotea como Cretácico Superior (Cenomaniano superior-Maastrichtiano inferior) a partir del contenido de ammonites y define dos nuevas formaciones del Terciario: Formación Río Baguales y Formación Las Flores.

Katz (1963) hace una revisión de la estratigrafía del Cretácico en la cordillera Patagónica con base en un nuevo mapeo de campo y perforaciones, realizando importantes modificaciones y reconociendo sólo cinco formaciones en lugar de las trece definidas hasta el momento: Formación Zapata, Formación Punta Barrosa, Formación Cerro Toro, Formación Tres Pasos y Formación Dorotea. Posteriormente, Cortés (1964) realiza un reconocimiento geológico del área entre los ríos Las Chinas y Bandurrias, que incluye el estudio de las formaciones Tres Pasos y Dorotea, del Cretácico Superior, y la Formación Río Bandurrias, del Terciario; sus contactos y principales ejes de plegamiento que darían lugar a estructuras cerradas, completando los levantamientos efectuados por Cecioni y Gallo (1955).

Macellari (1988) describe los ammonites típicos del Cretácico tardío recolectados por geólogos de ENAP en trabajos de campo en la cuenca de Magallanes; un año después, Macellari *et al.* (1989) estudian las secuencias depositacionales del Cretácico Superior-Paleoceno expuestas a lo largo del margen andino en Patagonia, las cuales registran la transición de facies continentales a marinas en una cuenca de antepaís.

Cañon (2000), dado los numerosos y variados estudios, recopila antecedentes geológicos de la cuenca de Magallanes y propone un nuevo cuadro de correlación estratigráfica para el Cretácico-Jurásico Superior.

Shultz *et al.* (2005) estudian la arquitectura estratigráfica de afloramientos de la Formación Tres Pasos en cinco localidades clave: cerro Solitario-laguna Figueroa, cerro Cazador-El Chingue Bluff, sierra Contreras, cerro Mirador y la frontera con Argentina, llegando a la conclusión de que esta unidad representa un sistema depositacional de talud submarino. Posteriormente, Fildani *et al.* (2007) describen la evolución estratigráfica durante el Mesozoico-Terciario temprano en la cuenca de Magallanes.

Armitage *et al.* (2009), Romans *et al.* (2009) y Armitage y Stright (2010) estudian la Formación Tres Pasos, expuesta en sierra Contreras y cerro Divisadero, para establecer la geometría y evolución estratigráfica de un sistema de talud continental, ya que representa un área de interés para la exploración de recursos naturales.

Estudios más recientes realizados por Romans *et al.* (2011) detallan la evolución de las secuencias de aguas profundas depositadas en tres fases principales en la cuenca de Magallanes, cada una con arquitectura estratigráfica contrastante: Formación Punta Barrosa, Formación Cerro Toro y Formación Tres Pasos.

Daniels *et al.* (2018) realizan dataciones de circones detríticos de unidades de arenisca pertenecientes a las formaciones Tres Pasos y Dorotea, y de ceniza volcánica intercalada con unidades turbidíticas de la Formación Tres Pasos, dando una nueva percepción de la evolución temporal, durante el Campaniano-Maastrichtiano, de un sistema plataforma-talud en la cuenca de Magallanes.

1.6. Patrimonio

El área de estudio se enmarca dentro de la categoría de territorio cuya preservación es de sumo interés para la investigación científica, debido a su contenido fosilífero, otorgándosele así

protección a través de la *Ley de Monumentos Nacionales y Normas Relacionadas* (Ley N°17.288, 1970), del Ministerio de Educación, que compromete la conservación del patrimonio nacional, en este caso paleontológico, según lo expresado en los siguientes artículos:

Título I. De los Monumentos Nacionales

Artículo 1° - "*Son monumentos nacionales y quedan bajo la tuición y protección del Estado, los lugares, ruinas, construcciones u objetos de carácter histórico o artístico; los enterratorios o cementerios u otros restos de los aborígenes, las piezas u objetos antropo-arqueológicos, paleontológicos o de formación natural, que existan bajo o sobre la superficie del territorio nacional o en la plataforma submarina de sus aguas jurisdiccionales y cuya conservación interesa a la historia, al arte o a la ciencia; los santuarios de la naturaleza; los monumentos, estatuas, columnas, pirámides, fuentes, placas, coronas, inscripciones y, en general, los objetos que estén destinados a permanecer en un sitio público, con carácter conmemorativo. Su tuición y protección se ejercerá por medio del Consejo de Monumentos Nacionales, en la forma que determina la presente ley*".

Título V. De los Monumentos Arqueológicos, de las Excavaciones e Investigaciones Científicas correspondientes

Artículo 21° - "*Por el solo ministerio de la ley, son Monumentos Arqueológicos de propiedad del Estado los lugares, ruinas, yacimientos y piezas antropo-arqueológicas que existan sobre o bajo la superficie del territorio nacional [...] Para los efectos de la presente ley quedan comprendidas también las piezas paleontológicas y los lugares donde se hallaren*".

Artículo 22° - "*Ninguna persona natural o jurídica chilena podrá hacer en el territorio nacional excavaciones de carácter arqueológico, antropológico o paleontológico, sin haber obtenido previamente autorización del Consejo de Monumentos Nacionales, en la forma establecida por el reglamento [...] La infracción a lo dispuesto en este artículo será sancionada con una multa diez a quinientas unidades tributarias mensuales, sin perjuicio del decomiso de los objetos que se hubieren obtenido de dichas excavaciones*".

Artículo 26° - "*Toda persona natural o jurídica que al hacer excavaciones en cualquier punto del territorio nacional y con cualquier finalidad, encontrare ruinas, yacimientos, piezas u objetos de carácter histórico, antropológico, arqueológico o paleontológico, está obligada a denunciar inmediatamente el descubrimiento al Gobernador Provincial, quien ordenará a Carabineros que se haga responsable de su vigilancia hasta que el Consejo se haga cargo de él [...] La infracción a lo dispuesto en este artículo será sancionada con una multa cinco a doscientas unidades tributarias mensuales, sin perjuicio de la responsabilidad civilsolidaria de los empresarios o contratistas a cargo de las obras, por los daños derivados del incumplimiento de la obligación de denunciar el hallazgo*".

1.7. Agradecimientos

Quiero agradecer a la Dra. María Verónica Pineda Mascayano, profesora patrocinante de esta memoria de título, por su apoyo, asesoramiento, paciencia y buena disposición cada vez que tocaba a su puerta. Al Dr. Marcelo Leppe Cartes, profesional guía y director del Instituto Antártico Chileno, por permitirme ser parte del equipo de trabajo en su proyecto. Al Sr. Ramiro Bonilla Parra y el Dr. Alfonso Encinas Martín, profesores de comisión, por sus correcciones y sugerencias.

A Katherine Cisterna Concha, curadora en el Museo de Historia Natural de Concepción, por los consejos, ayuda en el área paleontológica, preocupación y disposición de colaborar en lo que fuera posible. A MSc. Alicia Marticorena Garri, quien tuvo la amabilidad, entusiasmo y paciencia de facilitar material para el análisis de palinomorfos, así como el Dr. Roberto Rodríguez Ríos, ambos académicos de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas. A Leslie Manríquez Márquez, por sus enseñanzas, asesoramiento y apoyo ofrecido. A Jorge Villegas, por su ayuda en la determinación de trazas fósiles y a Héctor Mansilla, curador de la colección paleontológica de INACH, por su asistencia y recomendaciones en el área de palinología.

A los profesores Dr. Luis Arturo Quinzio Sinn, por responder mis numerosas dudas, y Ms. Sylvia Palma-Heldt, profesora que me alentó e impulsó en el mundo de la paleontología apenas supo de mi interés en él.

A Felipe Henríquez Morales, por su apoyo en el trabajo en terreno, así como a Catalina Ferrada Villanueva, que también fue parte del equipo Sierra Contreras, además de mis otros compañeros de terreno, con los que en mayor o menor medida he compartido durante las campañas, haciéndolas más amenas. A Don Fabio, puestero en Segunda Barranca, por esperarnos amablemente con ricas comidas y un calor hogareño cada vez que volvíamos de un día agotador de trabajo, aunque no fuera parte de sus obligaciones. A Juanita Levihuan, por su simpatía y ayuda en momentos de necesidad.

Para concluir, agradezco a mi familia: Mirza, Francisco, Melissa, Nicolás, Pablo, Camila, Irina, Válerik, Adriana, Pedro, Haroldo y María, que en su particular forma de ser se han convertido en una base en la que me puedo sostener en mis momentos de debilidad, que, incluso de las formas más inesperadas o curiosas, me han apoyado y animado a seguir adelante y no rendirme jamás. A Damián Ibarra Zamorano, mi esposo, que desde la infancia y más que nunca durante la universidad ha estado a mi lado, me ha comprendido y alentado hasta en mis más locas ideas; y a su familia, por mostrarme su apoyo y animarme. A Enzo Farías Espinoza, compañero de carrera, por su preocupación, ánimos e infinitas historias que suelen terminar en risas.

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1. Generalidades

Las unidades que afloran en la Provincia de Última Esperanza comprenden edades desde el Jurásico Superior hasta el Cuaternario y son el reflejo de las variaciones tectónicas que traen como consecuencia la modificación de las condiciones de sedimentación y de la actividad volcánica que configuran los depósitos de la cuenca de Magallanes o Austral.

Predominan en el área las secuencias sedimentarias y volcanosedimentarias pertenecientes a las formaciones Tobífera, Zapata, Punta Barrosa, Cerro Toro, Tres Pasos, Dorotea, Man Aike (Figura 2.1) y los depósitos semiconsolidados y no consolidados del Cuaternario. En menor medida, afloran rocas intrusivas pertenecientes a los Gabros Externos y el Complejo Intrusivo Torres del Paine.

2.2. Rocas Estratificadas

2.2.1. Formación Tobífera (Oxfordiano-Kimmeridgiano superior)

La Formación Tobífera es definida por Thomas (1949). Corresponde a una secuencia volcánica sedimentaria que, según Prieto (1992), expone un espesor variable entre los 400 y 1.200 m, y está compuesta por una alternancia irregular de facies volcánicas ácidas, pelíticas y rocas ígneas básicas, estas últimas intruyendo a las otras facies. Las rocas ácidas están constituidas por brechas, tobas de lapilli y ceniza, riolitas e ignimbritas; las secuencias pelíticas incluyen lutitas negras, capas calcáreas, limolitas con ocasionales intercalaciones de areniscas finas y laminaciones volcanoclásticas ácidas; las rocas ígneas básicas están dispuestas en filones manto, diques de diabasa de clinopiroxeno y, en menor medida, aparecen como basaltos almohadilla (Wilson, 1991; Prieto, 1992; Fildani y Hessler, 2005; Fildani *et al.*, 2008). Esta formación sobreyace en inconformidad a complejos metamórficos del basamento cristalino Paleozoico e infrayace concordante y transicionalmente a la Formación Zapata (Prieto, 1992; Fildani *et al.*, 2008).

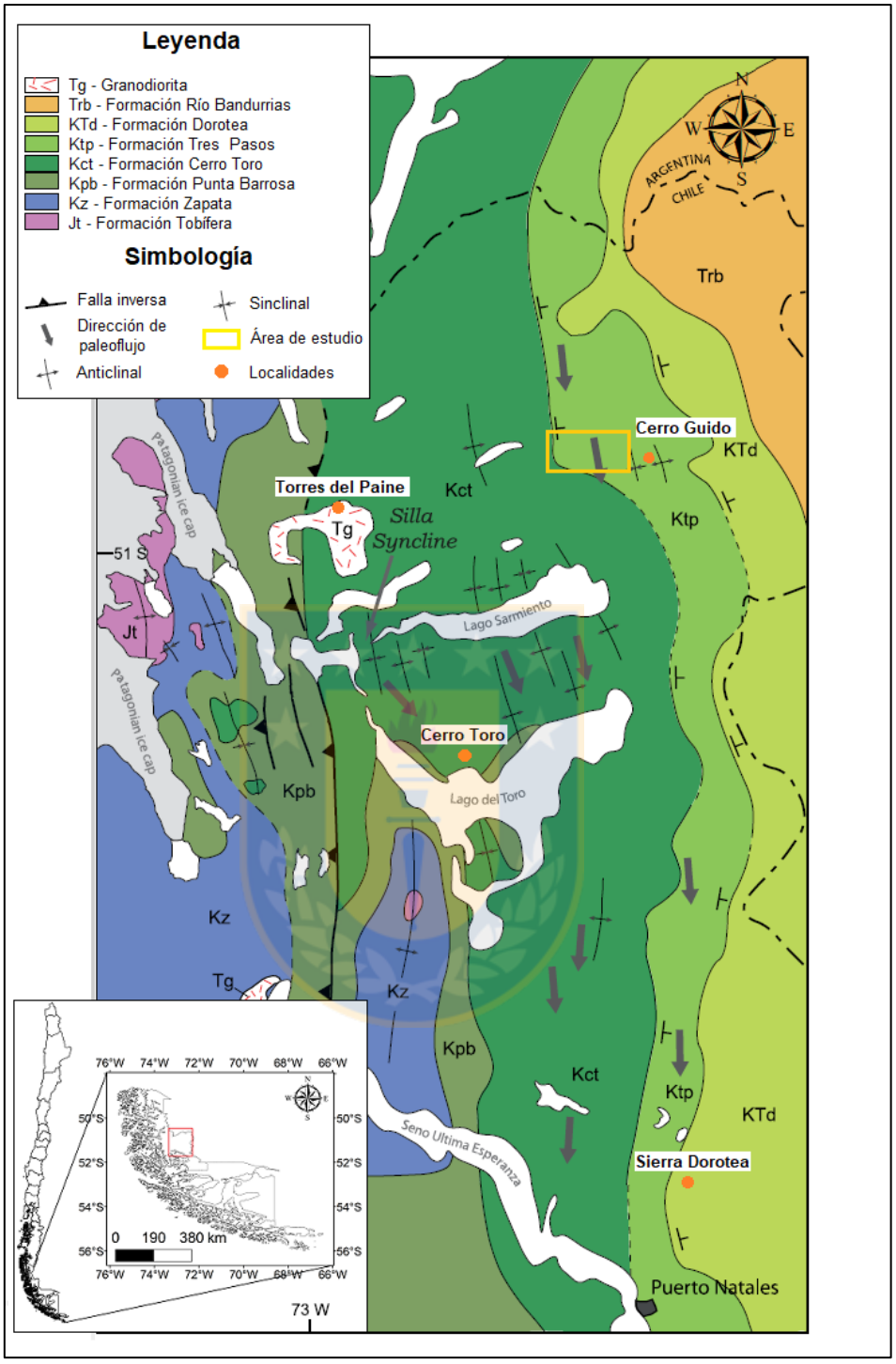


Figura 2.1. **Mapa geológico de la Provincia de Última Esperanza.** Modificado de Fildani *et al.* (2008).

Las lutitas carbonáticas finamente laminadas, ricas en pirita y con fósiles marinos, se depositaron en períodos prolongados de sedimentación hemipelágica en un ambiente marino anaeróbico a disaeróbico interrumpido con esporádicos flujos riolíticos. La preservación de estructuras en

rocas de grano fino y la falta de estructuras a causa del oleaje indican un ambiente de aguas moderadamente profundas, bajo el nivel de tormenta (Wilson, 1991).

La fauna fósil recolectada, que incluye ammonites, belemnites y bivalvos inocerámidos en lutitas de la parte superior de la formación y radiolarios cerca de la Ofiolita Sarmiento (Allen, 1982; Fuenzalida y Covacevich, 1988 en Wilson, 1991), sumado a correlaciones con otras unidades en localidades argentinas, sugieren una edad en el rango Oxfordiano-Kimmeridgiano superior (Prieto, 1992; Cañon, 2000).

2.2.2. Formación Zapata (Titoniano-Albiano)

Definida originalmente como Formación Erezcano por Cecioni (1951 en Katz, 1963), con localidad tipo en seno Erezcano, y renombrada por Katz (1963) como Formación Zapata, basándose en los afloramientos expuestos en el cerro homónimo. Está compuesta principalmente por lutitas y se divide en dos miembros: el miembro inferior consta de 600 a 700 m de lutitas oscuras, areniscas, laminaciones volcánicas y capas calcáreas, mientras que el miembro superior consiste en 200 a 300 m de limolitas bioturbadas y lutitas o limolitas alternadas con areniscas (Prieto, 1992; Cañon, 2000). Tiene una potencia de 625 m en su localidad tipo, pero alcanza entre 1.000 a 1.200 m en su totalidad (Katz, 1963). Esta formación sobreyace en contacto concordante y transicional a los sedimentos tobáceos, brechas piroclásticas y otras rocas volcánicas de la Formación Tobífera e infrayace concordante a areniscas de la Formación Punta Barrosa (Katz, 1963; Prieto, 1992).

La Formación Zapata representa una secuencia de sedimentos marinos, predominantemente de grano fino, que se depositan después del cese del volcanismo de la Formación Tobífera. Las estructuras sedimentarias en toda la formación indican sedimentación bajo el nivel del oleaje de tormenta. La abundancia de materia orgánica, la intensa bioturbación (caracterizada principalmente por *Zoophycos* isp.) en depósitos hemipelágicos, las intercalaciones rítmicas y lateralmente continuas de turbiditas y la ocurrencia de deslizamientos traslacionales, señalan un ambiente de talud submarino de profundidad moderada (Wilson, 1991). Las lutitas negras con

pirita diseminada sugieren un ambiente depositacional parcialmente anóxico (Boesen y Postma, 1988 en Fildani y Hessler, 2005).

De acuerdo a antecedentes paleontológicos, que incluyen comúnmente cefalópodos como *Belemnopsis patagoniensis*, *Favrella* sp., *Berriasella* sp., *Aulacosphinctes* sp. y *Aplychus* sp., y bivalvos como *Inoceramus* sp.; se le asigna una edad Titoniano-Berriasiano a Barremiano al miembro inferior y Aptiano-Albiano al miembro superior (Katz, 1963; Prieto, 1992; Cañon, 2000).

2.2.3. Formación Punta Barrosa (Albiano superior-Cenomaniano)

Definida por Cecioni (1957b) con localidad tipo en Punta Barrosa, una península rocosa en seno Última Esperanza. Tiene una potencia estimada en 600 m (Katz, 1963) y está conformada de una sección inferior donde predominan las lutitas, formando secuencias turbidíticas con areniscas de grano medio a grueso, y una sección superior rica en areniscas gruesas intercaladas con lutitas y areniscas finas de poco espesor, además de contener conglomerados, lo que refleja un incremento del tamaño de grano hacia techo (Wilson, 1991). Sobreyace en concordancia a la Formación Zapata y se infiere que infrayace transicionalmente a la Formación Cerro Toro (Prieto, 1992; Cañon, 2000).

La abrupta aparición de grauvacas define el límite inferior de esta formación, indicando nuevas condiciones de sedimentación que prevalecen, asimismo, durante la depositación de la Formación Cerro Toro (Katz, 1963). Se concluye que el transporte de sedimentos ocurre mediante flujos de turbidez hasta depositarse en una cuenca marina. Los detritos provienen de la erosión de un arco volcánico juvenil calcoalcalino, con rocas de composición intermedia, y complejos metamórficos del basamento expuestos durante el temprano alzamiento del cinturón andino (Wilson, 1991; Fildani y Hessler, 2005).

Debido a relaciones estratigráficas es determinada inicialmente una edad Albiano para esta formación (Prieto, 1992). Cefalópodos amonnoideos como *Turrilites gresslyi* y otros fragmentos de *Puzosia* sp. sugieren una edad Cenomaniano (Katz, 1963). Posteriormente, en base a

macrofósiles se le asigna un rango Albiano superior-Cenomaniano (Cortés, 1964 en Wilson, 1991). Además, la Formación Punta Barrosa estaría relacionada con el desarrollo de la faja corrida y plegada de Magallanes en el Turoniano (Fildani *et al.*, 2003; Fildani y Hessler, 2005).

2.2.4. Formación Cerro Toro (Cenomaniano-Campaniano)

Definida por Cecioni (1957b) con localidad tipo en cerro Toro, entre los lagos Toro y Sarmiento. La secuencia presenta hasta 2.000 m de potencia, consiste principalmente en lutitas gris oscuro que con frecuencia se encuentran en alternancia rítmica con capas delgadas de areniscas, generalmente de grano fino, y unidades conglomerádicas lenticulares, llamadas Miembro Lago Sofía, de hasta 400 m de espesor (Katz, 1963; Bernhardt *et al.*, 2012). El carbonato de calcio es raro, pero intercalaciones con niveles de concreciones calcáreas o delgados lentes de limolitas son frecuentes en ciertos horizontes, además de las icnoespecies *Chondrites* y *Helminthoidea*. La formación es considerada un ejemplo propio de un depósito tipo "*flysch*", en donde la estratificación convoluta, marcas de flautas y marcas de base son muy comunes (Katz, 1963). Sobreyace concordante a la Formación Punta Barrosa en un contacto gradacional, caracterizado por la transición de turbiditas ricas en areniscas a turbiditas ricas en lutitas, e infrayace concordante a la Formación Tres Pasos, gradando a areniscas y depósitos de transporte en masa (Shultz y Hubbard, 2005; Crane y Lowe, 2008; Bernhardt *et al.*, 2011).

La Formación Cerro Toro representa el clímax de la sedimentación en aguas profundas en la cuenca de Magallanes (Fildani *et al.*, 2008). Los conglomerados corresponden al relleno de complejos de canales marinos profundos, dentro de un sistema depositacional dominado por fangos (Crane y Lowe, 2008; Hubbard *et al.*, 2008).

A esta formación se le asigna una edad en el rango Cenomaniano-Campaniano (Wilson, 1991).

2.2.5. Formación Tres Pasos (Campaniano-Maastrichtiano inferior)

Definida por Katz (1963), con localidad tipo en sierra Tres Pasos, cercana al río del mismo nombre, 40 km al Norte de Puerto Natales. Aparece excelentemente representada en

afloramientos que se extienden entre el río Zamora y la cima del cerro Mirador (Cortés, 1964). Corresponde a potentes secuencias de areniscas arcillosas color gris amarillento a pardo, bien estratificadas, generalmente arcósicas y glauconíticas, con abundantes concreciones calcáreas. Contiene, además, niveles conglomerádicos y son frecuentes los miembros intercalados de limolitas y lutitas gris verdosas claras (Katz, 1963; Cortés, 1964). Una variedad de depósitos caóticos está presente en Formación Tres Pasos, interpretados como *slump*, deslizamientos o flujos de detritos, dependiendo de sus características internas (Shultz *et al.*, 2005). El espesor total de esta formación es entre los 2.000 y 2.500 m. Sobreyace a las lutitas de la Formación Cerro Toro en un contacto gradual e infrayace concordante a la Formación Dorotea, aunque su límite superior es algo arbitrario, ya que las secciones de detalle respectivas son discontinuas y no pueden correlacionarse, existiendo dudas sobre dónde establecer dicho límite (Katz, 1963).

La Formación Tres Pasos representa la última fase de relleno de la cuenca de Magallanes y consiste en depósitos de un talud submarino que prograda hacia el Sur (Macellari *et al.*, 1989; Shultz *et al.*, 2005; Romans *et al.*, 2009), con facies que reflejan la transición de un ambiente marino profundo a somero (Macellari *et al.*, 1988).

Esta formación presenta una rica fauna, particularmente de cefalópodos, como *Hoplitoplacenticeras* sp., *Baculites* cf. *inornatus*, *Pseudokossmaticeras paulckei*, entre otros, y bivalvos como *Trigonia* cf. *pseudocundata*, *Inoceramus* sp., *Ostrea* sp., *Panopaea* cf. *hauthali*, entre otros. Al Norte de Última Esperanza, donde las secuencias son más continentales, se encuentran improntas de hojas y huesos de dinosaurios. El ammonite *Hoplitoplacenticeras* sp. es singularmente característico, siendo indicativo de una edad Campaniano-Maastrichtiano inferior (Katz, 1963).

2.2.6. Formación Dorotea (Maastrichtiano)

Definida por Cecioni (1957b), con localidad tipo en sierra Dorotea, al Noreste de Puerto Natales. Junto con la Formación Tres Pasos, forman un pliegue monoclinal con manteo hacia el Este. Compuesta de manera característica por areniscas gris verdoso, amarillentas, pardas y rojizas, con frecuentes lentes conglomerádicos e intercalaciones con arcillolitas, además de capas calcáreas

altamente fosilíferas (Katz, 1963). En sierra Dorotea, se reconocen miembros continentales con restos de plantas y lentes de carbón que se alternan con sedimentos marinos (Hünicken, 1955). Esta formación presenta un espesor de 900 m en su localidad tipo, pero puede alcanzar los 1.256 m hacia la frontera con Argentina (Katz, 1963; Cortés, 1964). Sobreyace en un contacto transicional no claramente definido a los estratos de grano fino de la Formación Tres Pasos e infrayace en discordancia erosiva a la Formación Man Aike (Macellari *et al.*, 1989; Marenssi *et al.*, 2002).

La Formación Dorotea se deposita en un ambiente deltaico somero con dominio fluvial e influenciado por mareas, al borde de una plataforma. Prograda de Norte a Sur a lo largo del eje de la cuenca de Magallanes y, junto a la Formación Tres Pasos, representan un sistema vinculado de plataforma-talud (Covault *et al.*, 2009; Hubbard *et al.*, 2010; Schwartz y Graham, 2015).

La parte inferior de la Formación Dorotea está caracterizada por la presencia del bivalvo *Lahilia luisa* y los cefalópodos ammonoideos *Hoplitoplacenticeras plasticum*, *Holcodiscus* (*Pseudo-kossmaticeras*) *hauthali*, *Maorites seymourianus* y *Maorites densicostatus*, mientras que la parte superior carece de ammonites y se distinguen principalmente los bivalvos *Ostrea rionengrensis* y *Lahillia gigantea* (Katz, 1963). Han sido recolectados en sierra Dorotea fragmentos de plesiosaurios, asociados al ammonite *Gunnarites* sp. y al bivalvo *Pterotrigonia cazadoriana*, y monocotiledóneas, estas últimas como material transportado (Otero *et al.*, 2009). Basándose en la presencia del ammonite *Pachydiscus* aff. *gollevilensis*, se le asigna una edad Maastrichtiano (Lahsen y Charrier, 1972). En adición, dataciones U-Pb de circones detríticos en areniscas de cordillera Chica y sierra Dorotea restringen la edad máxima de depositación a Maastrichtiano para esta formación (Fosdick *et al.*, 2015; Schwartz *et al.*, 2017).

2.2.7. Formación Man Aike (Eoceno medio)

Definida por Furque (1973), con localidad tipo en cerro Fortaleza, ubicado en el margen occidental del río La Leona en Argentina (Marenssi *et al.*, 2003). Se compone de conglomerados y areniscas de color verde, que hacia techo intercalan con delgados niveles carbonáticos blanquecinos a rosados, fuertemente bioturbados (Marenssi *et al.*, 2002), mientras que, hacia la

base son frecuentes las intercalaciones arcillosas y los niveles glauconíticos (Camacho *et al.*, 2000). Los conglomerados portan fragmentos de invertebrados marinos y ocasionalmente fragmentos de troncos. Las areniscas, desde gruesas a finas, son masivas y contienen abundantes restos de invertebrados y vertebrados, además de mostrar fuerte bioturbación o bien estratificación cruzada en pequeña escala y ondulitas (Marenssi *et al.*, 2002). En sierra Baguales su potencia alcanza los 300 m (Gutiérrez *et al.*, 2017). Sobreyace en discordancia erosiva a las formaciones Dorotea y Calafate e infrayace en contacto también discordante erosivo a la Formación Río Leona (Marenssi *et al.*, 2002). Esta formación es también llamada Río Baguales o Loreto (Bostelmann *et al.*, 2012), o Río Bandurrias (Fildani *et al.*, 2008).

La Formación Man Aike muestra una asociación de facies típica de un ambiente estuariano dominado por las mareas (Le Roux *et al.*, 2010; Gutiérrez *et al.*, 2017). Al Sur de El Calafate, en Argentina, se interpreta que la formación tiene su origen en la sedimentación dentro de un valle inciso, en ambientes de canales y barras arenosas submareales (Marenssi *et al.*, 2002). La discordancia en la base de esta formación corresponde a la fase eocena media del levantamiento de la cordillera Patagónica (Ramos, 2002), mientras que la sedimentación en ambientes submareales ocurre durante un período transgresivo (Malumián, 2002) en el Eoceno medio alto (Marenssi *et al.*, 2002).

Entre los fósiles de invertebrados se reconocen bivalvos ostreidos, *Lopha herminii* y *Ostrea groeberi*, *Venericardia* sp., *Atrina* sp. y el braquiópodo *Bouchardia conspicua*, los fósiles de vertebrados quedan representados por dientes de tiburón (Marenssi *et al.*, 2002). A partir del contenido de foraminíferos y nanofósiles, se estima una edad Eoceno medio-superior, específicamente Luteciano (Malumián, 1990; Concheyro, 1991). Sobre la base del contenido macro y microfosilífero, Camacho *et al.* (2000) establecen una edad de Eoceno medio y la correlacionan con parte de la Formación Río Turbio.

2.2.8. Depósitos semiconsolidados y no consolidados (Cuaternario)

Incluye a los depósitos cuaternarios de origen glacial y fluvial dispuestos horizontalmente sobre las unidades más antiguas.

Los depósitos glaciales corresponden a acumulaciones de gravas, arenas y arcillas, con captación y transporte de sedimentos por parte de glaciares en la alta cordillera, producto de la erosión del sustrato por abrasión del hielo. Se caracterizan por tener una composición heterogénea, muy mala selección y clastos en general angulosos. Los depósitos fluviales, por su parte, están conformados por gravas, arenas y limos transportados y depositados por cursos de agua actuales, asociados a terrazas, canales abandonados, llanuras de inundación, entre otros. Se caracterizan por contener clastos redondeados, esféricos, en ocasiones imbricados, de selección moderada a pobre y composición heterogénea, propiedades condicionadas por las rocas erodadas y el grado de transporte.

2.3. Rocas Intrusivas

2.3.1. Gabros Externos (Oligoceno)

Corresponden a gabros y dioritas previos al emplazamiento del lacolito de las Torres del Paine, diferenciándose de los gabros de dicha unidad por ser intrusiones en forma de *sills* o diques con espesores de hasta 50 m. En ciertas áreas, los Gabros Externos se encuentran plegados junto a la roca caja, lo que indicaría que preceden a la deformación regional de la zona. Intruyen a la Formación Cerro Toro y Punta Barrosa (Altenberger *et al.*, 2003).

Altenberger *et al.* (2003) realizan dataciones K-Ar en biotita, obteniendo edades de 29,4±0,8 Ma.

2.3.2. Complejo Intrusivo Torres del Paine (Mioceno)

Localizado en el Parque Nacional Torres del Paine, en la Provincia de Última Esperanza. El granito de las Torres del Paine es un lacolito subhorizontal, asimétrico, que no produjo deformación significativa ni metamorfismo de contacto, o éste fue casi nulo, en la roca caja (Skarmeta y Castelli, 1997). Ocupa un área elíptica de 150 km^2 (Michael, 1991). Se divide en dos unidades petrográficas mayores: la unidad principal se denomina “Intrusivo Paine” y consiste en granitos de biotita y ortoclasa, con textura hipidiomórfica granular a alotromórfica, rodeados por un halo marginal de aplitas; mientras que la unidad de menor distribución areal se denomina

"Complejo Básico Paine", compuesto por gabros, monzodioritas y monzodioritas cuarcíferas restringidas a la parte media del Intrusivo Paine (Michael, 1983). Las relaciones de contacto entre ambos tipos petrográficos permiten inferir que el magma básico intruye al granítico cuando éste aún estaba fundido. Esta unidad intruye a rocas sedimentarias marinas del Cretácico Superior (Formación Cerro Toro) pertenecientes a la cuenca de Magallanes o Austral (Michael, 1991; Skarmeta y Castelli, 1997).

Dataciones en dioritas cuarcíferas de cerro Paine arrojan edades de 13±1 Ma con el método K-Ar en biotita y 12±2 Ma con el método Rb-Sr en biotita y roca total (Halpern, 1973). El granito de las Torres del Paine está asociado temporal y espacialmente a un fallamiento de edad correspondiente con la del intrusivo (Skarmeta y Castelli, 1997).

2.4. Marco Tectónico

La historia del Mesozoico-Cenozoico en el distrito Última Esperanza es interpretada a partir de la secuencia sedimentaria preservada en el cinturón de fajas corridas y plegadas de los Andes, que refleja la inversión tectónica desde una fase extensional temprana que origina una cuenca de trasarco (cuenca Marginal de Rocas Verdes) a la posterior fase contráctil que da lugar a una cuenca de antepaís (cuenca de Magallanes o Austral), asociada a la orogénesis andina (Wilson, 1991; Fildani *et al.*, 2008).

Según Charrier *et al.* (2007), la evolución tectónica en los Andes Patagónicos se divide en tres etapas:

2.4.1. Etapa de extensión regional (Jurásico Medio a Superior)

Durante el quiebre del supercontinente Gondwana, en el Jurásico Medio a Superior, los Andes Sur Patagónicos experimentan una fase de extensión cortical que culmina con la apertura de la cuenca de Rocas Verdes, de orientación NNW-SSE, en el Jurásico Superior-Cretácico Inferior (Dalziel, 1981; Gust *et al.*, 1985; Pankhurst *et al.*, 2000; Calderón *et al.*, 2007a). La causa de

dicho evento probablemente está relacionada con un considerable alzamiento diapírico del manto que origina la apertura del océano Atlántico (Charrier *et al.*, 2007).

Basaltos almohadilla y diques máficos de los Complejos Ofiolíticos (Sarmiento y Tortuga) forman una corteza cuasi-oceánica y representan los restos del piso de la cuenca de Rocas Verdes (Calderón *et al.*, 2007b; Fildani *et al.*, 2007). El Complejo Sarmiento preserva una litología pseudo-estratificada que mezcla capas máficas y félsicas sin los componentes ultramáficos clásicos de una ofiolita, originadas en condiciones de suprasubducción (Alabaster y Storey, 1990; Calderón *et al.*, 2007a; Calderón *et al.*, 2007b). Además, asociado a la extensión se desarrolla un episodio de volcanismo silícico, que deriva de la anatexia cortical, cuya actividad produce los depósitos esencialmente riolíticos de la Formación Tobífera (Gust *et al.*, 1985; Pankhurst *et al.*, 2000). Muestras tanto del Complejo Sarmiento como de la Formación Tobífera indican un volcanismo bimodal contemporáneo (Calderón *et al.*, 2007a).

2.4.2. Etapa de subsidencia termal (Cretácico Inferior)

Posterior al episodio de volcanismo Jurásico, el desarrollo temprano de la cuenca es controlado por subsidencia termal que da inicio a un extenso ciclo transgresivo (Macellari *et al.*, 1989). A medida que la extensión mengua, la cuenca de Rocas Verdes acumula sedimentos de grano fino que conforman a la Formación Zapata, en el Cretácico Inferior, cuyo origen deriva de la elevación local del basamento y aportes de un arco volcánico juvenil al Oeste (Fildani y Hessler, 2005). La Formación Tobífera y la Formación Zapata son interpretadas como el relleno de la cuenca de Rocas Verdes (Wilson, 1983, 1991 en Fildani *et al.*, 2007).

2.4.3. Etapa de inversión tectónica, con desarrollo de una cuenca de antepaís y un cinturón de fajas corridas y plegadas (Cretácico Superior a Reciente)

Hacia fines del Cretácico Inferior, las mayores tasas de expansión del océano Atlántico y la subducción acelerada a lo largo del margen Pacífico inician el cierre de la cuenca de Rocas Verdes (Dalziel, 1986; Fildani y Hessler, 2005; Hervé *et al.*, 2007; Fosdick *et al.*, 2011), provocando la transición de extensión a compresión. Esta inversión deriva en la obducción del

piso oceánico de la cuenca y la deformación de la cobertura sedimentaria (Dalziel, 1986; Dalziel y Brown, 1989). La compresión desde el Suroeste, relacionada a las etapas tempranas de la orogénesis andina, y la propagación de la deformación origina, a lo largo del margen oriental de la cordillera, la faja corrida y plegada de Magallanes y la cuenca de antepaís asociada, desde el Cretácico Superior al Neógeno (Wilson, 1991; Fildani *et al.*, 2003).

El inicio de la depositación de aguas profundas en la cuenca de antepaís de Magallanes es señalado por la aparición de secuencias turbidíticas ricas en areniscas de grano grueso de la Formación Punta Barrosa (Wilson, 1991; Fildani *et al.*, 2003). Esta formación deriva de fuentes mixtas que incluyen un arco volcánico juvenil y complejos metamórficos del basamento expuestos durante el levantamiento temprano en el cinturón andino (Fildani y Hessler, 2005).

La continua subsidencia, sumada al abundante suministro de sedimentos como resultado de la denudación del arco activo y de la faja corrida y plegada, a lo largo del Cretácico Superior, quedan como registro en los conglomerados y secuencias turbidíticas de la Formación Cerro Toro, que representa el clímax de la sedimentación en aguas profundas, y los sobreyacentes depósitos de talud continental y sistema deltaico de las formaciones Tres Pasos y Dorotea, respectivamente, que reflejan la somerización de la cuenca (Fildani *et al.*, 2008; Romans *et al.*, 2010).

La distribución de la cuenca de Magallanes durante el Paleoceno sufre una considerable modificación, que se traduce en la exposición de la plataforma oriental y la ocurrencia de una importante regresión hacia el Oeste, en contraste con el borde occidental que experimenta una fuerte subsidencia, ambos fenómenos relacionados con un aumento en el ángulo de flexión de la corteza originado por el alzamiento de la protocordillera (Mella, 2001).

A partir del Eoceno superior, se produce una disminución en la subsidencia de la cuenca que facilita la somerización, por una tasa de sedimentación mayor que el hundimiento, y en la región comienzan a imperar condiciones transicionales marino-continentales, como en los depósitos de la Formación Man Aike, al colmatarse la cuenca con la depositación de sistemas fluviales y deltaicos progradantes hacia el Este (Mella, 2001).

3. ESTRATIGRAFÍA

3.1. Generalidades

En sierra Contreras, la geología comprende unidades litoestratigráficas principalmente marinas, representadas por las formaciones Cerro Toro y Tres Pasos, y en menor medida continentales, que incluyen los depósitos semiconsolidados y no consolidados de origen glacial y fluvial, estos últimos dispuestos horizontalmente sobre las unidades más antiguas, abarcando en su totalidad un rango de edad desde el Cretácico Superior al Reciente.

El sector oriental de sierra Contreras se caracteriza por exponer afloramientos que han tenido una intensa meteorización, motivo por el cual las rocas no tienen un buen estado de preservación o se encuentran cubiertas por abundante material erosionado. Dichos afloramientos son identificados como secuencias siliciclásticas de ambiente marino, pertenecientes a la Formación Tres Pasos del Cretácico Superior, específicamente del Campaniano-Maastrichtiano (Daniels *et al.*, 2018).

Los estratos se conforman mayoritariamente por areniscas de granulometría fina a media, en menor proporción media-gruesa, con color variable entre pardo violáceo, pardo claro a gris verdoso; además de fangolitas, fangolitas en intercalaciones con areniscas o fangolitas con una capa de basalto de piroxeno. De manera subordinada, hay niveles de conglomerados arenosos. En el caso de las areniscas, éstas exhiben estructuras de tipo laminación (<2 cm de espesor) y estratificación paralela (>2 cm de espesor), mientras que las fangolitas tienen laminación de tipo paralela. Ambas también se encuentran en forma masiva.

Las secuencias presentan un rumbo que oscila entre los N77ºW y N82ºE, siendo la dirección predominante hacia el NE, mientras que el manteo es bajo, dado que lo estratos se encuentran en general subhorizontales, variando entre los 21ºSW, 10ºNW y 6ºNE, pero destacando una inclinación en dirección NW. Cabe mencionar que las secuencias sedimentarias son repetitivas en esta área, que la medición de las capas es un tanto compleja dada su disposición subhorizontal, y que los estratos, en ciertas zonas, se encuentran plegados o afectados por fallas.

En cuanto al contenido macrofosilífero, no es abundante y está pobremente conservado dada la intensa meteorización, dificultando su identificación. Se constituye principalmente por fragmentos de troncos y hojas, reconociéndose angiospermas y gimnospermas podocarpáceas, y escasos moluscos, ya sean bivalvos o ammonites del género *Hoplitoplacenticeras*.

El espesor total para la Formación Tres Pasos en el área de estudio es de aproximadamente 162 m.

3.2. Columnas Estratigráficas

Se describen a continuación 6 columnas estratigráficas elaboradas en sierra Contreras (Figura 3.1), todas interpretadas como parte de la Formación Tres Pasos.

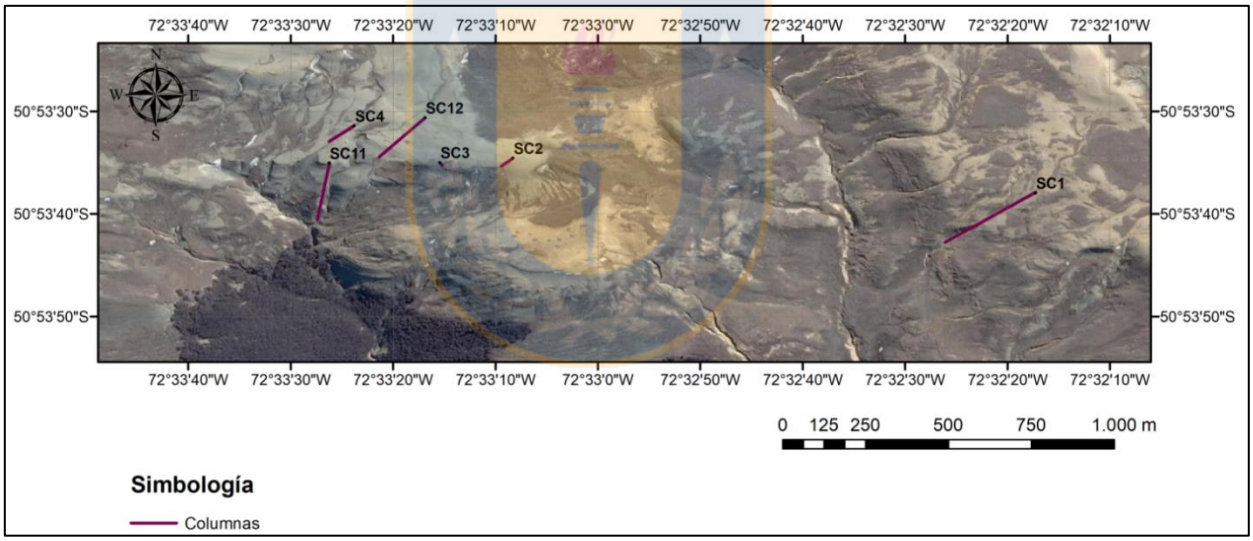


Figura 3.1. Distribución de columnas estratigráficas elaboradas en el sector Este de sierra Contreras (SC).

3.2.1. Columna Sierra Contreras 1 (SC1)

Sección localizada hacia el extremo más oriental del área de estudio (coordenadas inicio 18F 673.131 m E / 4.359.089 m N; coordenadas término 18F 672.953 m E / 4.358.944 m N). La secuencia presenta un espesor total de 21,05 m, se conforma de areniscas de granulometría fina a media y fangolitas, ya sea masivas o con estructuras de tipo estratificación y laminación paralela,

respectivamente (Figura 3.2); además de un nivel de rudita arenosa. El rumbo y manteo de los estratos es N77ºW / 3ºNE. Hacia cotas inferiores, las capas se ven afectadas por *slides* y plegamientos. De base a techo:

Tramo SC1-1 (10 m)

- 3 m de fangolita color gris oscuro en superficie fresca y pardo oscuro en superficie alterada. No es posible determinar su composición en descripción macroscópica.
- 1 m de arenisca de grano medio, color gris verdoso en superficie fresca y pardo anaranjado a amarillento de alteración, con buena selección, fábrica clasto soportada y granos en general subangulares y esféricos a subprismáticos. Se conforma de cuarzo, feldespato, ferromagnesianos, micas (muscovita y biotita), arcillas y líticos tanto sedimentarios como indiferenciados, clasificando como subarcosa según Folk (1968). Efervesce fuertemente con HCl debido a la presencia de cemento calcáreo (Anexo 1, muestra SC1M5). Incluye materia orgánica carbonizada, visible ya sea como lentes inferiores a 1 mm de espesor o en niveles milimétricos, y trazas fósiles de *Taenidium* isp. (Figura 3.3A).
- 6 m de fangolita color pardo oscuro en superficie alterada y gris oscuro en superficie fresca. Es similar a la anteriormente descrita y no es posible determinar su composición en descripción macroscópica. Contiene escasos restos vegetales carbonizados y lentes de arcillolita de color anaranjado.

Tramo SC1-2 (6 m)

- 6 m de arenisca con tamaño de grano fino (Figura 3.3B), color pardo anaranjado a amarillento en superficie alterada y pardo violáceo en superficie fresca, con selección buena, fábrica clasto soportada y granos principalmente subangulares a subredondeados y esféricos a subprismáticos. Se compone de cuarzo, plagioclasa, ferromagnesianos (piroxeno), micas (muscovita, biotita y glauconita), epidota, arcillas, líticos volcánicos y sedimentarios, correspondiente a una subarcosa según la clasificación de Folk (1968).

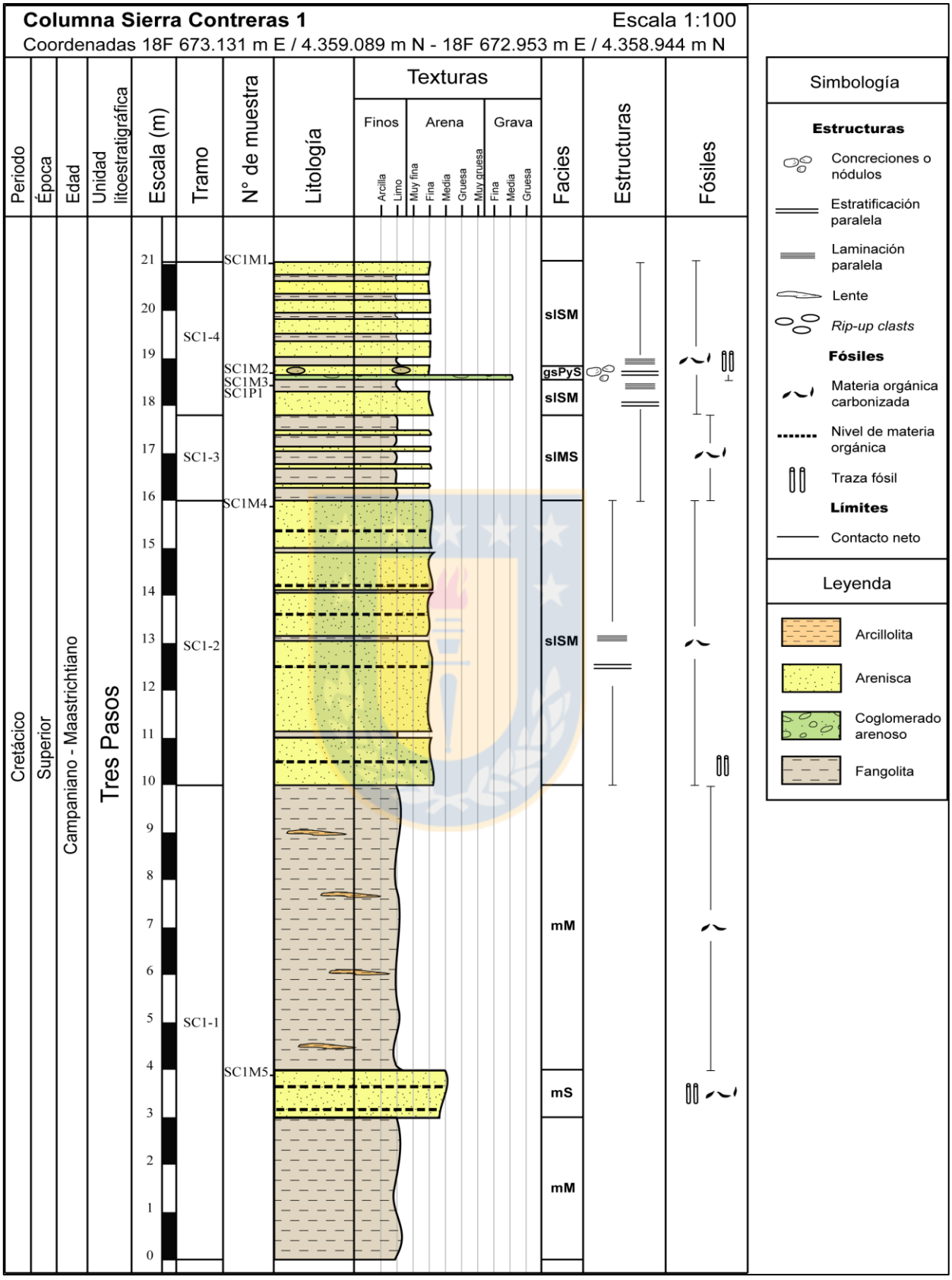


Figura 3.2. **Columna Sierra Contreras 1.**

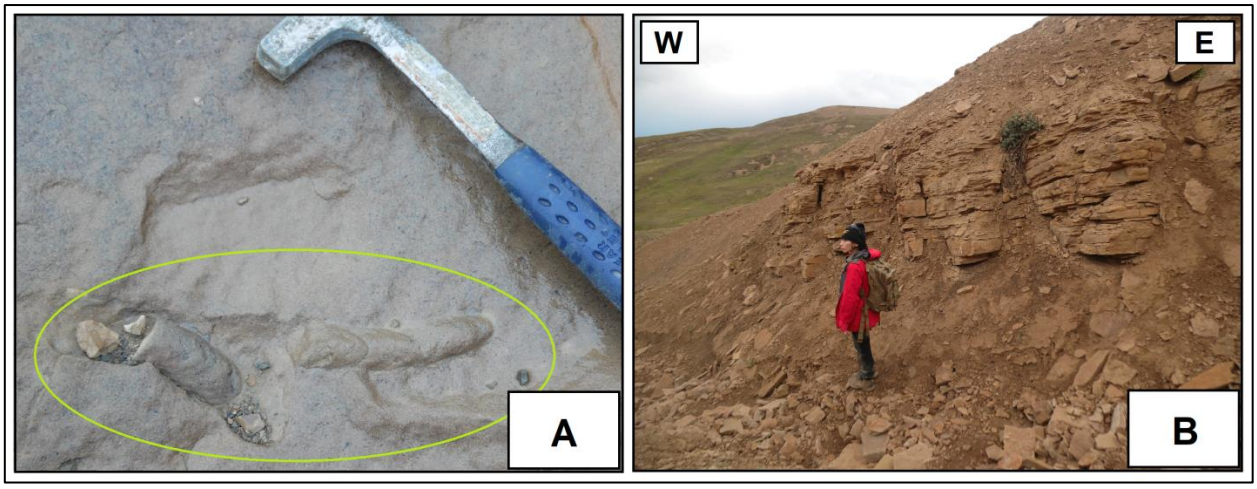


Figura 3.3. **Trazas fósiles y afloramientos de columna SC1, tramos SC1-1 y SC1-2. A:** Traza fósil de *Taenidium* isp. en arenisca media, tramo SC1-1. **B:** Arenisca fina con estratificación paralela, tramo SC1-2.

Efervesce fuertemente con HCl dada la presencia de cemento calcáreo, además de hematítico, y tiene estructuras sedimentarias de tipo estratificación paralela (Anexo 1 y 2, muestra SC1M4). Presenta trazas fósiles de *Skolithos* isp. y *Palaeophycus* isp. (Figura 3.4A) en la base, restos vegetales carbonizados dispersos en muy baja proporción, niveles fangosos de restos vegetales carbonizados con menos de 2 cm de espesor (Figura 3.4B) e intercalaciones con fangolitas laminadas que no superan los 20 cm, mientras que la potencia de las areniscas es métrica.

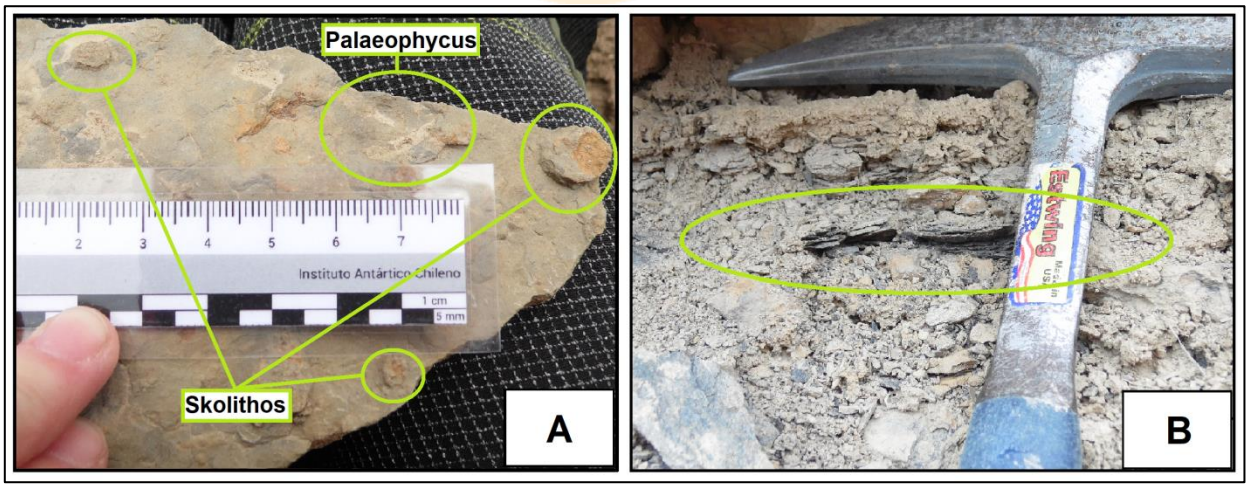


Figura 3.4. **Trazas fósiles y niveles carbonosos en arenisca fina de columna SC1, tramo SC1-2. A:** Trazas fósiles de *Skolithos* isp. y *Palaeophycus* isp. **B:** Nivel de materia orgánica.

Tramo SC1-3 (1,8 m)

- 1,8 m de fangolita color pardo anaranjado oscuro en superficie alterada y gris oscuro en superficie fresca, cuya composición no es posible de determinar en descripción macroscópica. Posee laminación paralela, materia orgánica carbonizada e intercalaciones de 2 a 6 cm de arenisca de grano fino, color pardo violáceo en superficie fresca, con buena selección y fábrica clasto soportada. Esta última se compone de cuarzo, feldespato, ferromagnesianos, micas, arcillas, líticos indiferenciados y restos vegetales carbonizados, similar composicionalmente a la arenisca de la muestra SC1M1 (Anexo 1). Adicionalmente, presenta estratificación paralela.

Tramo SC1-4 (3,25 m)

- 0,5 m de arenisca de grano fino, similar en composición a las areniscas de las muestras SC1M1 y SC1M2 (Anexo 1). Tiene color pardo violáceo en superficie fresca y pardo anaranjado de alteración, buena selección y granos en general subangulares y esféricos a subprismáticos. Se conforma de cuarzo, feldespato, máficos, micas, arcillas y líticos indiferenciados. Posee estratificación paralela y contiene restos vegetales carbonizados.
- 0,25 m de fangolita color pardo anaranjado oscuro en superficie alterada y gris oscuro en superficie fresca. No es posible determinar su composición en descripción macroscópica (Anexo 1, muestra SC1M3. Muestra de polen SC1P1). Tiene estructuras sedimentarias de tipo laminación paralela y se reconoce costra calcárea en el techo.
- 0,3 m de arenisca de grano fino, color pardo claro a amarillento de alteración y pardo violáceo en superficie fresca, con buena a moderada selección, fábrica clasto soportada y granos principalmente subangulares y esféricos a subprismáticos. Composicionalmente, se distinguen cuarzo, feldespato, ferromagnesianos, micas (muscovita y biotita), arcillas, líticos sedimentarios e indiferenciados, concordante con una subarcosa según la clasificación de Folk (1968). Presenta estratificación paralela y restos vegetales carbonizados, concentrados en niveles de espesores milimétricos o, en algunos casos, visibles como lentes de menos de 1 mm de espesor y longitud variable milimétrica a centimétrica (Anexo 1, muestra SC1M2). Contiene trazas fósiles de *Palaeophycus* isp.

(Figura 3.5A), escasos nódulos ferruginosos oxidados y clastos dispersos de fangolita, redondeados y de 2 a 4 cm de longitud, dispuestos paralelos a la estratificación. Hacia la base, tiene un pequeño nivel de conglomerado arenoso de 5 cm de espesor, en el cual se concentran los clastos de fangolita, cuya matriz corresponde con la composición de la arenisca.

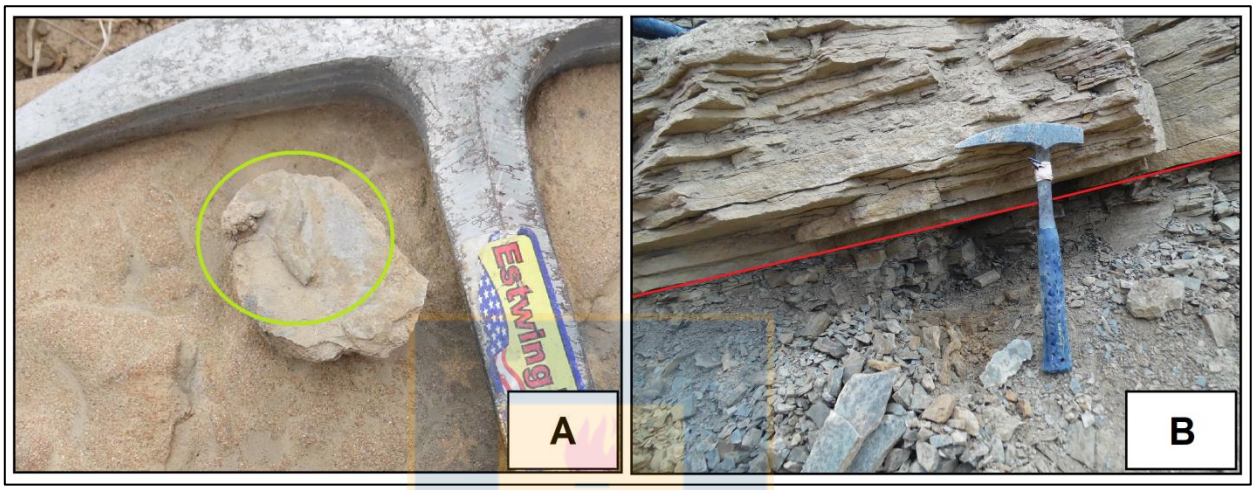


Figura 3.5. **Trazas fósiles y afloramientos de columna SC1, tramo SC1-4. A:** Traza fósil de *Palaeophycus* isp. en arenisca fina. **B:** Arenisca fina con estratificación paralela (arriba) y fangolitas, de espesores milimétricos, con laminación paralela (abajo).

- 0,2 m de fangolita color pardo anaranjado en superficie alterada y gris oscuro en superficie fresca, cuya composición no es posible de determinar en descripción macroscópica. Tiene laminación paralela, restos vegetales carbonizados y trazas fósiles de *Skolithos* isp.
- 2 m de intercalación de arenisca fina con estratificación paralela y fangolita con laminación paralela (Figura 3.5B). La primera es de color pardo oscuro a anaranjado en superficie alterada y pardo violáceo claro en superficie fresca, tiene buena selección, fábrica clasto soportada y granos principalmente subangulares y esféricos a subprismáticos. Está compuesta por cuarzo, mayoritariamente, feldespato, máficos, micas (muscovita y biotita), arcillas y líticos indiferenciados, y clasifica como subarcosa según Folk (1968). Además, posee restos vegetales carbonizados, algunos visibles como lentes inferiores a 1 mm de espesor (Anexo 1, muestra SC1M1). La fangolita es de color gris oscuro en superficie fresca y no es posible determinar su composición en descripción

macroscópica. Las fangolitas presentan espesores que varían entre 5 cm a milímetros, mientras que el de las areniscas varía desde 20 a 4 cm hacia la base.

3.2.2. Columna Sierra Contreras 2 (SC2)

Sección localizada hacia el centro del área de estudio (coordenadas inicio 18F 672.138 m E / 4.359.228 m N; coordenadas término 18F 672.115 m E / 4.359.204 m N). La columna tiene un espesor total de 4,45 m y consta principalmente de areniscas de grano medio-grueso, con un nivel de rudita arenosa, y en menor medida fangolitas, con estructuras sedimentarias de tipo estratificación y laminación paralela respectivamente (Figura 3.6). El rumbo y manteo de los estratos es N5°W / 6°NE. De base a techo:

Tramo SC2-1 (4,45 m)

- 1,4 m de arenisca media a levemente gruesa, color gris verdoso, con selección moderada. Se compone de granos de cuarzo, feldespato, ferromagnesianos, micas, arcillas y líticos indiferenciados, similar a las muestras SC2M1 y SC2M3 (Anexo 1). Tiene estratificación paralela, contiene nivel de materia orgánica carbonizada a 30 cm del techo, cuyo espesor es milimétrico, y trazas fósiles tubulares indeterminadas hacia la base (tubos simples).
- 0,15 m de fangolita color gris oscuro, con laminación paralela, similar a la fangolita de la muestra SC2M2 (Anexo 1).
- 0,5 m de arenisca de grano medio a levemente grueso (Figura 3.7A), color pardo oscuro a amarillento de alteración y gris verdoso claro en superficie fresca, con selección moderada, fábrica clasto soportada y granos en su mayoría esféricos a subprismáticos y subangulares a subredondeados. Composicionalmente, se distinguen cuarzo, feldespato, máficos, micas (biotita y muscovita), arcillas y líticos indiferenciados, clasificando como subarcosa según Folk (1968). Tiene cemento calcáreo y estratificación paralela (Anexo 1, muestra SC2M3). Hacia la base, se encuentra un fósil rodado de molde interno del ammonite *Hoplitoplacenticeras plasticum*, cuya litología coincide con la descrita en esta capa (Anexo 3, fósil SC2F4).

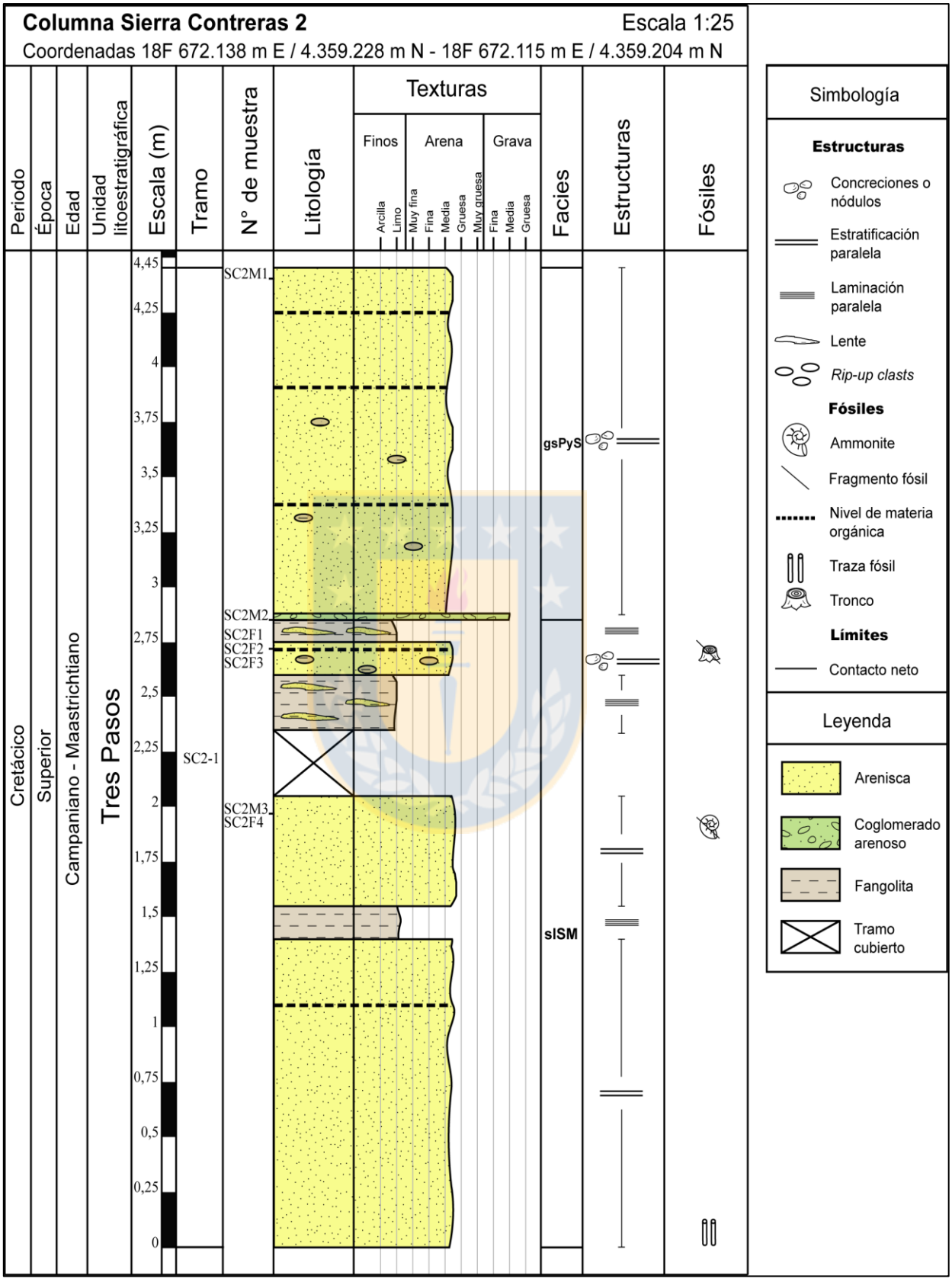


Figura 3.6. **Columna Sierra Contreras 2.**

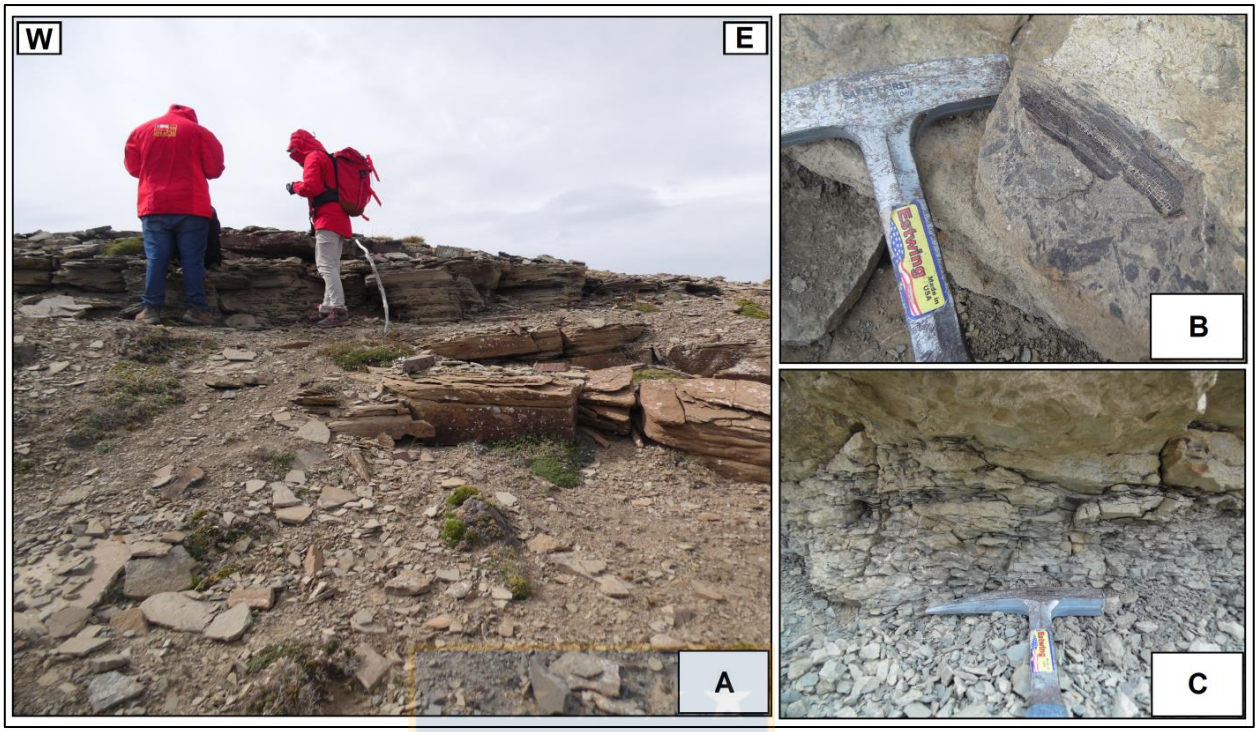


Figura 3.7. **Afloramientos de columna SC2. A:** Afloramiento de arenisca media a levemente gruesa con estratificación paralela (en la base). **B:** Fragmentos de troncos fósiles y restos vegetales en arenisca media a levemente gruesa. **C:** Fangolita con lentes de arenisca subyaciendo a arenisca media a levemente gruesa.

- 0,3 m de tramo cubierto.
- 0,25 m de fangolita color gris oscuro, con laminación paralela y lentes de arenisca media a gruesa, similar a la fangolita de la muestra SC2M2 (Anexo 1).
- 0,15 m de arenisca de grano medio a levemente grueso, color gris verdoso a gris verdoso oscuro en superficie fresca y pardo oscuro, amarillento a anaranjado de alteración. Tiene selección moderada, fábrica clasto soportada y granos en general subredondeados y esféricos a subprismáticos. Está constituida de líticos sedimentarios e indiferenciados, cuarzo, feldespato, ferromagnesianos, micas (muscovita y biotita) y arcillas, clasificando como subarcosa según Folk (1968). Adicionalmente, posee cemento calcáreo y estructuras sedimentarias de tipo estratificación paralela. Es similar a la arenisca de la muestra SC2M1 (Anexo 1). Localmente es cortada por grietas rellenas de calcita. Contiene escasos nódulos ferruginosos oxidados y con forma elíptica, clastos dispersos de fangolita y un nivel milimétrico de materia orgánica (Figura 3.7B) a 3 cm del techo, que incluye restos vegetales carbonizados y fragmentos de troncos (Anexo 3, fósiles SC2F1,

SC2F2 y SC2F3). Los clastos de fangolita están orientados paralelos a la estratificación, son de color gris oscuro, no superan los 2 cm de longitud y, algunos, se concentran parcialmente en niveles.

- 0,1 m de fangolita (Figura 3.7C) color gris oscuro en superficie fresca y pardo amarillento en superficie alterada, en la que sólo se distinguen ferromagnesianos y micas. Posee estructuras sedimentarias de tipo laminación paralela, además de lentes de arenisca media a levemente gruesa de 3 a 5 mm de espesor y longitud centimétrica (Anexo 1, muestra SC2M2).
- 1,6 m de arenisca de grano medio a levemente grueso, color pardo oscuro a amarillento de alteración y gris verdoso claro en superficie fresca, con selección moderada, fábrica clasto soportada y granos en general esféricos a subprismáticos y subredondeados a subangulares. Se compone de líticos sedimentarios e indiferenciados, cuarzo, feldespato, máficos, micas (biotita y muscovita), epidota y arcillas, correspondiente a una subarcosa según la clasificación de Folk (1968). Efervesce débilmente con HCl, posee cemento calcáreo, además de estructuras sedimentarias de tipo estratificación paralela (Anexo 1, muestra SC2M1). Contiene niveles de materia orgánica carbonizada, de espesores milimétricos, escasos nódulos ferruginosos dispersos y de forma elíptica, y clastos de fangolita de 1 a 4 cm de longitud. Los clastos de fangolita se encuentran dispuestos paralelos a la estratificación y dispersos en la roca, no obstante, cerca de la base del estrato, algunos clastos se concentran en un nivel conglomerádico arenoso de 1 cm de potencia, matriz soportado, cuya matriz es similar composicionalmente a la arenisca antes descrita.

3.2.3. Columna Sierra Contreras 3 (SC3)

Sección localizada al Oeste de la columna SC2 (coordenadas inicio 18F 672.003 m E / 4.359.209 m N; coordenadas término 18F 671.999 m E / 4.359.218 m N). La secuencia presenta una potencia total de 2,45 m y se compone únicamente de areniscas, ya sea con laminación o estratificación paralela, que varían de granulometría fina a media (Figura 3.8). Las capas tienen un rumbo y manteo de N5°E / 2°NW. De base a techo:

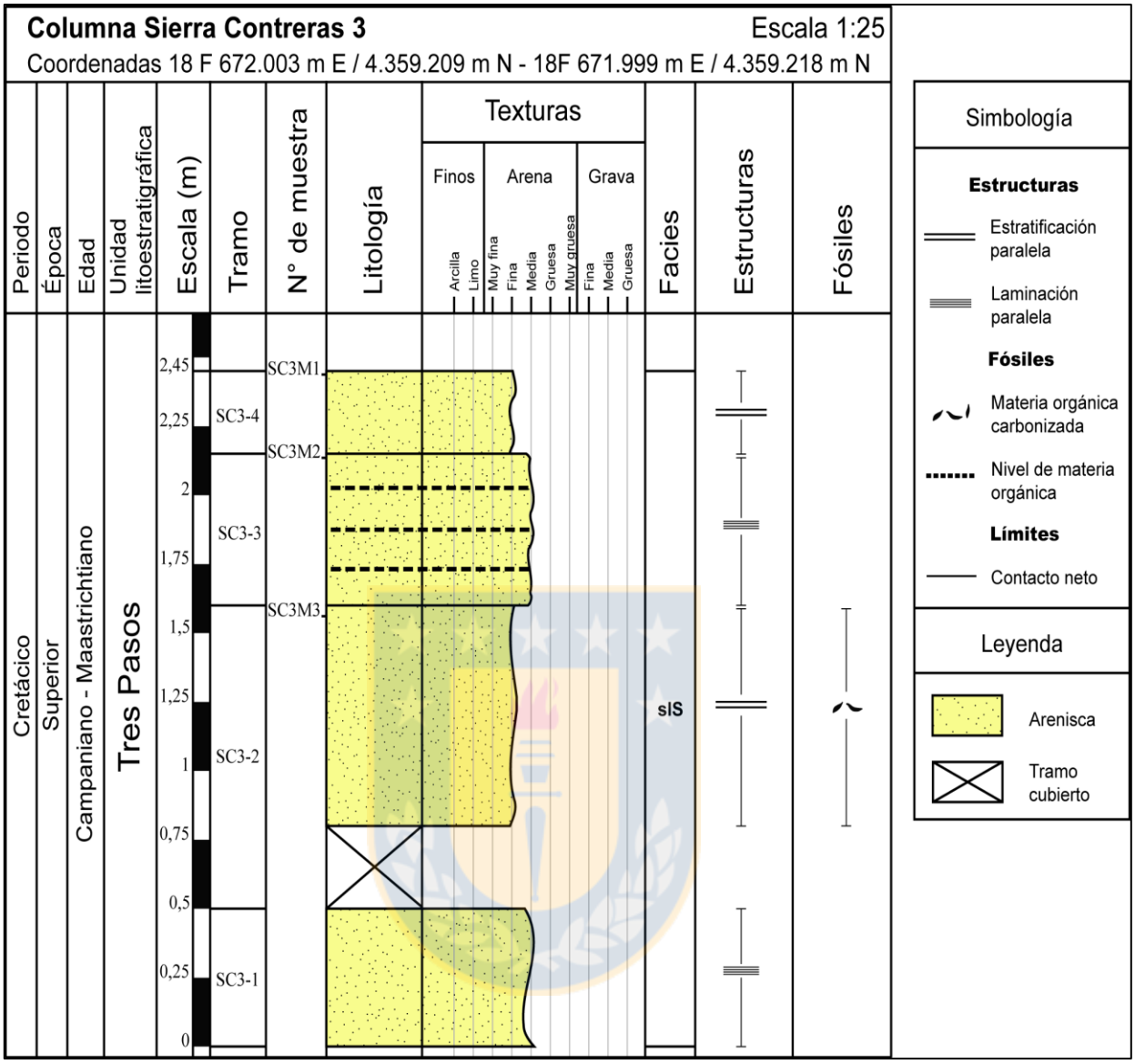


Figura 3.8. Columna Sierra Contreras 3.

Tramo SC3-1 (0,5 m)

- 0,5 m de arenisca de grano medio, color gris verdoso en superficie fresca y pardo amarillento de alteración, con selección moderada y granos en general subprismáticos a esféricos y subredondeados. Se conforma de cuarzo, feldespato, ferromagnesianos, micas, epidota, arcillas y líticos indiferenciados. Efervesce con HCl debido a la presencia de cemento calcáreo y posee laminación paralela. Es similar composicionalmente a la arenisca de la muestra SC3M2 (Anexo 1).

Tramo SC3-2 (1,1 m)

- 0,3 m de tramo cubierto.
- 0,8 m de arenisca de grano fino (Figura 3.9A), color pardo grisáceo en superficie alterada y gris verdoso parduzco en superficie fresca, con buena selección, fábrica clasto soportada y granos en su mayoría subprismáticos a esféricos y subredondeados a subangulares. Se compone de cuarzo, feldespato, ferromagnesianos, micas (muscovita y biotita), epidota y arcillas, correspondiente a una subarcosa según la clasificación de Folk (1968). La roca efervesce fuertemente con HCl debido a la presencia de cemento calcáreo y posee estructuras sedimentarias de tipo estratificación paralela. Adicionalmente, contiene muy escasa materia orgánica carbonizada, visible como lentes de menos de 1 mm de espesor (Anexo 1, muestra SC3M3).

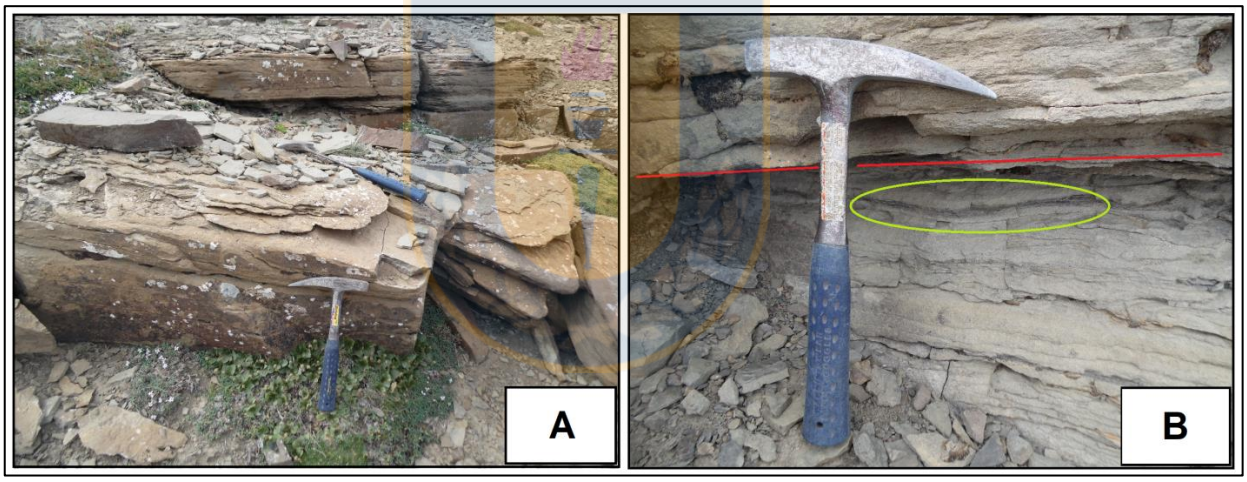


Figura 3.9. **Areniscas y niveles de restos vegetales de columna SC3. A:** Arenisca de grano fino con estratificación paralela, tramo SC3-2. **B:** Contacto entre arenisca fina de tramo SC3-4 (arriba) y arenisca media de tramo SC3-3 (abajo), está última con niveles de restos vegetales y laminación paralela.

Tramo SC3-3 (0,55 m)

- 0,55 m de arenisca de grano medio, color pardo amarillento en superficie alterada y gris verdoso en superficie fresca, con selección moderada, fábrica clasto soportada y granos en general subprismáticos a esféricos y subredondeados. Se constituye principalmente de cuarzo, feldespato, máficos, micas (muscovita), epidota, arcillas y líticos indiferenciados,

concordante con una subarcosa según la clasificación de Folk (1968). Efervesce débilmente con HCl y tiene cemento calcáreo, además de estructuras de tipo laminación paralela (Anexo 1, muestra SC3M2). Adicionalmente, contiene niveles milimétricos de restos vegetales carbonizados (Figura 3.9B).

Tramo SC3-4 (0,3 m)

- 0,3 m de arenisca de grano fino, color pardo grisáceo claro en superficie de alteración y gris verdoso oscuro en superficie fresca, con selección buena a moderada, fábrica clasto soportada y granos principalmente subprismáticos a esféricos y subangulares a subredondeados. Se compone de cuarzo, en menor medida plagioclasa, máficos (piroxeno), micas (muscovita y biotita), epidota, arcillas y líticos tanto volcánicos como sedimentarios, correspondiente a una sublitarenita según la clasificación de Folk (1968). Efervesce con HCl debido a la presencia de cemento calcáreo, además de clorítico, y posee estratificación paralela (Anexo 1 y 2, muestra SC3M1).

3.2.4. Columna Sierra Contreras 4 (SC4)

Sección localizada hacia el Noroeste del área de estudio (coordenadas inicio 18F 671.839 m E / 4.359.335 m N; coordenadas término 18F 671.789 m E / 4.359.289 m N). La columna tiene una potencia total de 4,4 m y se constituye de areniscas de grano medio a fino de color gris verdoso, en algunos casos fangosas y estratificadas paralelamente (Figura 3.10). Su rumbo y manteo es N53°E / 10°NW. De base a techo:

Tramo SC4-1 (1,8 m)

- 1,8 m de intercalación entre arenisca de grano medio a levemente fino y arenisca fangosa de grano medio a fino. La primera tiene un color pardo oscuro en superficie alterada y gris verdoso oscuro en superficie fresca, selección moderada, fábrica clasto soportada y granos principalmente esféricos a subprismáticos y subangulares a subredondeados. Se conforma de líticos indiferenciados, cuarzo, feldespato, ferromagnesianos, micas, epidota y arcillas.

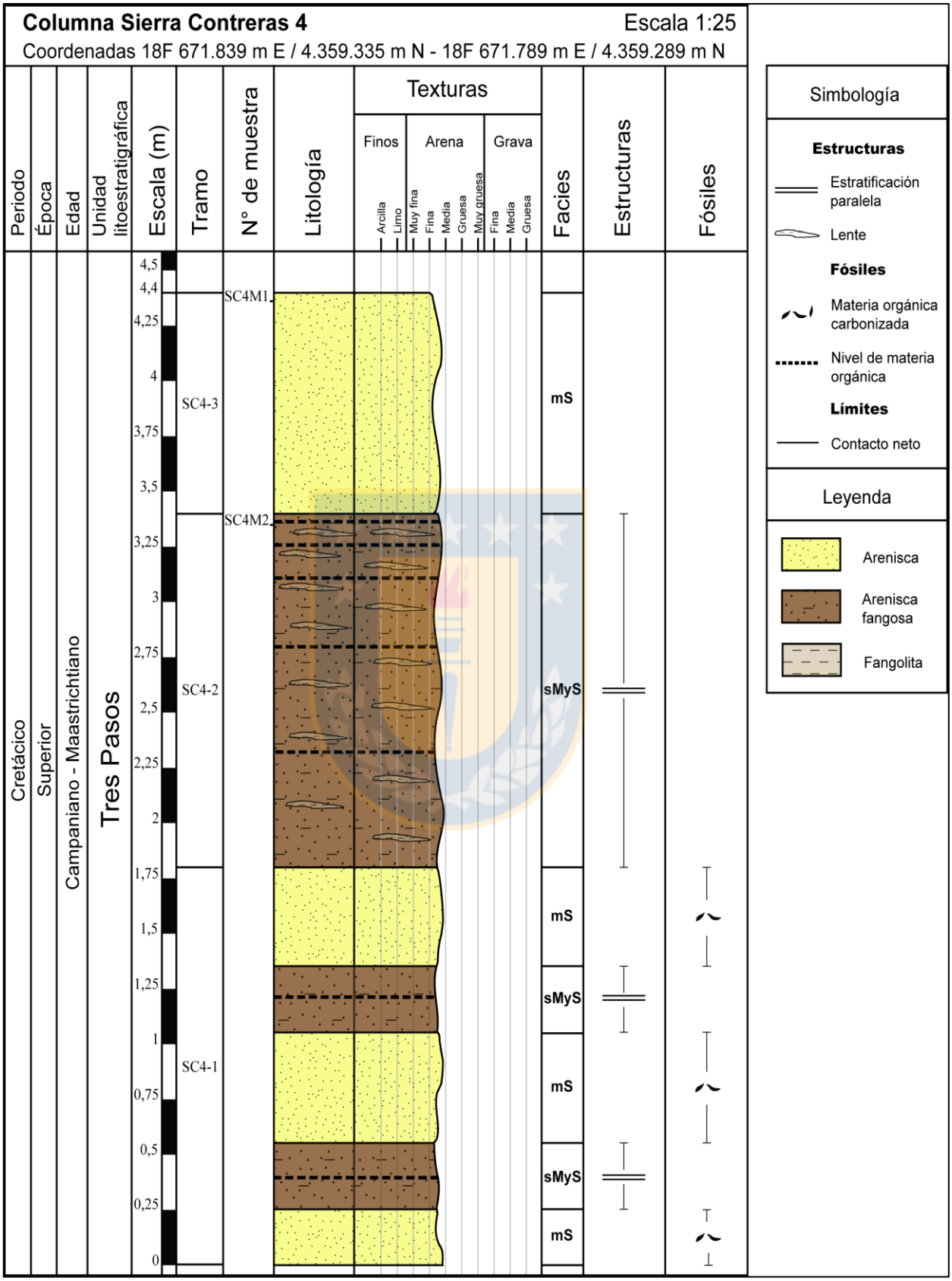


Figura 3.10. Columna Sierra Contreras 4.

Adicionalmente, la arenisca contiene cemento de tipo calcáreo y escasa materia orgánica carbonizada. Las capas alcanzan un espesor de 50 cm, aproximadamente. La arenisca fangosa tiene color de alteración pardo grisáceo y gris verdoso claro en superficie fresca, buena selección, fábrica clasto soportada y granos en general esféricos a subprismáticos y subredondeados a subangulares. Está constituida por cuarzo, feldespato, máficos, micas, arcillas y líticos indiferenciados. Presenta estratificación paralela y abundantes restos vegetales carbonizados dispuestos en delgados niveles de espesores milimétricos. Los estratos son de aproximadamente 30 cm de espesor. Ambas litologías son similares a las areniscas descritas para las muestras SC4M1 y SC4M2 (Anexo 1) respectivamente.

Tramo SC4-2 (1,6 m)

- 1,6 m de arenisca fangosa de grano medio a fino (Figura 3.11A), color de alteración pardo grisáceo y gris verdoso claro en superficie fresca, con buena selección, fábrica clasto soportada y granos en general esféricos a subprismáticos y subredondeados a subangulares. Está compuesta por cuarzo, feldespato, máficos, micas (muscovita), arcillas y líticos indiferenciados, correspondiente a una subarcosa según la clasificación de Folk (1968). Tiene estratificación paralela y, además, contiene lentes de fangolita y restos vegetales carbonizados con forma de hojas y ramas, estos últimos se encuentran en niveles de espesores milimétricos, sobre todo hacia el techo (Anexo 1, muestra SC4M2).

Tramo SC4-3 (1 m)

- 1 m de arenisca de grano medio a levemente fino (Figura 3.11B), de color pardo oscuro en superficie alterada y gris verdoso oscuro en superficie fresca, con selección moderada, fábrica clasto soportada y granos en su mayoría esféricos a subprismáticos y subangulares a subredondeados. Se constituye de líticos indiferenciados, cuarzo, feldespato, máficos, micas (muscovita y biotita), epidota y arcillas, clasificando como subarcosa según Folk (1968). Efervesce fuertemente con HCl debido a la presencia de cemento calcáreo (Anexo 1, muestra SC4M1).

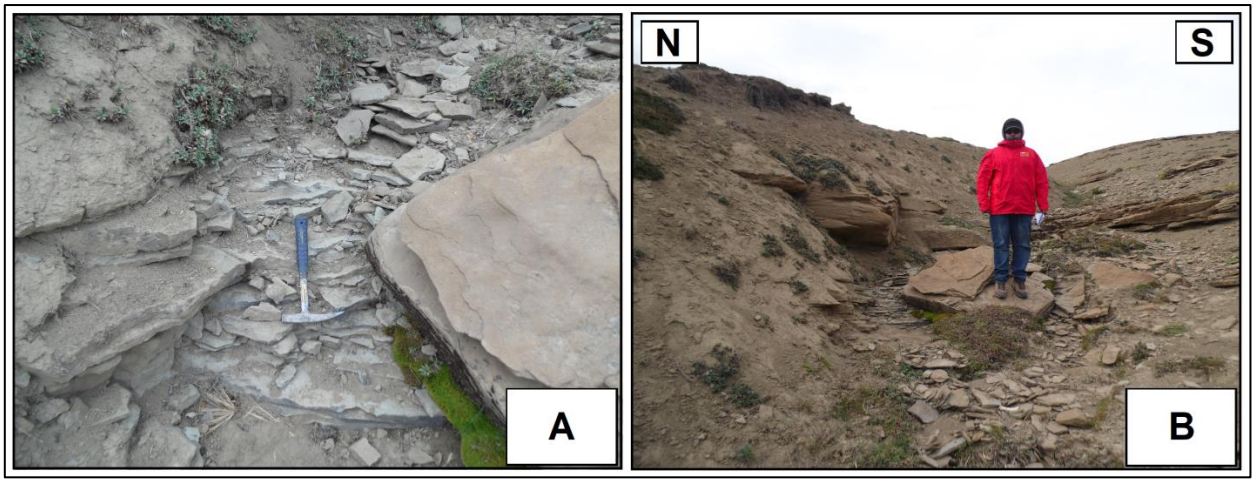


Figura 3.11. **Areniscas de columna SC4, tramos SC4-2 y SC4-3. A:** Afloramiento de arenisca fangosa de grano medio a fino con estratificación paralela, tramo SC4-2. **B:** Afloramiento de arenisca masiva de grano medio a levemente fino, tramo SC4-3.

3.2.5. Columna Sierra Contreras 11 (SC11)

Sección localizada hacia el Oeste, en la parte central del área de estudio, al Sur de la columna SC4 (coordenadas inicio 18F 671.788 m E / 4.359.224 m N; coordenadas término 18F 671.759 m E / 4.359.055 m N). La secuencia presenta un espesor total de 48,9 m y está compuesta principalmente por areniscas que varían de grano fino a medio-grueso, en algunos casos fangosas, y fangolitas, en algunos casos arenosas, además de rocas ígneas de composición basáltica y un nivel de rudita arenosa (Figura 3.12). Los estratos tienen un rumbo y manteo N30ºE / 8ºNW, el cual cambia en el techo de la secuencia, siendo N45ºW / 21ºSW. De base a techo:

Tramo SC11-1 (34,8 m)

- 5 m de intercalación de arenisca fangosa y fangolita arenosa. La primera es de grano medio a fino, color pardo amarillento claro en superficie alterada y gris verdoso en superficie fresca, y contiene materia orgánica carbonizada. La fangolita arenosa es de color gris oscuro en superficie fresca, posee laminación paralela, materia orgánica carbonizada y trazas fósiles de *Thalassinoides* isp. Son similares a las muestras SC11M6 y SC11M8 (Anexo 1 y 2) respectivamente.
- 11 m de tramo cubierto.

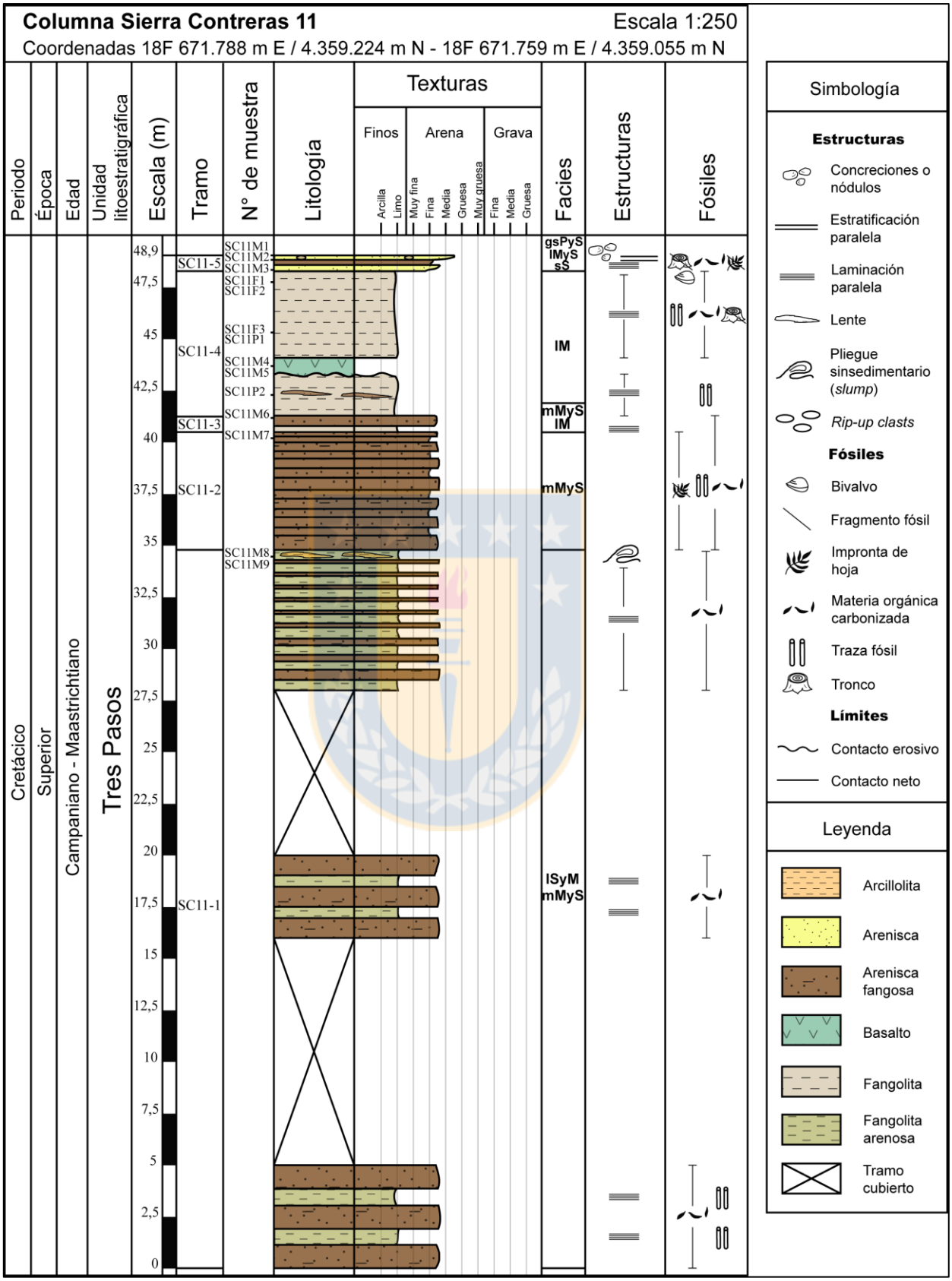


Figura 3.12. Columna Sierra Contreras 11.

– 4 m de intercalación de arenisca fangosa (Figura 3.13A) y fangolita arenosa. La arenisca es de grano medio a fino, tiene color pardo amarillento a claro en superficie alterada y gris verdoso en superficie fresca, moderada selección y granos subprismáticos a esféricos y subangulares a subredondeados. Posee restos vegetales en poca proporción, siendo composicionalmente similar a la muestra SC11M6 (Anexo 1 y 2). La fangolita arenosa es de color gris oscuro en superficie fresca y contiene restos vegetales. Se reconocen únicamente micas (muscovita y biotita) y líticos indiferenciados en descripción macroscópica, similar a la muestra SC11M8 (Anexo 1 y 2). Además, presenta laminación paralela y espesores métricos.

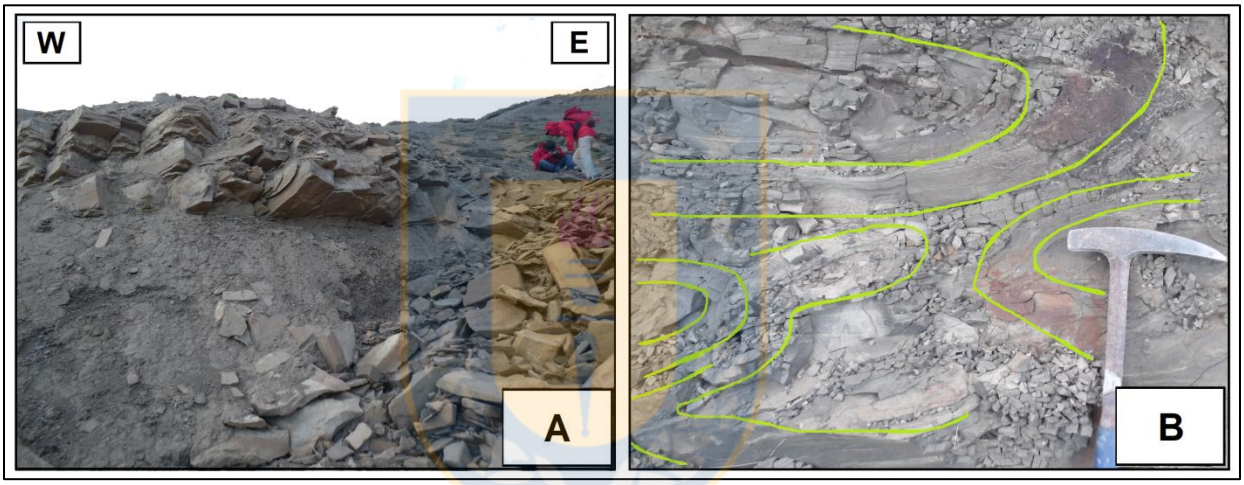


Figura 3.13. **Afloramientos y estructuras sedimentarias en columna SC11, tramo SC11-1. A:** Arenisca fangosa masiva de grano medio a fino. **B:** Pliegue sinsedimentario en fangolita arenosa.

– 8 m de tramo cubierto.

– 6,8 m de intercalación de fangolita arenosa y arenisca fangosa. La primera tiene color gris oscuro en superficie fresca y pardo claro en superficie alterada. En cuanto a su composición, sólo se identifican micas (muscovita y biotita), feldespato y líticos indiferenciados, además de restos vegetales carbonizados, en descripción macroscópica (Anexo 1, muestra SC11M8). Microscópicamente, se constituye de cuarzo, plagioclasa, máficos (piroxeno), micas (muscovita y glauconita), epidota y arcillas (Anexo 2, muestra SC11M8). Esta fangolita presenta laminación paralela y, hacia techo, un pliegue sinsedimentario o *slump* (Figura 3.13B). Posee lentes de arcillolita color amarillo parduzco a anaranjado de alteración, que efervescen intensamente. En los lentes se

reconocen algunas micas y restos vegetales (Anexo 1, muestra SC11M9). La arenisca es de grano medio a fino, similar a la arenisca de la muestra SC11M6 (Anexo 1 y 2), con espesores de 2 a 10 cm. A 1 m de la base, la potencia de la intercalación entre ambas litologías es más pareja.

Tramo SC11-2 (6 m)

- 6 m de intercalación de arenisca fangosa de grano medio a fino y arenisca fangosa de grano fino (Figura 3.14A). La primera es similar composicionalmente a la arenisca de la muestra SC11M6 (Anexo 1 y 2), con menor contenido de materia orgánica carbonizada. Tiene color gris verdoso en superficie fresca y granos principalmente subprismáticos a esféricos y subangulares a subredondeados. Está constituida por cuarzo, plagioclasa, máficos, micas, epidota, arcillas, líticos volcánicos y sedimentarios. La arenisca fangosa de grano fino es de color gris parduzco claro en superficie alterada y pardo violáceo en superficie fresca, de selección moderada, fábrica clasto soportada y granos que se caracterizan por ser subprismáticos a esféricos y subredondeados a subangulares, en su mayoría. Está compuesta de cuarzo, feldespato, máficos, micas (muscovita y biotita), arcillas y líticos indiferenciados, correspondiente a una subarcosa según la clasificación de Folk (1968). Efervesce con HCl localmente por la presencia de cemento de tipo calcáreo y es cortada por vetillas de cuarzo (Anexo 1, muestra SC11M7). Contiene abundantes restos vegetales carbonizados (Figura 3.14B), en ocasiones con forma de hojas o visibles como lentes de espesores milimétricos y longitudes variables. Presenta trazas fósiles de *Rhizocorallium* isp. (Figura 3.15A) e indeterminadas.

Tramo SC11-3 (0,5 m)

- 0,5 m de intercalación de fangolita y arenisca fangosa. La fangolita tiene laminación paralela y trazas fósiles tubulares de *Thalassinoides* isp. La arenisca fangosa es de grano medio a fino, con color de alteración pardo amarillento a violáceo y gris verdoso en superficie fresca, de selección moderada, fábrica clasto soportada y granos en general subprismáticos a esféricos y subangulares a subredondeados. Se compone de cuarzo,

plagioclasa, máficos (piroxeno), micas (muscovita y biotita), epidota, arcillas y líticos tanto volcánicos como sedimentarios, clasificando como sublitarenita según Folk (1968). Presenta cemento calcáreo, clorítico y hematítico, además de abundantes restos vegetales carbonizados y trazas fósiles tubulares simples indeterminadas (Anexo 1 y 2, muestra SC11M6).

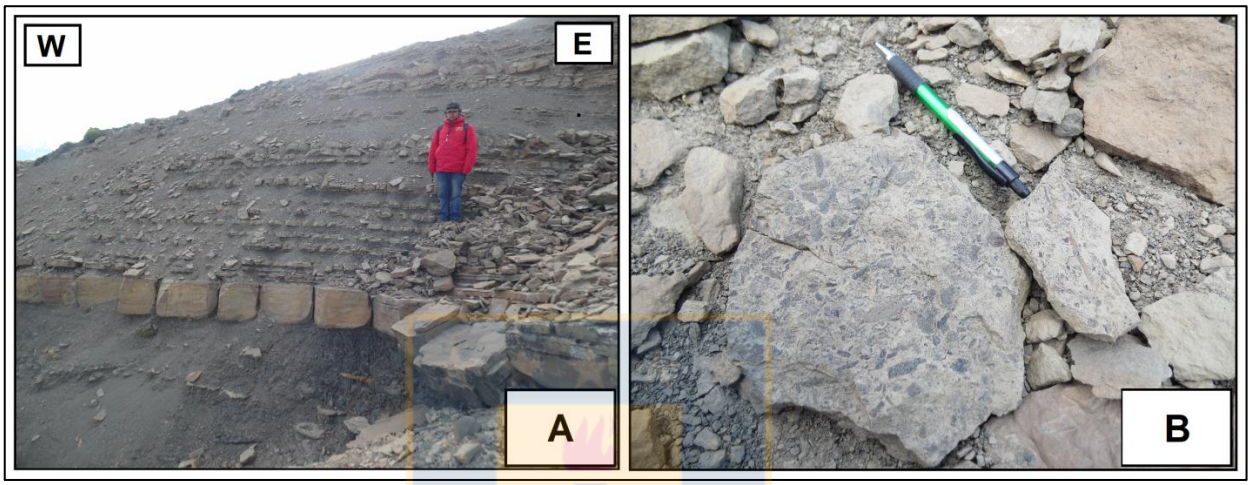


Figura 3.14. **Afloramientos y restos vegetales en arenisca de columna SC11, tramo SC11-2. A:** Intercalación de arenisca fangosa de grano medio a fino y arenisca fangosa de grano fino. **B:** Restos vegetales en arenisca fangosa fina.

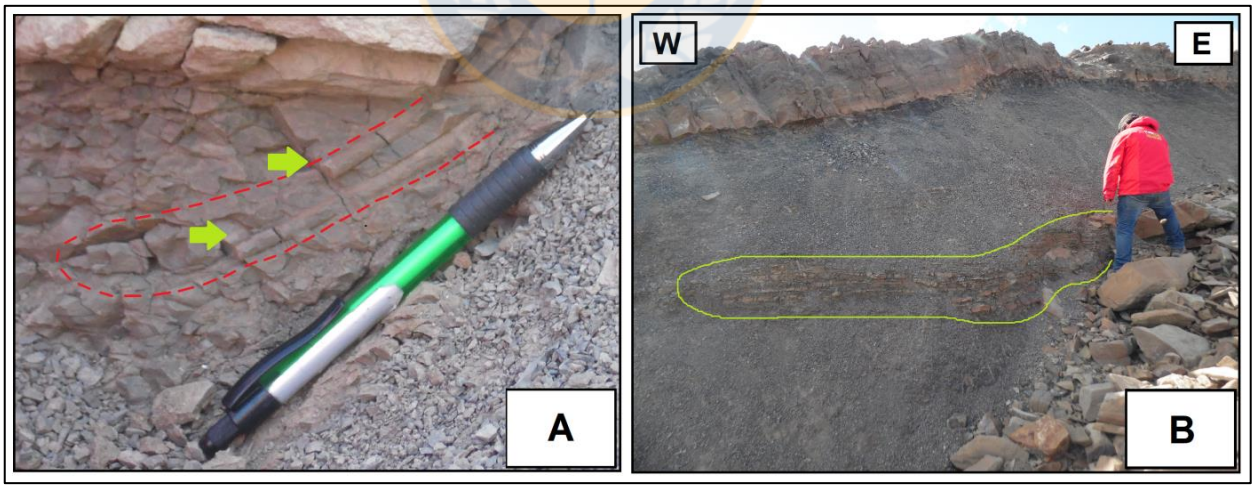


Figura 3.15. **Trazas fósiles en arenisca y lente de arenisca en fangolita de columna SC11, tramos SC11-2 y SC11-4. A:** Traza fósil de *Rhizocorallium* isp., sin conservación del *spreite*, en arenisca fangosa fina, tramo SC11-2. **B:** Lente de arenisca fangosa media a fina en fangolita, bajo capa de basalto de piroxeno, tramo SC11-4.

Tramo SC11-4 (6,95 m)

- 2 m de fangolita similar a la mencionada anteriormente, de color gris oscuro en superficie fresca y pardo a anaranjado por alteración. Efervesce con HCl y no es posible determinar su composición en descripción macroscópica (muestra de polen SC11P2). Posee laminación paralela y trazas fósiles de *Skolithos* isp., *Thalassinoides* isp. e indeterminadas. A 1,8 m del techo aproximadamente, se reconoce un lente de arenisca fangosa media a fina (Figura 3.15B), con un espesor cercano a los 50 cm y extensión lateral de varios metros.
- 0,8 m de basalto de piroxeno (Figura 3.16A), con variación de una textura ofítica o subofítica, con fenocristales de hasta 1 mm de longitud (Anexo 1 y 2, muestra SC11M4), a una porfídica, donde los fenocristales no superan los 0,3 mm (Anexo 1 y 2, muestra SC11M5). Se compone principalmente de plagioclasa y máficos (piroxeno), en menor medida magnetita, y contiene tanto vesículas como amígdalas rellenas con calcita, que no superan los 2 mm de diámetro. Se visualiza una discontinuidad con respecto a las fangolitas subyacentes, las cuales se cortan en un contacto erosivo.

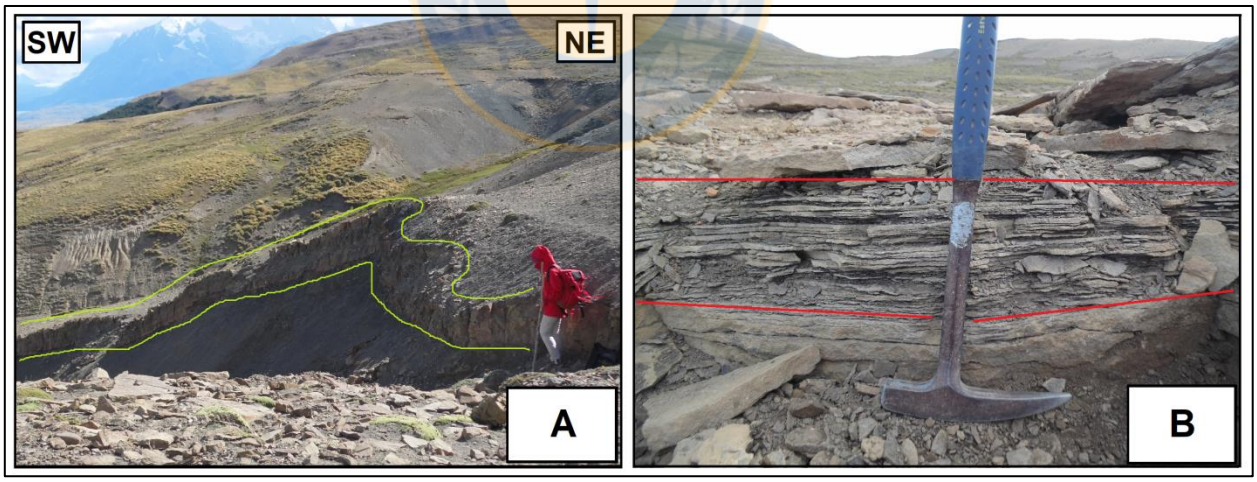


Figura 3.16. **Basalto y areniscas en columna SC11, tramos SC11-4 y SC11-5. A:** Capa basáltica de amplia extensión lateral, tramo SC11-4. **B:** Arenisca media a levemente gruesa con nivel conglomerádico (arriba), arenisca fangosa con niveles de materia orgánica (al centro) y arenisca media a fina (abajo), tramo SC11-5.

- 4,15 m de fangolita similar a las anteriormente descritas, color pardo oscuro en superficie alterada y gris oscuro en superficie fresca, en la que sólo se reconocen micas en

descripción macroscópica (muestra de polen SC11P1). Posee laminación paralela, un fósil de molde interno de bivalvo (Anexo 3, fósil SC11F2), trazas fósiles tubulares de *Thalassinoides* isp., restos vegetales carbonizados y fragmentos vegetales leñosos con aspecto de ramas (Anexo 3, fósil SC11F3), también carbonizados.

Tramo SC11-5 (0,65 m)

- 0,3 m de arenisca de grano medio a fino, color pardo amarillento en superficie alterada y gris verdoso a gris verdoso claro en superficie fresca, con buena selección, fábrica clasto soportada y granos en su mayoría esféricos a subprismáticos y subangulares a subredondeados. Se constituye de cuarzo, feldespato, ferromagnesianos, micas (muscovita y biotita), arcillas, epidota y líticos indiferenciados, clasificando como subarcosa según Folk (1968). Tiene estructuras sedimentarias de tipo estratificación paralela y materia orgánica carbonizada (Anexo 1, muestra SC11M3). Se reconoce una impronta de fragmento de hoja con venación principal gruesa, atribuida a una angiosperma (Anexo 3, fósil SC11F1).
- 0,2 m de arenisca fangosa de grano fino (Figura 3.16B), color pardo oscuro a amarillento en superficie alterada y pardo claro en superficie fresca, de buena selección, fábrica clasto soportada y granos en general subprismáticos y subangulares a subredondeados. Está constituida de cuarzo, feldespato, micas (muscovita), arcillas y líticos indiferenciados, clasificando como subarcosa según Folk (1968). Se encuentra laminada en forma paralela, posee restos vegetales muy abundantes y fragmentos leñosos. La materia orgánica es visible como niveles y, en ocasiones, como lentes de un espesor inferior a 1 mm y longitud variable milimétrica (Anexo 1, muestra SC11M2).
- 0,15 m de arenisca de grano medio a levemente grueso, de color pardo anaranjado en superficie alterada y gris verdoso claro en superficie fresca. Tiene selección moderada, fábrica clasto soportada y granos en general esféricos a subprismáticos y subangulares a subredondeados. Se compone de cuarzo, feldespato, ferromagnesianos, micas (muscovita y biotita), arcillas y líticos tanto sedimentarios como indiferenciados, concordante con una subarcosa según la clasificación de Folk (1968). Efervesce con HCl, dada la presencia de cemento calcáreo, y posee estructuras sedimentarias de tipo estratificación paralela.

Contiene restos vegetales carbonizados y clastos dispersos de fangolita, dispuestos paralelos a la estratificación. Hacia la base del estrato, aparece un nivel de conglomerado arenoso matriz soportado, cuya matriz es composicionalmente similar a la arenisca antes descrita, clasificando como litarudita cuarcífera según Folk *et al.* (1970). Este conglomerado se caracteriza por una alta concentración de clastos centimétricos de fangolita, de color gris parduzco oscuro, y escasos nódulos ferruginosos anaranjados (Anexo 1, muestra SC11M1). El espesor del nivel es de aproximadamente 5 cm.

3.2.6. Columna Sierra Contreras 12 (SC12)

Sección localizada al Oeste del área de estudio, al Este de la columna SC4 y Oeste de la columna SC3 (coordenadas inicio 18F 671.975 m E / 4.359.355 m N; coordenadas término 18F 671.882 m E / 4.359.239 m N). La secuencia tiene un espesor total de 13,35 m y se constituye de areniscas como litología predominante, variando en granulometría de fina a media-gruesa, y en menor proporción de fangolitas, ruditas arenosas y rocas ígneas de composición basáltica (Figura 3.17). El rumbo y manteo de los estratos es N82°E / 9°NW. De base a techo:

Tramo SC12-1 (4,05 m)

- 0,25 m de basalto de piroxeno, con textura porfídica, índice de color sobre 40 y fenocristales de hasta 1 mm de longitud. En cuanto a su mineralogía, incluye feldespato, máficos y magnetita. Esta litología es similar a la descrita para la columna SC11, es decir, ambas columnas son correlacionables desde este nivel.
- 0,3 m de fangolita, color pardo oscuro en superficie alterada y gris oscuro en superficie fresca. No se puede determinar su composición en descripción macroscópica, sólo se distinguen micas. Presenta laminación paralela, restos vegetales carbonizados y trazas fósiles tubulares de *Thalassinoides* isp. Es similar a la descrita en la columna anterior (SC11), sobre basalto.
- 3,5 m de tramo cubierto (probablemente fangolita).

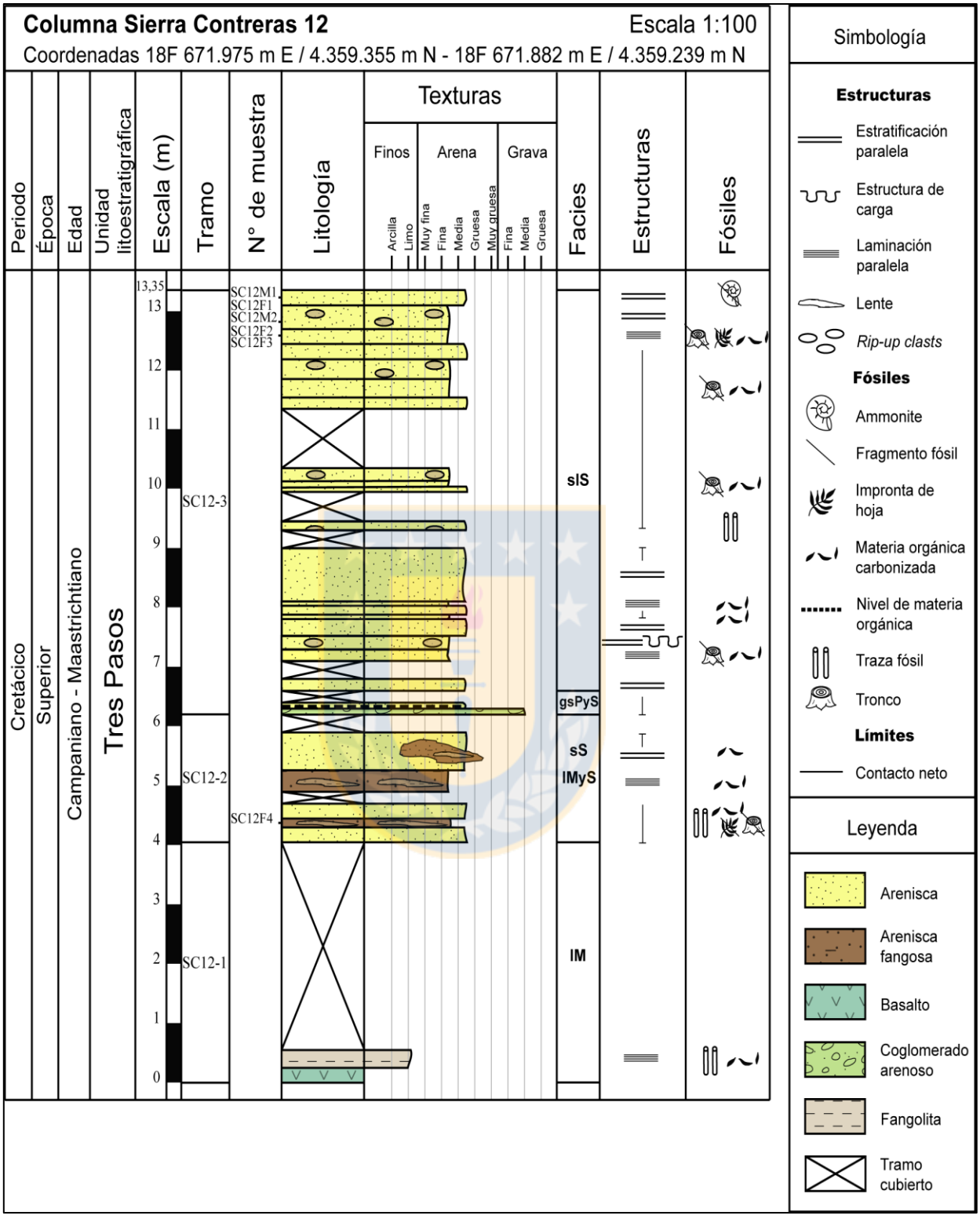


Figura 3.17. Columna Sierra Contreras 12.

Tramo SC12-2 (2,15 m)

- 0,65 m de arenisca media a levemente gruesa, similar a la arenisca de la muestra SC12M1 (Anexo 1), con estratificación paralela, escasos restos vegetales carbonizados y trazas fósiles tubulares simples indeterminadas. En medio del paquete se reconoce una arenisca fangosa media a levemente fina, color gris verdoso en superficie fresca y pardo amarillento a anaranjado de alteración. Tiene en general buena selección, fábrica clasto soportada y granos que son, en su mayoría, subangulares a subredondeados y esféricos a subprismáticos. Se conforma de cuarzo, feldespato, ferromagnesianos, micas (muscovita y biotita), arcillas y líticos indiferenciados, concordante con una subarcosa según la clasificación de Folk (1968). Efervesce débilmente con HCl debido a la presencia de cemento calcáreo y presenta laminación paralela. Incluye, además, restos vegetales tanto dispersos en la roca como concentrados en lentes fangosos (Figura 3.18A) y muy escasos clastos de fangolita. Entre la materia orgánica, se identifican improntas de fragmentos vegetales leñosos y una hoja con nervadura primaria gruesa atribuida a una angiosperma (Anexo 3, fósil SC12F4).

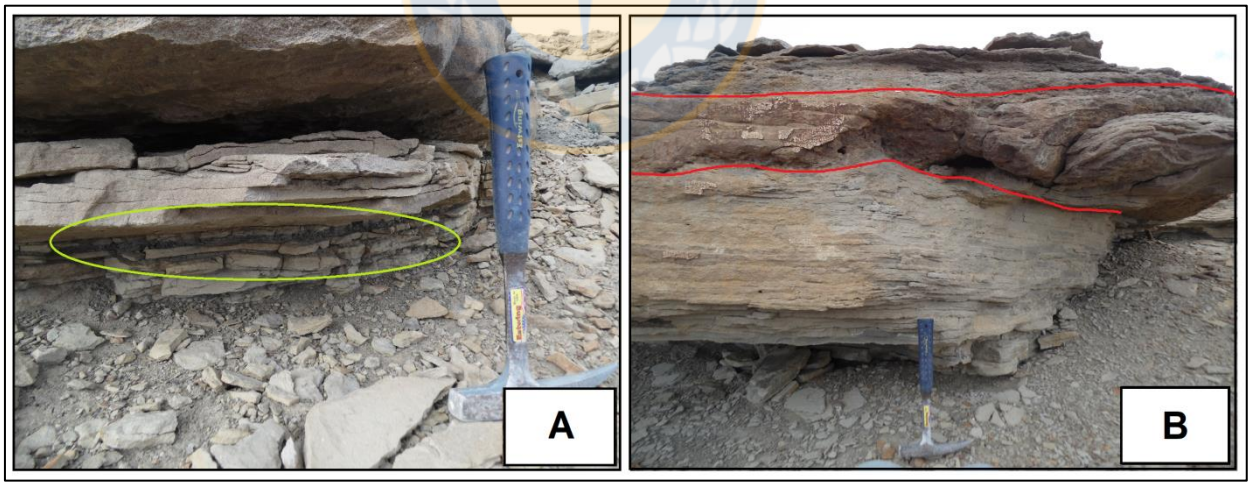


Figura 3.18. **Afloramientos de columna SC12, tramo SC12-2. A:** Arenisca fangosa media a levemente fina con lentes fangosos (más oscuro), bajo arenisca media a levemente gruesa. **B:** Intercalación de arenisca media a levemente gruesa con estratificación paralela (arriba), arenisca con clastos de fangolita (al centro) y estructuras de carga, y arenisca con restos vegetales (abajo).

- 0,2 m de tramo cubierto.

- 1 m de arenisca fangosa y arenisca. La arenisca fangosa es de grano medio a levemente fino, presenta laminación paralela y restos vegetales carbonizados, tanto en lentes de fangolita como dispersos en la roca. Su espesor no supera los 15 cm. Hacia techo, se reconoce una arenisca de grano medio a levemente grueso, con escasos restos vegetales carbonizados, similar a la muestra SC12M1 (Anexo 1). Posee estratificación paralela y lentes de arenisca fangosa que a su vez tienen lentes fangosos con materia orgánica carbonizada.
- 0,3 m de tramo cubierto.

Tramo SC12-3 (7,15 m)

- 0,2 m de conglomerado arenoso y arenisca. El conglomerado arenoso es de color pardo anaranjado en superficie alterada y gris verdoso en superficie fresca, con fábrica matriz soportada y granos en general subangulares a subredondeados y subprismáticos. Se constituye de líticos sedimentarios e indiferenciados, cuarzo, feldespato, micas (muscovita y biotita), máficos, epidota y arcillas, clasificando como litarudita cuarcífera según Folk *et al.* (1970). Posee cemento calcáreo y clastos de fangolita, su espesor es de aproximadamente 5 cm. La matriz es similar composicionalmente a la arenisca de la muestra SC12M2 (Anexo 1). La arenisca es de grano medio a levemente grueso, similar en composición a la arenisca de la muestra SC12M1 (Anexo 1), tiene estratificación paralela y niveles de restos vegetales carbonizados.
- 0,2 m de tramo cubierto
- 0,2 m de arenisca de grano medio a levemente grueso, color pardo oscuro a anaranjado en superficie alterada y gris verdoso parduzco en superficie fresca, con selección moderada y estratificación paralela. Es similar composicionalmente a la muestra SC12M1 (Anexo 1).
- 0,3 m de tramo cubierto.
- 0,7 m de intercalación de arenisca media a levemente gruesa, arenisca media a levemente fina con clastos de fangolita dispersos y arenisca media a levemente fina con abundantes restos vegetales carbonizados (Figura 3.18B), las dos primeras con estratificación paralela y la última con laminación paralela. La arenisca con clastos de fangolita está parcialmente deformada, lo cual queda en evidencia por la presencia de estructuras de carga.

- 1,2 m de arenisca de grano medio a levemente grueso, similar a la arenisca de la muestra SC12M1 (Anexo 1). Tiene color pardo oscuro a anaranjado en superficie alterada y gris verdoso parduzco en superficie fresca, moderada selección, fábrica clasto soportada y granos subangulares a subredondeados y esféricos a subprismáticos. Está constituida por cuarzo, feldespato, ferromagnesianos, micas, arcillas y líticos indiferenciados. Efervesce con HCl debido a la presencia de cemento calcáreo y presenta estructuras sedimentarias de tipo estratificación paralela. Se reconocen 2 niveles de arenisca media a fina con restos vegetales, uno cerca de la base y otro a 25 cm de la misma. Las areniscas medias a finas son de color pardo oscuro, anaranjado a amarillento de alteración y gris verdoso oscuro en superficie fresca, tienen selección moderada y granos en su mayoría subangulares y esféricos a subprismáticos. Se conforman de cuarzo, feldespato, ferromagnesianos, micas (muscovita), epidota, arcillas y líticos indiferenciados. Ambos niveles presentan laminación paralela.
- 0,3 m de tramo cubierto.
- 0,15 m de arenisca con clastos de fangolita y arenisca. En la base, se reconoce una arenisca de grano medio a levemente fino, con color gris verdoso oscuro en superficie fresca y selección moderada. Posee clastos centimétricos de fangolita y trazas fósiles verticales de *Skolithos* isp. Es similar a la arenisca de la muestra SC12M2 (Anexo 1) y su espesor es bajo, de aproximadamente 5 cm. Sobreyaciendo a esta litología, se identifica una arenisca de grano medio a levemente grueso, similar a la arenisca de la muestra SC12M1 (Anexo 1). Tiene color pardo oscuro a anaranjado por alteración y gris verdoso parduzco en superficie fresca, selección moderada, fábrica clasto soportada y granos en general subangulares a subredondeados y esféricos a subprismáticos. Se constituye de cuarzo, feldespato, máficos, micas, arcillas y líticos indiferenciados. Efervesce fuertemente con HCl debido a la presencia de cemento calcáreo y presenta estratificación paralela. Contiene clastos aislados de fangolita en cantidad casi despreciable.
- 0,5 m de tramo cubierto.
- 0,4 m de intercalación de arenisca media a levemente gruesa, arenisca media a levemente fina con clastos de fangolita y arenisca media a levemente fina con abundantes restos vegetales carbonizados. Las dos primeras areniscas tienen estratificación paralela, a diferencia de la última que tiene laminación paralela.

- 1 m de tramo cubierto.
- 2 m de intercalación de arenisca media a levemente gruesa, arenisca con clastos de fangolita y arenisca con abundantes restos vegetales carbonizados. La arenisca de grano medio a levemente grueso tiene color pardo oscuro, anaranjado a amarillento en superficie alterada y gris verdoso a gris verdoso parduzco en superficie fresca, selección moderada, fábrica clasto soportada y granos en general subangulares a subredondeados y esféricos a subprismáticos. Se conforma de líticos tanto sedimentarios como indiferenciados, cuarzo, feldespato, ferromagnesianos, micas (biotita y muscovita) y arcillas, y es clasificada como subarcosa según Folk (1968). Efervesce fuertemente con HCl, por la presencia de cemento calcáreo, y está estratificada en forma paralela (Anexo 1, muestra SC12M1). Hacia la base, se encuentra como rodado un fragmento de molde interno del ammonite *Hoplitoplacenticeras plasticum*, cuya litología coincide con la de dicha muestra (Anexo 3, fósil SC12F1). La arenisca con clastos centimétricos de fangolita es de grano medio a levemente fino. Presenta color pardo anaranjado en superficie alterada y gris verdoso oscuro en superficie fresca, selección moderada, fábrica clasto soportada y granos principalmente subangulares a subredondeados y subprismáticos, en menor medida esféricos. Se constituye de líticos sedimentarios e indiferenciados, cuarzo, feldespato, máficos, micas (muscovita y biotita), epidota y arcillas, y es clasificada como sublitarenita según Folk (1968). Efervesce fuertemente con HCl debido a la presencia de cemento calcáreo y se encuentra estratificada en forma paralela, de la misma manera que la anterior. Los clastos de fangolita se caracterizan por estar dispersos en la roca o parcialmente concentrados en niveles, dispuestos paralelos a la estratificación, y tienen una longitud que varía entre 1 a 4 cm y un espesor de 1 cm o menos. La potencia promedio de esta roca es de aproximadamente 5 cm (Anexo 1, muestra SC12M2). La arenisca con contenido de restos vegetales destacable tiene tamaño de grano medio a levemente fino, más fino que las rocas anteriores. Es de color gris verdoso oscuro en superficie fresca mientras que en superficie alterada se ve de tonos pardo oscuro, anaranjado a amarillento. La selección es moderada, la fábrica clasto soportada y los granos son en general subangulares y esféricos a subprismáticos. Se compone de cuarzo, feldespato, ferromagnesianos, micas (muscovita), epidota, arcillas y líticos indiferenciados, clasificando como subarcosa según Folk (1968). Efervesce con HCl

debido a la presencia de cemento calcáreo y posee estructuras sedimentarias de tipo laminación paralela. Entre los restos vegetales, algunos visibles como lentes de menos de 1 mm de espesor, se distingue una impronta de hoja alargada con nervadura primaria marcada, conferida a la familia Podocarpaceae (Anexo 3, fósil SC12F2), y fragmentos leñosos (Anexo 3, fósil SC12F3). Esta intercalación es similar a las mencionadas previamente.

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE FACIES

4.1. Descripción de Facies

El término facies se entiende como el conjunto de características litológicas (composición, textura y estructuras) y paleontológicas que definen una roca estratificada, lo que permite diferenciarla de las demás; propiedades respecto de las cuales puede ser deducido un origen y ambiente de formación (Teichert, 1958 en Vera, 1994).

Se definen un total de 7 facies y 12 "subfacies" (Tabla 4.1), cuya determinación usa como apoyo los criterios de descripción de Ghibaudo (1992), aplicables a depósitos por flujos de gravedad. En esta clasificación, las facies son definidas en función de la litología y son delimitadas por diferentes "subfacies" (término informal), basándose en las estructuras sedimentarias de ordenamiento interno más significativas. Para la interpretación de los procesos depositacionales se tienen en consideración, igualmente, los trabajos de Lowe (1982), Pickering *et al.* (1986) y Mutti (1992).

4.1.1. Facies de arenisca (S)

Subfacies de arenisca masiva (mS)

Comprenden a areniscas medias, en la columna SC1, o medias a levemente finas, en la columna SC4. Son masivas (Figura 4.1A), de color gris verdoso a gris verdoso oscuro, con buena a moderada selección y granos mayoritariamente subangulares y esféricos.

En el tramo SC1-1, poseen materia orgánica carbonizada, visible ya sea como lentes inferiores a 1 mm de espesor o como niveles milimétricos, además de trazas fósiles de *Taenidium* isp. En el tramo SC4-1, las areniscas contienen escasa materia orgánica carbonizada dispersa.

Las facies de arenisca se reconocen en los tramos SC1-1, SC4-1 y SC4-3. Su potencia es variable, no superando el metro.

Tabla 4.1. **Facies sedimentarias con su respectivo código y características.** Modificado de Ghibaudo (1992).

Código	Facies	Prefijo	Estructura sedimentaria	Procesos depositacionales
S	Arenisca	**m**	Masiva	Depósitos por colapso de corrientes de turbidez de alta densidad. "Turbiditas proximales".
		s	Estratificación paralela	
		sl	Estratificación paralela y laminación paralela	
M	Fangolita	**l**	Laminación paralela	Depósitos directos de sedimentos en suspensión derivados de corrientes de turbidez de baja densidad.
		m	Masiva	Depositación rápida de sedimentos resultantes de corrientes de turbidez diluidas o depósitos hemipelágicos con un mínimo de desplazamiento lateral.
SM	Alternancia de areniscas y fangolitas, con dominio de areniscas	**sl**	Estratificación paralela y laminación paralela	Depósitos de corrientes de turbidez de alta densidad.
MS	Alternancia de areniscas y fangolitas, con dominio de fangolitas	**sl**	Estratificación paralela y laminación paralela	Depósitos de corrientes de turbidez de baja densidad. "Turbiditas distales".
PyS	Arenisca con grava	**gs**	Gradación y estratificación paralela	Depositación rápida de la fracción más gruesa de una corriente de turbidez de alta densidad.
SyM	Fangolita arenosa	**l**	Laminación paralela	Depositación rápida de corrientes de turbidez de alta densidad.
MyS	Arenisca fangosa	**l**	Laminación paralela	Depositación rápida de corrientes de turbidez de alta densidad.
		m	Masiva	
		s	Estratificación paralela	

Interpretación: Depositación a partir del colapso de corrientes de turbidez de alta densidad (Lowe, 1982). Las capas masivas revelan una rápida sedimentación en masa por congelamiento friccional (*frictional freezing*), derivada de la dispersión de arena concentrada (Ghibaudo, 1992).

Subfacies de arenisca con estratificación paralela (sS)

Consisten en areniscas medias a finas, en la columna SC11, o medias a levemente gruesas, en la columna SC12. Tienen color gris verdoso o gris verdoso claro a parduzco, selección buena a

moderada y granos mayoritariamente subangulares y esféricos. Adicionalmente, presentan estructuras sedimentarias de tipo estratificación paralela.

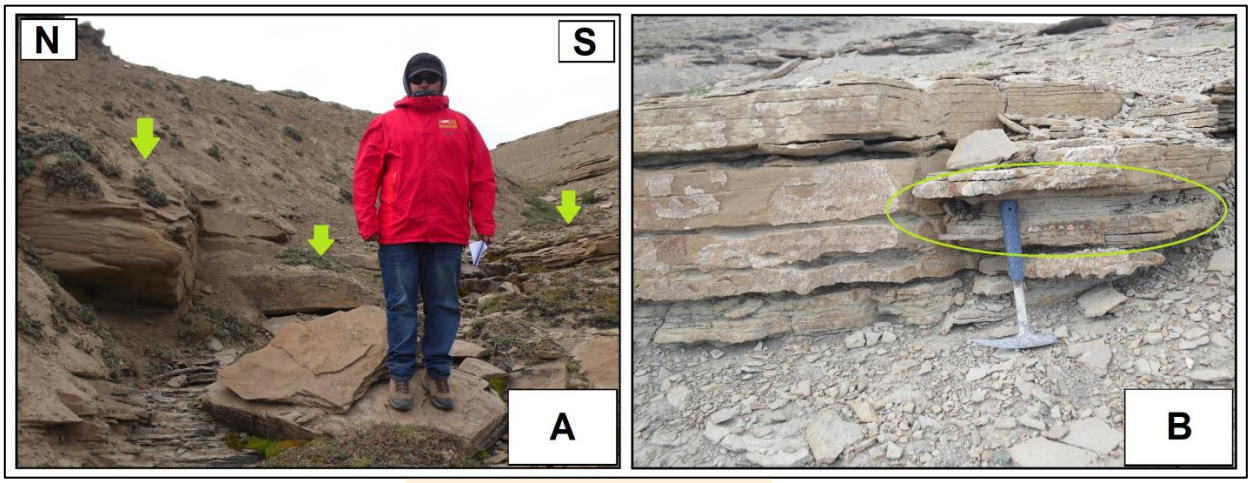


Figura 4.1. **Facies de arenisca, subfacies de arenisca masiva y arenisca con estratificación paralela. A:** Arenisca masiva, señalada en verde, de columna SC4. **B:** Arenisca con estratificación paralela y un lente de arenisca fangosa (encerrado en verde), en columna SC12.

En el tramo SC11-5, las areniscas poseen, en cantidad moderada, restos vegetales dispersos, carbonizados u oxidados, entre los cuales se reconoce una impronta de angiosperma, caracterizadas por una venación principal gruesa. En el tramo SC12-2, los restos vegetales son escasos y, además, las areniscas presentan trazas fósiles de tubos simples indeterminados y lentes de arenisca fangosa de grano medio a levemente fino, de varios centímetros de extensión lateral (Figura 4.1B).

Estas facies se describen en los tramos SC11-5 y SC12-2. Su espesor es inferior a 1 m.

Interpretación: Depositación por sucesivos congelamientos (*freezing*) de finas alfombras de tracción, en la base de corrientes de turbidez altamente concentradas (Pickering *et al.*, 1986; Ghibaudo, 1992).

Subfacies de arenisca con estratificación y laminación paralela (slS)

Corresponden, en la columna SC3, a areniscas que, hacia techo, se caracterizan por ser de grano fino, con color gris verdoso oscuro a gris verdoso parduzco, buena a moderada selección y

estructuras sedimentarias de tipo estratificación paralela. Hacia la base, las areniscas son de grano medio, color gris verdoso, con selección moderada y estructuras sedimentarias de tipo laminación paralela (Figura 4.2A). Los granos, en ambas litologías, son principalmente subangulares a subredondeados y subprismáticos. En la columna SC12, en cambio, consisten en areniscas medias, levemente gruesas, que varían a levemente finas hacia techo. Asimismo varían sus estructuras, pasando de estratificación paralela a laminación paralela. Tienen selección moderada, color gris verdoso a gris verdoso parduzco u oscuro y granos en general subangulares y esféricos a subprismáticos. En el cambio de granulometría media-gruesa a media-fina, se reconocen estructuras de carga.

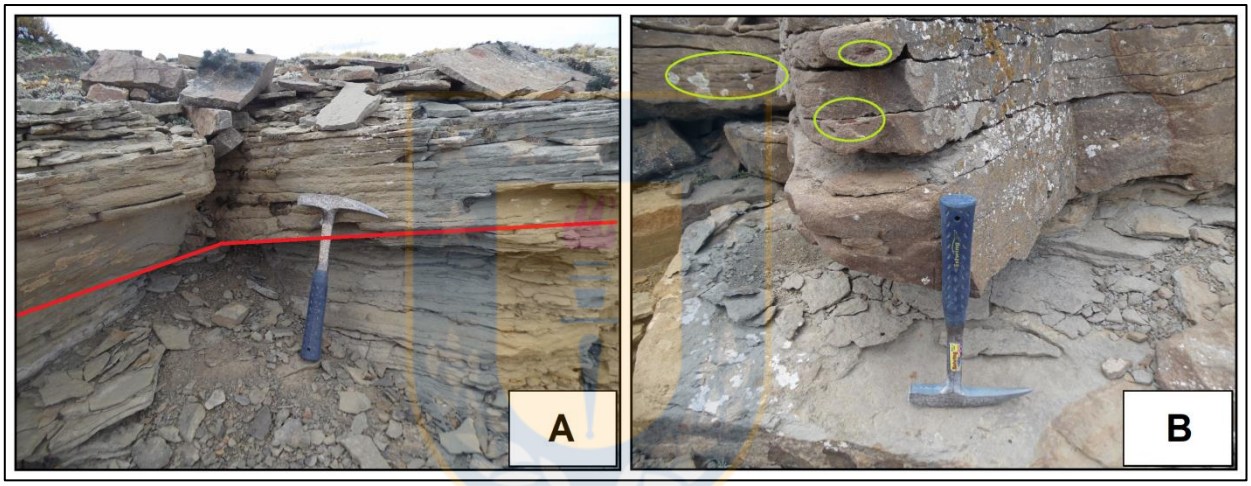


Figura 4.2. **Facies de arenisca, subfacies de arenisca con estratificación y laminación paralela. A:** Arenisca con estratificación paralela (arriba) y laminación paralela (abajo), de columna SC3. **B:** Afloramiento de areniscas con estratificación paralela (arriba) y laminación paralela (abajo), de columna SC12. Encerrados en verde, se indican los clastos de fangolita (*rip-up clasts*).

En el tramo SC3-2, presentan escasos lentes de materia orgánica carbonizada, de menos de 1 mm de espesor, mientras que en el tramo SC3-3, la materia orgánica se visualiza en niveles de apenas unos milímetros de espesor.

En la columna SC12, las areniscas contienen un fragmento de molde interno del ammonite *Hoplitoplacentiras plasticum*, trazas fósiles de *Skolithos* isp. y restos vegetales carbonizados u oxidados, dispersos en la roca o como lentes milimétricos, que se hacen más numerosos hacia las areniscas con laminación paralela. Entre la materia orgánica, destaca una impronta de podocarpácea y fragmentos leñosos. Son frecuentes los *rip-up clasts* de fangolita (Figura 4.2B)

orientados paralelos a la estratificación, ya sea dispersos en la roca o concentrados parcialmente en niveles. Estos clastos alcanzan cerca de 1 cm o menos de espesor y 1 a 4 cm de longitud.

Las areniscas con estratificación y laminación se identifican en la columna SC3 y el tramo SC12-3. La potencia total de estas facies varía entre centimétrica a métrica.

Interpretación: Depositación a partir del colapso de corrientes de turbidez arenosas de alta densidad (Lowe, 1982). La estratificación paralela indica depositación por sucesivos congelamientos (*freezing*) de finas alfombras de tracción. La laminación paralela evidencia tracción sumada a depositación por caída de arena en condiciones de lecho plano y régimen de flujo alto (Pickering *et al.*, 1986; Ghibaudo, 1992).

4.1.2. Facies de fangolita (M)

Subfacies de fangolita con laminación paralela (lM)

Comprenden a fangolitas color gris oscuro, con laminación paralela y materia orgánica carbonizada dispersa en la roca. En el tramo SC11-4, intercalada entre dos paquetes de fangolita de potencia métrica, se reconoce una capa de basalto de piroxeno con cerca de 80 cm de espesor (Figura 4.3A), de textura porfídica a ofítica o subofítica, en contacto erosivo con el estrato subyacente (Figura 4.3B). Hacia la base de la fangolita, aflora un lente de arenisca fangosa media a fina con cerca de 50 cm de espesor y metros de extensión lateral. En el tramo SC12-1, se identifica igualmente una capa basáltica de textura porfídica, con un espesor de 25 cm.

Las fangolitas contienen trazas fósiles de *Thalassinoides* isp. y *Skolithos* isp. (Figura 4.4A), entre otras trazas indeterminadas (Figura 4.4B), además de bivalvos indeterminados y fragmentos leñosos con aspecto de ramas.

Se reconocen las facies de fangolita en los tramos SC11-3, SC11-4 y SC12-1. Su espesor es muy variable, abarcando un rango entre menos de 50 cm y cerca de los 4 m.

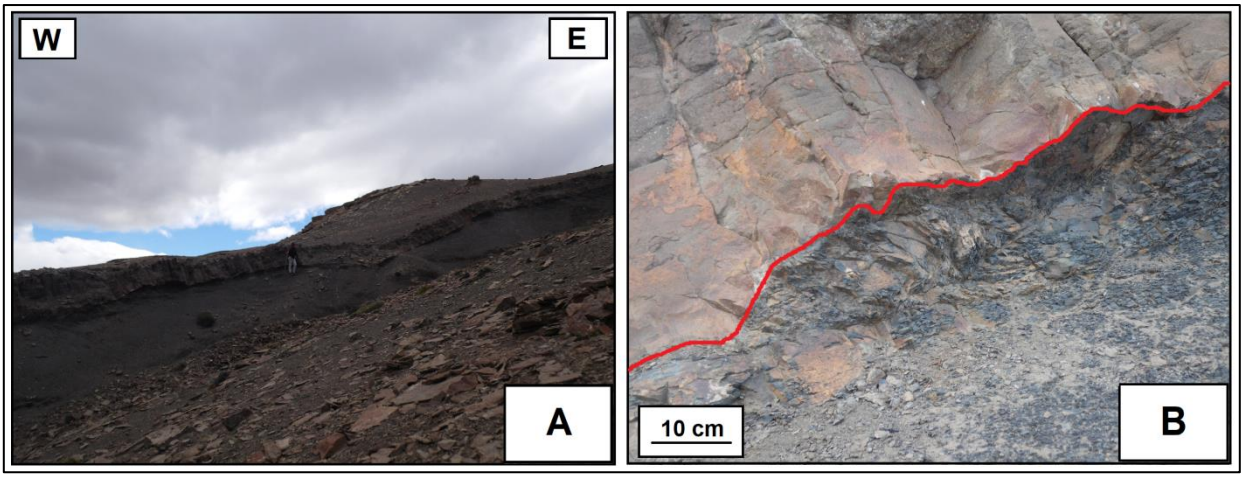


Figura 4.3. **Basalto en facies de fangolita, subfacies de fangolita con laminación paralela. A:** Afloramientos potentes de fangolitas laminadas de columna SC11. Al centro, destaca una capa basáltica. **B:** Contacto erosivo entre basalto y fangolitas alteradas.

Figura 4.4. **Trazas fósiles en fangolita. A:** Trazas fósiles de *Skolithos* isp. **B:** Trazas fósiles indeterminadas.

Interpretación: Depositación directa de sedimentos en suspensión, derivados de corrientes de turbidez fangosas de baja densidad, con algunos efectos de tracción antes o durante la depositación, lo cual produce laminación fina (Lowe, 1982; Pickering *et al.*, 1986).

Subfacies de fangolita masiva (mM)

Corresponden a fangolitas masivas de color gris oscuro, con escasos restos vegetales carbonizados dispersos y lentes de arcillolita de color anaranjado.

Las facies de fangolitas masivas (Figura 4.5A) se describen en el tramo SC1-1. Su potencia es métrica, variando entre los 3 y 6 m.

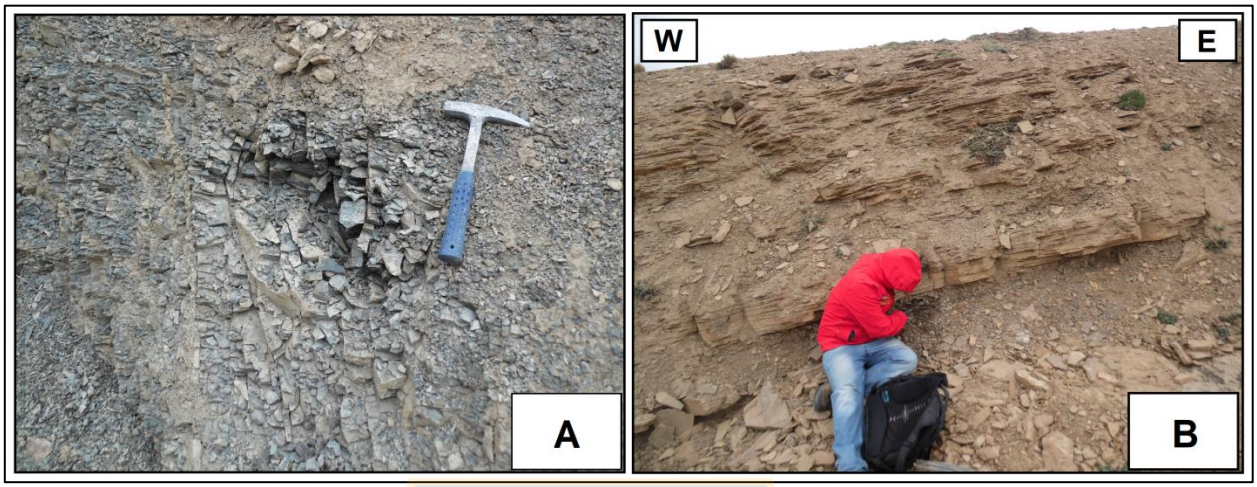


Figura 4.5. **Facies de fangolita, subfacies de fangolita masiva, y facies de alternancia de areniscas y fangolitas, con dominio de areniscas. A:** Fangolitas masivas, muy fracturadas, de columna SC1. **B:** Afloramiento de areniscas y fangolitas, con predominancia de areniscas, de columna SC1.

Interpretación: Depositación relativamente rápida de sedimento fino derivado de corrientes turbidíticas fangosas diluidas, o depósitos hemipelágicos con un mínimo de desplazamiento lateral, producto de corrientes oceánicas profundas o procesos de deslizamiento (Pickering *et al.*, 1986).

4.1.3. Facies de alternancia de areniscas y fangolitas, con dominio de areniscas (SM)

<u>Subfacies de areniscas y fangolitas con estratificación y laminación paralela (slSM)</u>

Consisten en areniscas finas de color pardo violáceo a pardo violáceo claro, en la columna SC1, o areniscas medias, levemente gruesas, de color gris verdoso claro a oscuro, en la columna SC2. Tienen buena a moderada selección y granos predominantemente esféricos y subangulares a subredondeados. Presentan estructuras sedimentarias de tipo estratificación paralela y, en el tramo SC1-2, incluyen glauconita dentro de su composición. Su espesor es muy variable, entre los 4 cm y 1,4 m.

En la columna SC1, se reconoce escasa a moderada cantidad de restos vegetales carbonizados dispersos, algunos visibles como lentes inferiores a 1 mm de espesor. En el tramo SC1-2, la materia orgánica también se concentra en niveles fangosos y, por otro lado, las areniscas poseen trazas fósiles de *Skolithos* isp. y *Palaeophycus* isp. En la columna SC2, contienen niveles de materia orgánica carbonizada de apenas unos milímetros de espesor, trazas fósiles indeterminadas de tubos simples, un molde interno del ammonite *Hoplitoplacenticeras plasticum*, fragmentos de troncos y, localmente, nódulos ferruginosos oxidados y clastos de fangolita. Los clastos son de aproximadamente 2 cm de longitud, redondeados y orientados paralelos a la estratificación, algunos concentrados parcialmente en niveles.

Las fangolitas son de color gris oscuro y tienen estructuras sedimentarias de tipo laminación paralela. Pueden contener restos vegetales carbonizados y trazas fósiles de *Skolithos* isp. En la columna SC2 incluyen, en su mayoría, lentes de arenisca media a levemente gruesa de 3 a 5 mm de espesor y longitud centimétrica. Su espesor varía entre apenas unos milímetros y 25 cm.

Estas facies (Figura 4.5B y 4.6A) se identifican en los tramos SC1-2, SC1-4 y SC2-1.

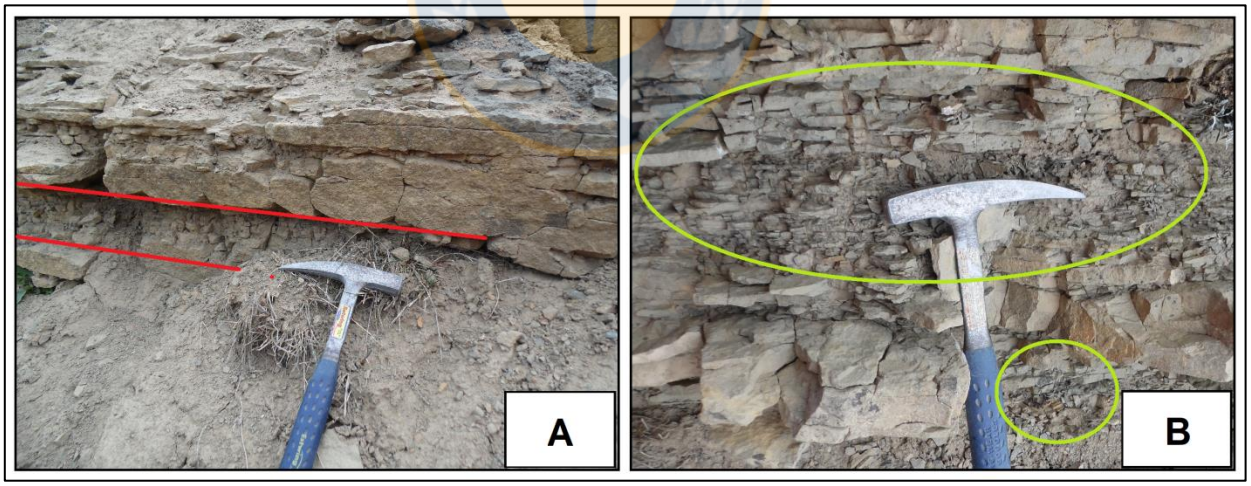


Figura 4.6. **Facies de alternancia de areniscas y fangolitas. A:** Alternancia de arenisca y fangolitas, con dominio de areniscas, en columna SC1. Limitado en rojo, se destaca un estrato de fangolita. **B:** Alternancia de arenisca y fangolitas, con dominio de fangolitas, en columna SC1. Encerrados en verde, se indican los estratos de fangolita.

Interpretación: Depósitos de corrientes de turbidez de alta densidad (Pickering *et al.*, 1986). La estratificación paralela en areniscas es indicativa de una depositación por sucesivos

congelamientos (*freezing*) de finas alfombras de tracción, mientras que la laminación paralela en fangolitas evidencia tracción sumada a depositación por caída del sedimento fino (Ghibaudo, 1992).

4.1.4. Facies de alternancia de areniscas y fangolitas, con dominio de fangolitas (MS)

Subfacies de areniscas y fangolitas con estratificación y laminación paralela (slMS)

Corresponden a areniscas finas de color pardo violáceo, con buena selección y granos mayoritariamente esféricos y subangulares. Tienen estructuras sedimentarias de tipo estratificación paralela e incluyen una cantidad moderada de restos vegetales carbonizados, algunos visibles como lentes con menos de 1 mm de espesor. Su potencia varía entre 2 y 6 cm.

Las fangolitas son de color gris oscuro y presentan estructuras sedimentarias de tipo laminación paralela. Pueden contener restos vegetales carbonizados y su espesor es centimétrico.

Las facies de areniscas y fangolitas, con predominancia de fangolitas (Figura 4.6B), se describen en el tramo SC1-3.

Interpretación: Depositación a partir de corrientes de turbidez de baja densidad (Pickering *et al.*, 1986). Se produce una desaceleración del flujo y el paso de sedimentos desde suspensión a carga de lecho, con una subsecuente sedimentación por tracción y depositación directa (Lowe, 1982).

4.1.5. Facies de arenisca con grava (PyS)

Subfacies de arenisca con grava gradada y estratificación paralela (gsPyS)

Comprenden a conglomerados arenosos, de 1 a 5 cm de espesor (Figura 4.7A), matriz soportados y con una moderada concentración de clastos de fangolita. Los clastos son redondeados, de color gris parduzco oscuro a gris oscuro, se disponen paralelos a la estratificación y su longitud varía entre 1 a 4 cm. Adicionalmente, pueden contener escasos nódulos ferruginosos redondeados.

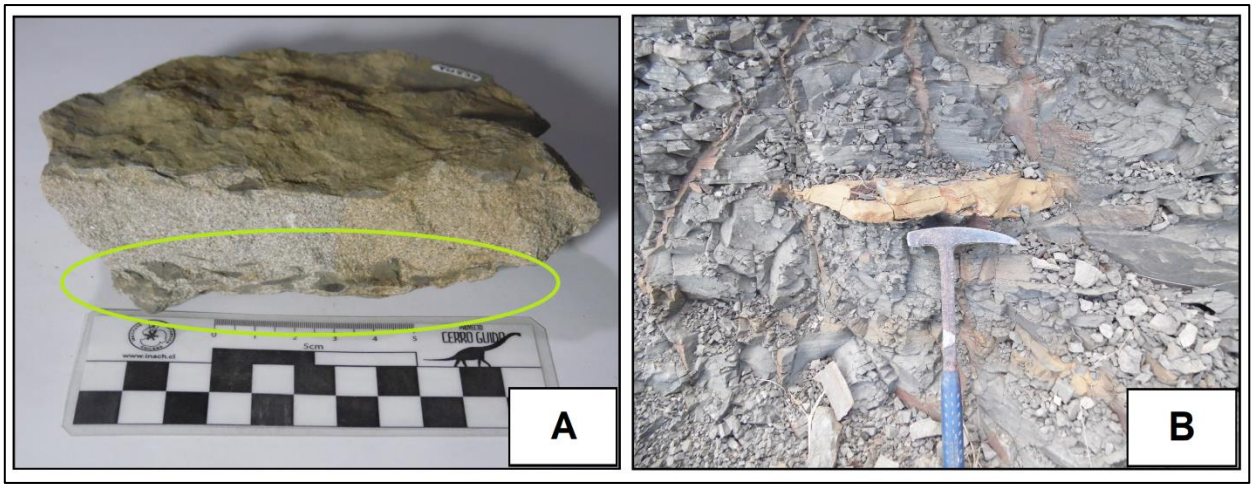


Figura 4.7. **Nivel conglomerádico y lente de arcillolita. A:** Pequeño nivel conglomerádico arenoso (encerrado en verde), que grada a arenisca, muestra SC2M2. **B:** Lente de arcillolita en fangolita arenosa laminada, columna SC11.

Los conglomerados gradan a areniscas, cuya composición es coincidente con la matriz de éstos, de grano fino y color pardo violáceo, en la columna SC1, o grano medio a levemente grueso y color gris verdoso a gris verdoso claro, en las columnas SC2, SC11 y SC12.

Las areniscas tienen selección buena a moderada, granos en general subangulares a subredondeados y esféricos a subprismáticos, y estructuras sedimentarias de tipo estratificación paralela. En la columna SC1, poseen escasos nódulos ferruginosos oxidados, clastos dispersos de fangolita de entre 2 a 4 cm de longitud, trazas fósiles de *Palaeophycus* isp. y restos vegetales carbonizados visibles en niveles o, en algunos casos, como lentes de menos de 1 mm de espesor y longitud variable. En la columna SC2, se identifican niveles milimétricos de materia orgánica carbonizada, escasos nódulos ferruginosos oxidados y clastos de fangolita dispersos, de 1 a 4 cm de longitud. En la columna SC11, contienen materia orgánica carbonizada y clastos dispersos de fangolita, y en la columna SC12, la materia orgánica se concentra en niveles.

Estas facies son visibles en los tramos SC1-4, SC2-1, SC11-5 y SC12-3. Su espesor varía entre 15 cm y 1,6 m.

Interpretación: Depositación de la fracción más gruesa en suspensión, desde una corriente de turbidez altamente concentrada. Inicialmente, la depositación es tan rápida que no tiene lugar un

transporte por tracción. En niveles superiores del flujo, los granos se transportan como carga de lecho para formar estratificación antes del enterramiento (Pickering *et al.*, 1986).

4.1.6. Facies de fangolita arenosa (SyM)

Subfacies de fangolita arenosa con laminación paralela (lSyM)

Corresponden a fangolitas color gris oscuro, con laminación paralela, que incluyen una cantidad considerable de granos tamaño arena. En descripción microscópica, se reconoce glauconita entre su composición.

Hacia el techo, las fangolitas exhiben un pliegue sinsedimentario o *slump* y lentes de arcillolita de color amarillo parduzco a anaranjado (Figura 4.7B). Presentan, además, trazas fósiles de *Thalassinoides* isp. y restos vegetales carbonizados.

Se describen estas facies en el tramo SC11-1 y su espesor varía entre centimétrico a métrico.

Interpretación: Depositación rápida a partir de corrientes de turbidez fangosas de alta densidad (Pickering *et al.*, 1986), con poca eficiencia para la selección del sedimento. La laminación paralela evidencia tracción sumada a depositación por caída de sedimento fino (Ghibaudo, 1992).

4.1.7. Facies de arenisca fangosa (MyS)

Subfacies de arenisca fangosa con laminación paralela (lMyS)

Consisten en areniscas de grano fino que se caracterizan por tener color pardo claro, en la columna SC11 (Figura 4.8A), o areniscas de grano medio a levemente fino de color gris verdoso, en la columna SC12. Tienen selección buena y granos en su mayoría subprismáticos a esféricos y subangulares. Poseen un contenido considerable de granos tamaño fango y estructuras sedimentarias de tipo laminación paralela.

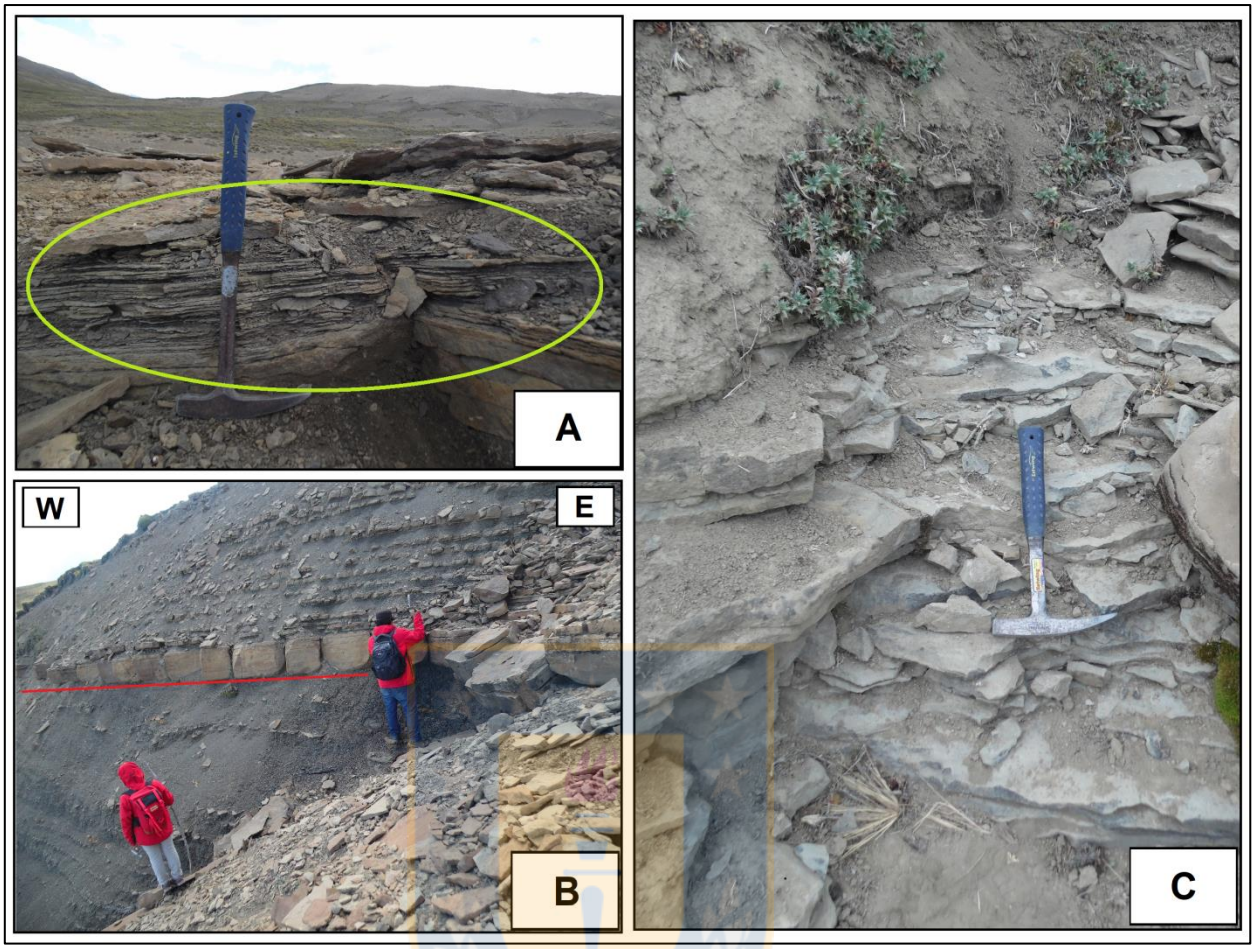


Figura 4.8. **Facies de arenisca fangosa. A:** Encerradas en verde, areniscas fangosas laminadas de columna SC11. **B:** Afloramiento de areniscas fangosas masivas finas y medias, sobre línea roja. Bajo la línea, intercalan areniscas fangosas masivas y fangolitas arenosas laminadas. **C:** Areniscas fangosas, con estratificación paralela, de columna SC4.

Estas areniscas contienen abundantes restos vegetales carbonizados, algunos visibles como lentes de menos de 1 mm de espesor y longitud variable milimétrica, además de fragmentos leñosos. La materia orgánica se encuentra dispersa en la roca o bien concentrada en niveles o lentes fangosos. En la columna SC12, contienen muy escasos clastos de fangolita, de 2 cm de longitud, y se reconocen improntas de hojas indeterminadas y un fragmento de hoja de angiosperma.

Las areniscas fangosas se identifican en los tramos SC11-5 y SC12-2. Su potencia es baja, centimétrica.

Interpretación: Depositación rápida a partir de corrientes fangosas de alta densidad (Pickering *et al.*, 1986), con poca eficiencia para la selección del sedimento. La laminación paralela evidencia

tracción sumada a depositación por caída de arena en condiciones de lecho plano y régimen de flujo alto (Pickering *et al.*, 1986; Ghibaudo, 1992).

Subfacies de arenisca fangosa masiva (mMyS)

Consisten en areniscas de grano medio a fino, masivas (Figura 4.8B), con una considerable cantidad de granos tamaño fango. Tienen un color gris verdoso, en el caso de las de grano medio, y pardo violáceo, en el caso de las de grano fino, además de moderada selección y granos mayoritariamente subangulares a subredondeados y subprismáticos.

Las areniscas fangosas poseen trazas fósiles de *Rhizocorallium* isp., en el tramo SC11-2, y de tubos simples indeterminados. Contienen restos vegetales carbonizados dispersos en la roca, algunos visibles como lentes de menos de 1 mm de espesor y longitud variable milimétrica, que varían en abundancia disminuyendo hacia la base. La materia orgánica es más frecuente en las areniscas más finas.

Las facies de areniscas fangosas medias a finas se reconocen en los tramos SC11-1, SC11-2 y SC11-3. Su potencia es variable, centimétrica a métrica.

Interpretación: Depositación rápida a partir de corrientes de turbidez fangosas de alta densidad (Pickering *et al.*, 1986), con poca eficiencia para la selección del sedimento. Las capas masivas revelan una rápida sedimentación en masa por congelamiento friccional (*frictional freezing*), derivada de la dispersión de arena altamente concentrada (Ghibaudo, 1992).

Subfacies de arenisca fangosa con estratificación paralela (sMyS)

Corresponden a areniscas de grano medio a fino (Figura 4.8C), color gris verdoso claro, con buena selección y granos principalmente subredondeados y esféricos. Tienen un porcentaje considerable de granos tamaño fango y estructuras sedimentarias de tipo estratificación paralela.

Estas facies contienen lentes de fangolita de pocos centímetros de longitud en el tramo SC4-2 y, además, niveles milimétricos de materia orgánica carbonizada, con forma de hojas y ramas, los cuales son más abundantes hacia la parte superior.

Las areniscas fangosas se identifican en los tramos SC4-1 y SC4-2. Su espesor varía entre los 30 cm y 1,6 m.

Interpretación: Depositación rápida a partir de corrientes fangosas de alta densidad (Pickering *et al.*, 1986), con poca eficiencia para la selección del sedimento. La estratificación paralela es indicativa de una depositación por sucesivos congelamientos (*freezing*) de finas alfombras de tracción, en la base de corrientes de turbidez altamente concentradas (Pickering *et al.*, 1986; Ghibaudo, 1992).

4.2. Asociación de Facies

Dado que una facies individual puede tener poco valor en una interpretación genética, se establecen asociaciones de facies, las cuales consisten en la distribución ordenada de varias facies genéticamente relacionadas y que se encuentran juntas (Vera, 1994). Son definidas un total de 6 asociaciones con su respectiva interpretación, teniendo en cuenta su distribución vertical.

4.2.1. Asociación 1: Fangolitas arenosas laminadas intercaladas con areniscas fangosas masivas

Asociación integrada por las subfacies lSyM y mMyS, pertenecientes al tramo SC11-1. Comprenden a fangolitas arenosas color gris oscuro, con laminación paralela, que presentan glauconita, restos vegetales carbonizados dispersos y trazas fósiles de *Thalassinoides* isp. Además, incluyen un pliegue sinsedimentario (*slump*) y lentes de arcillolita. Estas fangolitas arenosas intercalan con areniscas de grano medio a fino (Figura 4.9A), masivas, que poseen trazas fósiles de tubos simples y escasa materia orgánica carbonizada dispersa.

La potencia total de esta secuencia es de 34,8 m.

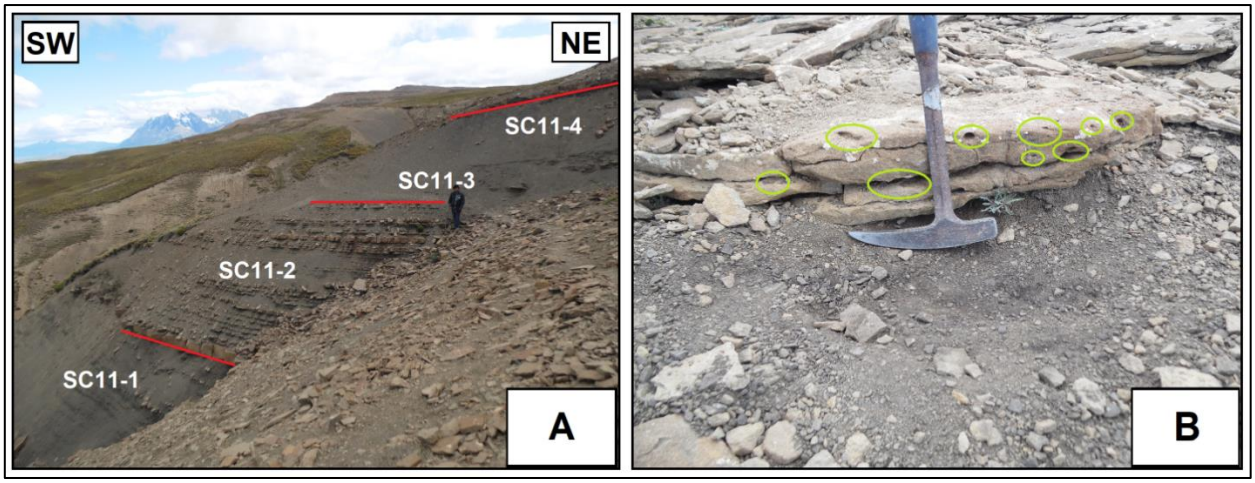


Figura 4.9. **Afloramientos de las asociaciones 1, 2 y 3, y *rip-up clasts*. A:** Desde la base, afloramientos de las asociaciones 1, 2 y 3 respectivamente (delimitados por las líneas marcadas en rojo). Sobre la línea roja superior, se distingue la capa de basalto mencionada en la asociación 3. **B:** *Rip-up clasts* de fangolita (encerrados en verde) en la asociación 4.

Interpretación

Las areniscas fangosas y fangolitas arenosas reflejan depositación rápida a partir de corrientes de turbidez fangosas de alta densidad (Pickering *et al.*, 1986). El pliegue sinsedimentario es indicativo de la ocurrencia de un deslizamiento subacuático, a través de una pendiente, de una masa de estratos previamente depositados.

Las trazas fósiles de *Thalassinoides* isp., pertenecientes comúnmente a la icnofacies de *Skolithos*, están asociadas a sedimentos arenosos y fangosos, bien seleccionados, sujetos a abrupta erosión o depositación. Si bien típicamente se presentan en el *foreshore* y *shoreface* medio a superior, también pueden asociarse a otros ambientes que exhiben condiciones depositacionales similares, como sistemas turbidíticos profundos (Buatois *et al.*, 2002).

La aparición de materia orgánica carbonizada dispersa, sugiere que se trata de turbiditas extracuencales producidas por flujos hiperpícnicos, compuestos por una mezcla de elementos continentales e intracuencales (Zavala *et al.*, 2014). La glauconita es generalmente diagnóstica de un ambiente sedimentario marino somero, pero puede ser incorporada por el flujo como parte del material intracuencal.

La suma de factores, incluyendo la continuidad lateral de los estratos y la ausencia de bases erosivas, permiten inferir que se trata de un ambiente marino profundo con zonas llanas no confinadas o con un mínimo de pendiente, específicamente, depósitos laminados similares a lóbulos de un abanico submarino.

4.2.2. Asociación 2: Areniscas fangosas masivas

Asociación comprendida por la subfacies mMyS, visible en el tramo SC11-2. Areniscas masivas color pardo violáceo a gris verdoso, con tamaño de grano medio que varía a fino hacia techo (Figura 4.9A). Contienen restos vegetales carbonizados dispersos, los que son más abundantes en las areniscas finas, y trazas fósiles, algunas de ellas identificadas como *Rhizocorallium* isp.

El espesor total de la asociación es de 6 m.

Interpretación

Las areniscas fangosas reflejan depositación rápida a partir de corrientes de turbidez fangosas de alta densidad (Pickering *et al.*, 1986).

Las trazas fósiles de *Rhizocorallium* isp., pertenecientes a la icnofacies de *Cruziana*, son excavaciones inclinadas con forma de U que poseen *spreite* protrusivo. Tipifican condiciones de energía moderada a relativamente baja y se presentan en una zona comprendida entre el *shoreface* inferior y el *offshore* inferior (Buatois *et al.*, 2002). Sin embargo, estudios sobre conjuntos de trazas fósiles en depósitos de abanicos marinos profundos, señalan que la distribución de estas trazas depende de cambios en el suministro de sedimentos, en adición a factores de preservación (Crimes *et al.*, 1981).

El conjunto de características, incluyendo la continuidad lateral de los estratos, la abundancia de arena y la ausencia de bases erosivas, permiten deducir que se trata de un ambiente marino profundo con zonas llanas no confinadas, específicamente, depósitos laminados similares a lóbulos próximos al canal de un abanico submarino.

4.2.3. Asociación 3: Fangolitas laminadas o masivas intercaladas con areniscas fangosas o areniscas masivas

Asociación constituida por las subfacies lM y mMyS o mM y mS. Fangolitas color gris oscuro con laminación paralela, en los tramos SC11-3, SC11-4 y SC12-1; o masivas, en el tramo SC1-1, que contienen escasos restos vegetales carbonizados dispersos.

En la columna SC1, presentan lentes de arcillolita e intercalan con una capa de arenisca media, masiva, color gris verdoso, con materia orgánica carbonizada en cantidad moderada y trazas fósiles de *Taenidium* isp. En las columnas SC11 y SC12, intercalan con una capa de basalto de piroxeno (Figura 4.9A), la cual altera las fangolitas subyacentes. Contienen, además, un lente de arenisca fangosa media a fina, y bajo este lente, hay una intercalación de poco espesor con areniscas fangosas de grano medio a fino, masivas, color gris verdoso.

Tanto en la columna SC11 como SC12, las fangolitas incluyen trazas fósiles, ya sea de *Thalassinoides* isp., *Skolithos* isp. o indeterminadas. Entre el contenido fosilífero, destaca un bivalvo indeterminado y fragmentos leñosos.

La secuencia total puede alcanzar hasta 10 m de potencia.

Interpretación

Las fangolitas laminadas se originan por corrientes de turbidez fangosas de baja densidad. Las aguas del fondo anóxico favorecen la conservación de materia orgánica (Pickering *et al.*, 1986). Las fangolitas masivas, por otro lado, reflejan depositación relativamente rápida de sedimento fino derivado de corrientes turbidíticas, o depósitos hemipelágicos con un mínimo de desplazamiento lateral (Pickering *et al.*, 1986).

Las trazas fósiles de *Thalassinoides* isp. y *Skolithos* isp. pertenecen comúnmente a la icnofacies de *Skolithos*, pero pueden encontrarse también asociadas a las icnofacies de *Cruziana* y *Zoophycos*, al igual que las trazas fósiles de *Taenidium* isp., en el caso de ambientes marinos

(Gerard y Bromley, 2008). Pueden ocurrir en una zona comprendida entre el *shoreface* inferior y el *offshore* inferior, en condiciones de energía moderada a relativamente baja, o bien en aguas tranquilas, en ambientes de plataforma externa a sectores batiales, incluyendo zonas afectadas por corrientes de turbidez, bajo condiciones de oxigenación pobre o de alto aporte de nutrientes (Buatois *et al.*, 2002).

La aparición de fragmentos de leñosos y materia orgánica carbonizada dispersa, sugiere que se trata de turbiditas extracuencales originadas por flujos hiperpícnicos, compuestos por una mezcla de elementos continentales e intracuencales (Zavala *et al.*, 2014). Entre el contenido fósil, se identifica un bivalvo, lo cual refuerza la idea de un ambiente marino.

El total de propiedades mencionadas anteriormente, incluyendo la continuidad lateral de los estratos, la abundancia de fango y la ausencia de bases erosivas, permiten concluir que se trata de un ambiente marino profundo con zonas llanas no confinadas o con un mínimo de pendiente, específicamente, depósitos laminados similares a lóbulos distales de un abanico submarino.

4.2.4. Asociación 4: Areniscas con estratificación paralela, laminación paralela o masivas intercaladas con areniscas fangosas con estratificación o laminación paralela, y niveles de conglomerado arenoso

Asociación integrada por las subfacies mS, sS, lMyS y sMyS o slS y gsPyS. Son areniscas medias a levemente finas o medias a levemente gruesas con estratificación paralela, laminación paralela o masivas, visibles en la columna SC3 y los tramos SC4-1, SC4-3, SC11-5, SC12-2 y SC12-3. Son de color gris verdoso, contienen escasa a moderada cantidad de materia orgánica dispersa, la cual tiende a ser más abundante y concentrarse en niveles en las areniscas laminadas. Poseen, además, trazas fósiles tubulares de *Skolithos* isp. o indeterminadas y pueden presentar estructuras de carga o lentes constituidos por areniscas fangosas, que a su vez tienen lentes fangosos con materia orgánica. Estas capas exhiben variaciones laterales en espesor, lo que se interpreta como acuñamiento.

En la columna SC12, en menor medida en la columna SC11, son comunes los *rip-up clasts* de fangolita (Figura 4.9B), dispersos en la roca o parcialmente concentrados en niveles. Las areniscas poseen niveles conglomerádicos, arenosos y de poco espesor, donde destaca una mayor concentración de *rip-up clasts* alargados, orientados paralelos a la estratificación. El conglomerado tiene escasos nódulos ferruginosos y una matriz de composición coincidente con las areniscas más gruesas, a las cuales grada.

En cuanto al contenido fosilífero, las columnas SC11 y SC12 incluyen un ammonite (*Hoplitoplacenticeras plasticum*), fragmentos leñosos e improntas de podocarpácea y angiosperma.

Las areniscas intercalan con areniscas fangosas de grano medio a fino, con estratificación paralela o laminación paralela, en los tramos SC4-1, SC4-2, SC11-5 y SC12-2. Son de color gris verdoso a pardo claro, poseen muy escasos *rip-up clasts* de fangolita y abundantes restos vegetales, ya sean dispersos, concentrados en niveles o en lentes de fangolita. Entre los restos vegetales, se reconocen fragmentos leñosos, hojas indeterminadas y una hoja de angiosperma.

El espesor total de la asociación varía entre 50 cm y 7,15 m.

Interpretación

Las areniscas señalan depositación a partir del colapso de corrientes de turbidez arenosas de alta densidad. Reflejan el incremento de la inestabilidad del flujo y colapso de la nube de sedimentos en suspensión (Lowe, 1982). Cuando las areniscas son fangosas, la depositación es rápida a partir de corrientes más fangosas, también de alta densidad (Pickering *et al.*, 1986).

La presencia de intraclastos de fangolita revela la erosión de secuencias previamente depositadas y los niveles conglomerádicos, con elevada concentración de éstos, se originan por la sedimentación de la fracción más gruesa en suspensión, desde una corriente de turbidez altamente concentrada. Los *rip-up clasts* son una característica habitual en depósitos de abanicos marinos

profundos, siendo más comunes en capas de areniscas gruesas y conglomerados asociados a depósitos de canal y margen de canal (Mutti y Nilsen, 1981).

Las trazas fósiles de *Skolithos* isp., pertenecientes comúnmente a la icnofacies de *Skolithos*, están asociadas a sedimentos arenosos y fangosos, bien seleccionados, sujetos a abrupta erosión o depositación. Si bien típicamente se presentan en el *foreshore* y *shoreface* medio a superior, también pueden asociarse a otros ambientes que exhiben condiciones depositacionales similares, como sistemas turbidíticos profundos (Buatois *et al.*, 2002).

La presencia de fragmentos de troncos, hojas también fragmentadas y materia orgánica carbonizada, sugiere que se trata de turbiditas extracuencales originadas por flujos hiperpícnicos, compuestos por una mezcla de elementos continentales e intracuencales (Zavala *et al.*, 2014). El fragmento de *Hoplitoplacenticeras plasticum* y los nódulos ferruginosos, confirman un ambiente marino para esta asociación.

La suma de factores mencionados, incluyendo el acuñamiento de los estratos, los niveles conglomerádicos, los *rip-up clasts* de fangolita y la abundancia de arena, permiten inferir que se trata de un ambiente marino profundo, específicamente, depósitos canalizados similares a los de canal de un abanico submarino.

4.2.5. Asociación 5: Alternancia de areniscas y fangolitas, dominada por areniscas, con niveles de conglomerado arenoso

Asociación comprendida por las subfacies slSM y gsPyS. Son areniscas finas color pardo violáceo, para el caso de los tramos SC1-2 y SC1-4, o areniscas medias, levemente gruesas, color gris verdoso, en la columna SC2. Tienen estratificación paralela y escasa a moderada cantidad de materia orgánica carbonizada, ya sea dispersa o concentrada en niveles de espesores milimétricos, entre la cual sólo se reconocen fragmentos de troncos. Contienen trazas fósiles de *Skolithos* isp., *Palaeophycus* isp. e indeterminadas; nódulos ferruginosos oxidados y *rip-up clasts* de fangolita.

Se reconocen niveles conglomerádicos arenosos que no superan los 5 cm de espesor. Los conglomerados se conforman por abundantes *rip-up clasts* de fangolita y una matriz arenosa cuya composición coincide con la de las areniscas. Hacia el techo, dichos conglomerados gradan a las areniscas antes mencionadas.

Las areniscas intercalan con fangolitas color gris oscuro, con laminación paralela, que también poseen restos vegetales carbonizados, además de trazas fósiles tubulares identificadas como *Skolithos* isp.

En el tramo SC1-2, las areniscas incluyen glauconita, en cambio, en la columna SC2, las areniscas presentan un molde interno de ammonite (*Hoplitoplacenticeras plasticum*) y las fangolitas tienen lentes de arenisca media a levemente gruesa.

La secuencia completa puede tener un espesor de entre 3,25 y 6 m, las capas de arenisca pueden variar entre 4 cm y 1,6 m, mientras que las de fangolita entre milímetros a 25 cm.

Interpretación

Las alternancias de areniscas y fangolitas, con dominio de areniscas, y los niveles conglomerádicos son interpretados como depósitos de corrientes de turbidez de alta densidad (Pickering *et al.*, 1986). Los *rip-up clasts* de fangolita reflejan la erosión de secuencias previamente depositadas.

Las asociación de trazas fósiles de *Skolithos* isp. y *Palaeophycus* isp. está contemplada dentro de la icnofacies de *Cruziana* (Gerard y Bromley, 2008), la cual tipifica condiciones de energía moderada a relativamente baja y se presenta en una zona comprendida entre el *shoreface* inferior y el *offshore* inferior (Buatois *et al.*, 2002). Sin embargo, estudios sobre conjuntos de trazas fósiles en depósitos de abanicos marinos profundos, señalan que la distribución de estas trazas depende de cambios en el suministro de sedimentos, en adición a factores de preservación (Crimes *et al.*, 1981).

La aparición de fragmentos de troncos y materia orgánica carbonizada, sugiere que se trata de turbiditas extracuencales originadas por flujos hiperpícnicos, compuestos por una mezcla de elementos continentales e intracuencales (Zavala *et al.*, 2014). La glauconita es generalmente diagnóstica de un ambiente sedimentario marino somero, pero puede ser incorporada por el flujo como parte del material intracuencal. La presencia de nódulos ferruginosos y el fragmento de *Hoplitoplacenticeras plasticum*, apoyan un origen marino para esta secuencia.

El conjunto de propiedades mencionadas anteriormente, incluyendo la continuidad lateral de los estratos, la ausencia de bases erosivas y los niveles conglomerádicos, permiten concluir que se trata de un ambiente marino profundo con zonas llanas no confinadas, específicamente, depósitos laminados similares a lóbulos próximos al canal de un abanico submarino.

4.2.6. Asociación 6: Alternancia de areniscas y fangolitas, con dominio de fangolitas

Asociación conformada por la subfacies slMS, que sólo se visualiza en el tramo SC1-3. Se compone de areniscas finas, color pardo violáceo, con estratificación paralela y una cantidad moderada de restos vegetales carbonizados, dispersos y fragmentados. Estas areniscas intercalan con fangolitas de color gris oscuro, caracterizadas por tener laminación paralela y restos vegetales carbonizados, también dispersos.

La alternancia tiene una potencia de 1,8 m, las capas de arenisca varían entre 2 y 6 cm, en contraste con las de fangolita, que son centimétricas y mayores.

Interpretación

Las alternancias de areniscas y fangolitas, con dominio de fangolitas, señalan depositación a partir de corrientes de turbidez de baja densidad (Pickering *et al.*, 1986).

La suma de características, incluyendo la continuidad lateral de los estratos, la predominancia de fango y la ausencia de bases erosivas, permiten deducir que se trata de un ambiente marino

profundo con zonas llanas no confinadas, específicamente, depósitos laminados similares a lóbulos distales de un abanico submarino.

4.3. Ambiente de Depositación

El análisis de las asociaciones de facies posibilita la reconstrucción de la historia depositacional en el área de estudio.

En la base, se comienza con una intercalación de fangolitas arenosas y areniscas fangosas (asociación 1), que indican una depositación rápida de material derivado de corrientes de turbidez fangosas de alta densidad, con poca eficiencia en la selección del sedimento. Los depósitos se producen en un ambiente marino, específicamente, de lóbulos de abanico submarino. Nuevos flujos de corrientes de turbidez, con características similares al anterior, dan lugar a areniscas fangosas masivas (asociación 2), que sobreyacen a la secuencia antes descrita. La depositación ocurre rápidamente en un ambiente marino de lóbulos, cercanos al canal de un abanico submarino.

Corrientes fangosas de baja densidad forman pequeñas intercalaciones de areniscas fangosas y fangolitas (asociación 3), sobre las secuencias previas, y terminan con la depositación de potentes fangolitas, por sedimentación más directa del material en suspensión, con algunos efectos de tracción. Lo anterior se interpreta como depósitos de lóbulos distales de un abanico submarino. Adicionalmente, se intercala en esta secuencia una capa de basalto de gran extensión lateral, la cual se infiere que corresponde a un *sill*.

Posteriormente, ocurre el colapso de corrientes de turbidez de alta densidad, por inestabilidad del flujo, evento que genera intercalaciones de areniscas y areniscas fangosas (asociación 4). Los estratos exhiben variaciones laterales en espesor, interpretado como un acuñamiento, en depósitos de canal de un abanico submarino. Estas nuevas corrientes quedan en evidencia por la aparición de escasos *rip-up clasts* de fangolita, consecuencia del paso de una corriente erosiva, con sedimento en suspensión, que rompe un lecho de fangolita y lo incorpora como clastos, comúnmente acumulados en la base de depósitos de turbiditas.

Corrientes de turbidez de alta densidad, con mayor carga fangosa que la anterior, genera la depositación de alternancias de areniscas y fangolitas, con dominio de areniscas (asociación 5). La existencia de un nivel conglomerádico más hacia techo, que grada a areniscas y tiene elevada concentración de *rip-up clasts*, revela el carácter erosivo del flujo. La falta de registro bajo y sobre estos estratos impide establecer una interpretación concreta, pero se infiere que corresponden a depósitos de lóbulos próximos al canal de un abanico submarino.

Continúa una secuencia que consta de fangolitas potentes intercaladas con una capa de arenisca, ambas masivas (asociación 3). Las fangolitas reflejan depositación relativamente rápida del sedimento fino, resultante de corrientes turbidíticas fangosas diluidas, o bien depósitos hemipelágicos desplazados por corrientes oceánicas profundas o procesos de deslizamiento, mientras que la arenisca indica rápida depositación de arena altamente concentrada, en un ambiente de lóbulos distales de un abanico submarino. Le sigue, nuevamente, una intercalación de areniscas y fangolitas, con dominio de areniscas (asociación 5), correspondiente a depósitos de lóbulos próximos al canal de un abanico.

Nuevas corrientes de turbidez de baja densidad dan origen a una alternancia de areniscas y fangolitas, con dominio de fangolitas (asociación 6). Se produce una desaceleración del flujo y el paso de sedimentos desde suspensión a carga de lecho, con una subsecuente sedimentación por tracción y depositación directa en un ambiente marino profundo, específicamente, lóbulos distales de un abanico submarino. Un último registro de corrientes de turbidez de alta densidad, en un ambiente marino de lóbulos próximos al canal de un abanico submarino, es representado por otra alternancia de areniscas y fangolitas, con dominio de areniscas (asociación 5), con la ocurrencia de procesos similares a los antes mencionados, sumados a erosión que incorpora intraclastos de fangolita, concentrados en un nivel conglomerádico.

El total de las asociaciones de facies se interpretan como un sistema turbidítico profundo que, verticalmente, varía pasando desde facies de lóbulos tanto proximales como distales hasta facies canalizadas. Los *rip-up clasts* de fangolita reafirman dicha interpretación, ya que suelen encontrarse en ambientes de abanico submarino, siendo más comunes en capas de areniscas

gruesas y conglomerados asociados a depósitos de canal y margen de canal (Mutti y Nilsen, 1981).

En general, la materia orgánica es frecuente, se encuentra concentrada en niveles o dispersa, y está muy fragmentada. Ésta indicaría una cercanía al continente y aporte de flujos hiperpícnicos (corrientes de origen fluvial con una densidad total superior a aquella de la cuenca receptora), derivados de un delta o estuario, que circulan por el lecho marino y trasportan tanto material continental (restos vegetales, fragmentos de troncos) como de plataforma (glauconita, fósiles de moluscos), desarrollando turbiditas extracuencales (Figura 4.10).

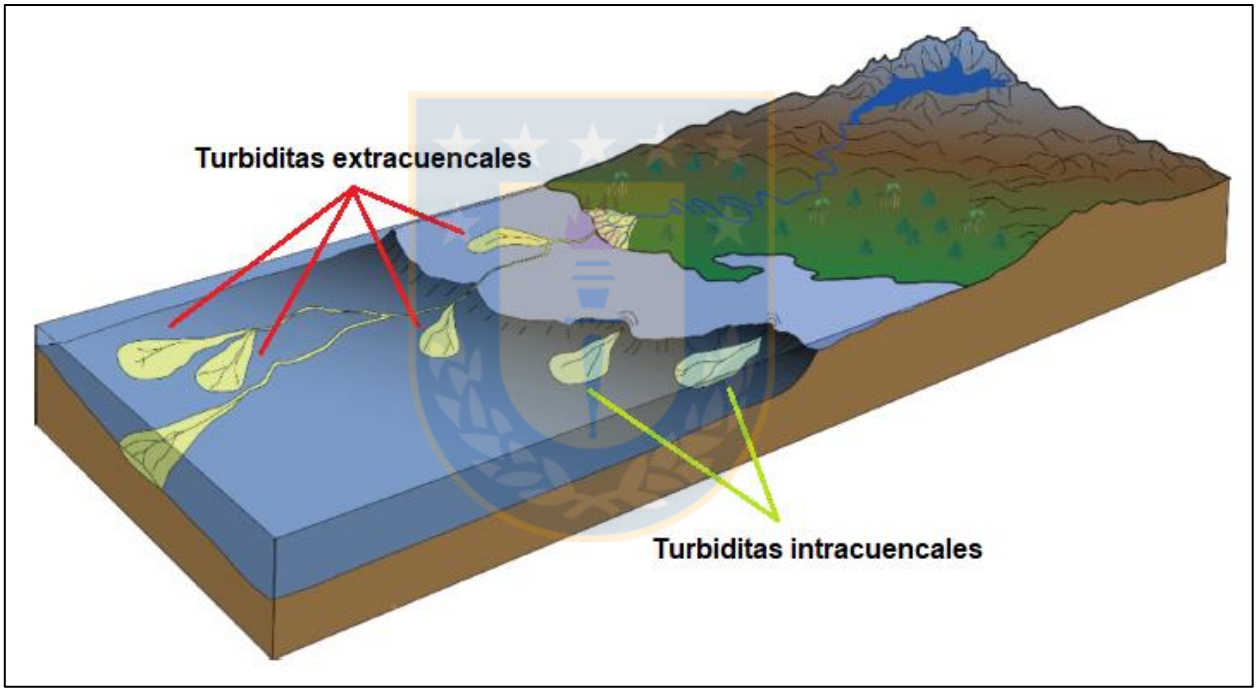


Figura 4.10. **Diagrama que muestra el desarrollo de turbiditas intracuencales y extracuencales** (con aporte de material desde la cuenca y aporte de material desde el continente y la cuenca, respectivamente). Modificado de Zavala *et al.* (2014).

Las trazas fósiles de *Thalassinoides* isp., *Rhizocorallium* isp., *Skolithos* isp., *Palaeophycus* isp. y *Taenidium* isp. son características de la icnofacies de *Skolithos*, *Cruziana* o *Zoophycos*. Si se considera el conjunto total, coinciden en la icnofacies de *Cruziana*. Estudios sobre conjuntos de trazas fósiles en depósitos de abanicos marinos profundos, señalan que la distribución de estas trazas depende de cambios en el suministro de sedimentos y en factores de preservación. Es así como trazas características de “aguas someras” aparecen en facies canalizadas de abanicos

internos, zonas intercanal dentro de abanicos internos y externos, además de depósitos de lóbulos, dependiendo de su diversidad y relación con trazas de “aguas profundas” (Crimes *et al.*, 1981). La ausencia de la icnofacies de *Nereites*, sugiere que la depositación no ocurre en el piso de la cuenca (Shultz y Hubbard, 2005).

La escasez de bioturbación y de fósiles bentónicos, además de la conservación de materia orgánica, revela que se trata de un ambiente anóxico o subóxico en aguas probablemente profundas (Meza, 2015), con rápida sedimentación. Las estructuras asociadas a *slides* o *slumps* que afectan algunas capas, y depósitos caóticos en zonas cercanas al área de estudio, apuntan a la existencia de una pendiente, ya sea en un borde de plataforma o talud submarino.

A modo de síntesis, el ambiente de depositación para los estratos de sierra Contreras es un ambiente marino profundo, anóxico a subóxico, de borde de plataforma o talud submarino, con depósitos turbidíticos que reciben como aporte tanto material continental como de plataforma.

5. CONTENIDO PALINOLÓGICO

5.1. Introducción

Se analizan un total de 3 *slides*, uno perteneciente a un nivel de fangolita en la columna SC1 (muestra SC1P1), tramo SC1-4, y dos correspondientes a fangolitas sobre y bajo una capa basáltica en la columna SC11 (muestras SC11P1 y SC11P2), tramo SC11-4. La muestra tomada bajo el basalto, si bien exhibe gran cantidad de materia orgánica, ésta es imposible de reconocer al estar totalmente carbonizada.

La identificación de los palinomorfos se efectúa a partir de la comparación visual con fotografías o ilustraciones, combinada con la revisión de descripciones morfológicas de los distintos géneros, usando como apoyo los trabajos de Povilauskas (2010), Raine *et al.* (2011) y Bowman *et al.* (2014).

El análisis no tiene como objetivo establecer un estudio estadístico detallado ni descriptivo, sino que se realiza con el fin de mencionar el contenido palinológico en estratos de la Formación Tres Pasos, en el sector oriental de sierra Contreras, y a partir de su asociación, hacer una aproximación al paleoclima, como apoyo al estudio geológico.

5.2. Resultado y Análisis

En general, el estado de preservación del material es malo a muy malo, siendo mejor en la columna SC1, lo que dificulta el trabajo de identificación. Se reconocen una variedad de 20 palinomorfos (Tabla 5.1, Figura 5.1 y 5.2), que incluyen esporas de algas, hongos y pteridofitas, polen de gimnospermas y angiospermas, y un dinoflagelado.

La determinación y afinidad botánica para cada género se establece a partir del catálogo de Raine *et al.* (2011) y los trabajos de Povilauskas *et al.* (2008), Povilauskas (2010) y Bowman *et al.* (2014).

Tabla 5.1. Lista de palinomorfos identificados, por cada muestra, con su respectiva afinidad botánica.

Palinomorfo		Muestra		Afinidad botánica
		SC1P1	SC11P1	
Pteridofitas	*Baculatisporites* sp.		X	Familia Osmundaceae
	Biretisporites sp.	X	X	Familia Schizaeaceae
	Clavifera sp.		X	Familia Gleicheniaceae
	Cyathidites sp.	X	X	Familias Cyatheaceae, Dicksoniaceae y Schizaeaceae
	Deltoidospora sp.	X	X	Familias Gleicheniaceae? y Cyatheaceae?
	Gleicheniidites sp.	X	X	Familia Gleicheniaceae
	Ischyosporites? sp.	X	X	Familia Gleicheniaceae
Gimnospermas	*Araucariacites* sp.	X	X	Familia Araucariaceae
	Classopollis sp.	X	X	Familia Cheirolepidiaceae
	Podocarpidites sp.	X	X	Familia Podocarpaceae
	Taxodiaceaepollenites sp.		X	Familias Cupressaceae? y Taxodiaceae?
	Trichotomosulcites sp.	X	X	Familia Podocarpaceae
Angiospermas	*Arecipites* sp.	X	X	Familia Arecaceae
	Ericipites sp.	X	X	Familia Epacridaceae o Ericaceae
	Peninsulapollis sp.	X	X	Familia Proteaceae
	Quadraplanus? sp.		X	Dicotyledonae
	Rhoipites? sp.	X		Dicotyledonae
Otros	*Palaeocystodinium* sp.	X		-
	Espora de alga	X	X	-
	Espora de hongo	X	X	-

5.2.1. Columna Sierra Contreras 1 (SC1)

El nivel muestreado incluye abundante materia orgánica, entre la cual se reconocen fragmentos leñosos y material carbonizado. Está constituido por elementos continentales y marinos, entre los que se cuentan un total de 124 especímenes de pteridofitas, gimnospermas, angiospermas, algas,

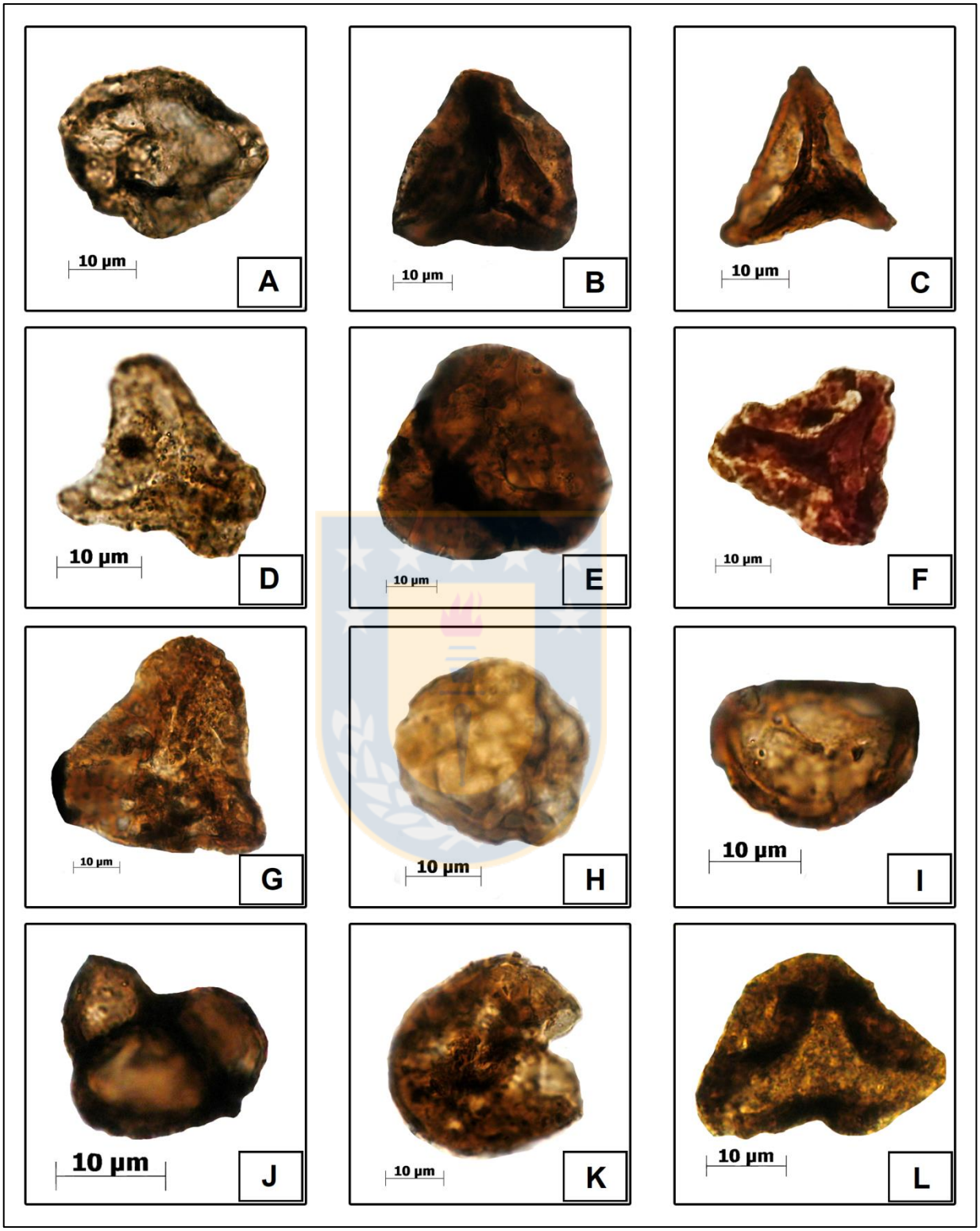


Figura 5.1. **Palinomorfos 1. A:** *Baculatisporites* sp. **B:** *Biretisporites* sp. **C:** *Clavifera* sp. **D**: *Cyathidites* sp. **E:** *Deltoidospora* sp. **F:** *Gleicheniidites* sp. **G:** *Ischyosporites*? sp. **H:** *Araucariacites* sp. **I:** *Classopollis* sp. **J:** *Podocarpidites* sp. **K**: *Taxodiaceaepollenites* sp. **L:** *Trichotomosulcites* sp.

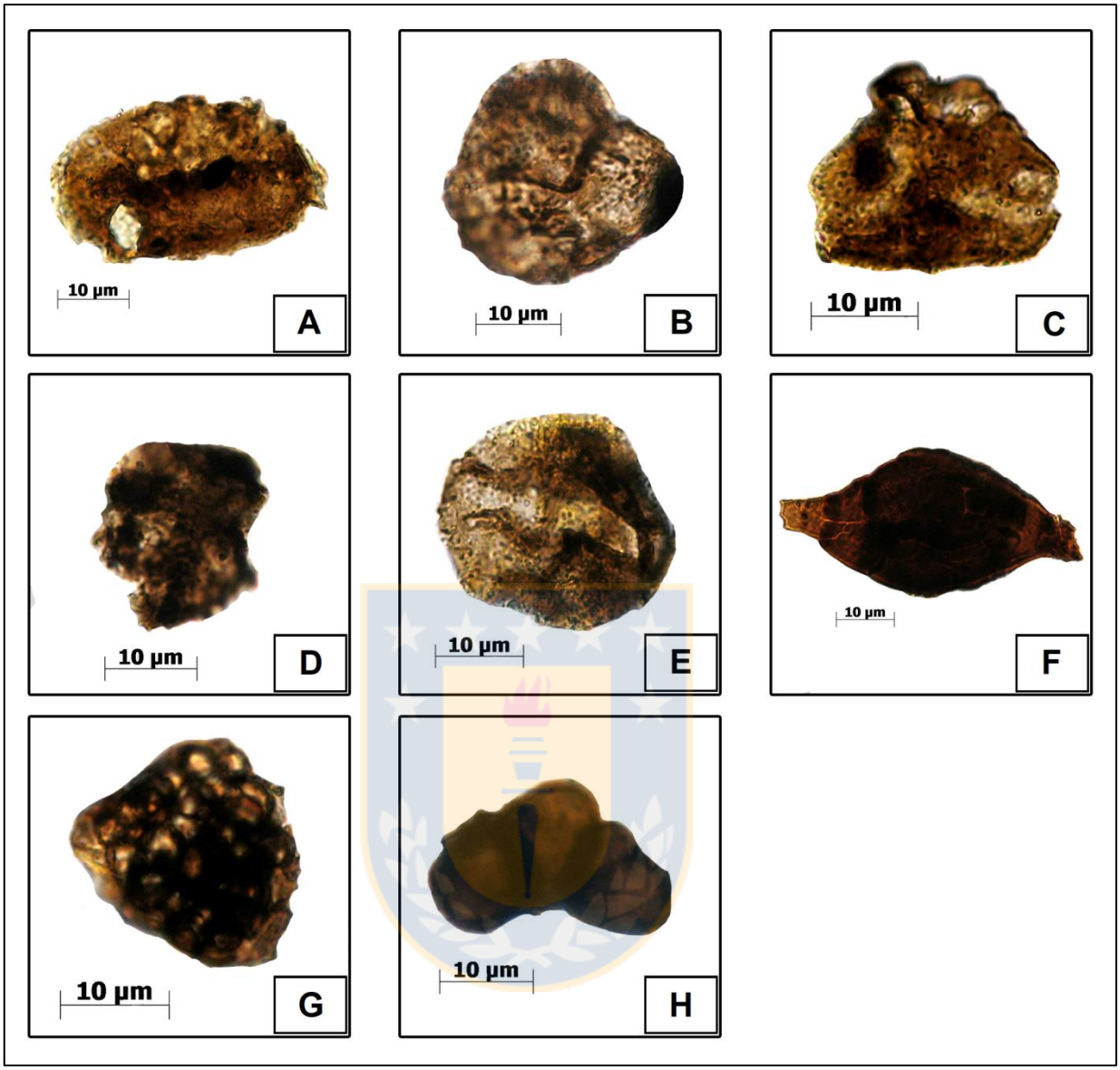


Figura 5.2. **Palinomorfos 2. A:** *Arecipites* sp. **B:** *Ericipites* sp. **C:** *Peninsulapollis* sp. **D:** *Quadraplanus*? sp. **E:** *Rhoipites*? sp. **F:** *Palaeocystodinium* sp. **G:** Espora de alga. **H:** Espora de hongo.

hongos y dinoflagelados (Tabla 5.2 y Figura 5.3). Predominan las esporas triletes de pteridofitas (48,39%), principalmente los géneros *Cyathidites* (17,74%), *Deltoidospora* (11,29%), *Biretisporites* (9,68%) y *Gleicheniidites* (7,26%).

En menor medida, la capa presenta polen de gimnospermas (24,19%), representadas mayoritariamente por los géneros *Trichotomosulcites* (8,87%), con granos de contorno subtriangular, y *Araucariacites* (6,45%), con granos inaperturados de contorno circular.

Tabla 5.2. Abundancia relativa de palinomorfos en la columna SC1.

Palinomorfo		Cantidad	%	Abundancia relativa
Pteridofitas	*Biretisporites* sp.	12	**9,68**	0,097
	Cyathidites sp.	22	**17,74**	0,177
	Deltoidospora sp.	14	**11,29**	0,113
	Gleicheniidites sp.	9	**7,26**	0,073
	Ischyosporites? sp.	3	**2,42**	0,024
Gimnospermas	*Araucariacites* sp.	8	**6,45**	0,065
	Classopollis sp.	6	**4,84**	0,048
	Podocarpidites sp.	5	**4,03**	0,040
	Trichotomosulcites sp.	11	**8,87**	0,089
Angiospermas	*Arecipites* sp.	8	**6,45**	0,065
	Ericipites sp.	6	**4,84**	0,048
	Peninsulapollis sp.	2	**1,61**	0,016
	Rhoipites? sp.	6	**4,84**	0,048
Otros	*Palaeocystodinium* sp.	1	**0,81**	0,008
	Espora de alga	8	**6,45**	0,065
	Espora de hongo	3	**2,42**	0,024
		124	**100**	

Las angiospermas tienen un menor porcentaje (17,74%), pero relativamente cercano al de las gimnospermas. Entre los géneros más abundantes se encuentra *Arecipites* (6,45%), de granos monocolpados con forma elíptica. Las algas, por su parte, alcanzan un 6,45% respecto al total de especímenes (Figura 5.4).

Al considerar la afinidad botánica, entre las esporas de pteridofitas dominan las familias Cyatheaceae, Dicksoniaceae, Schizaeaceae y Gleicheniaceae. Con menor frecuencia, entre el polen de gimnospermas destacan tanto la familia Podocarpaceae como Araucariaceae, mientras que, con menor abundancia, entre las angiospermas resalta la familia de monocotiledóneas Arecaceae.

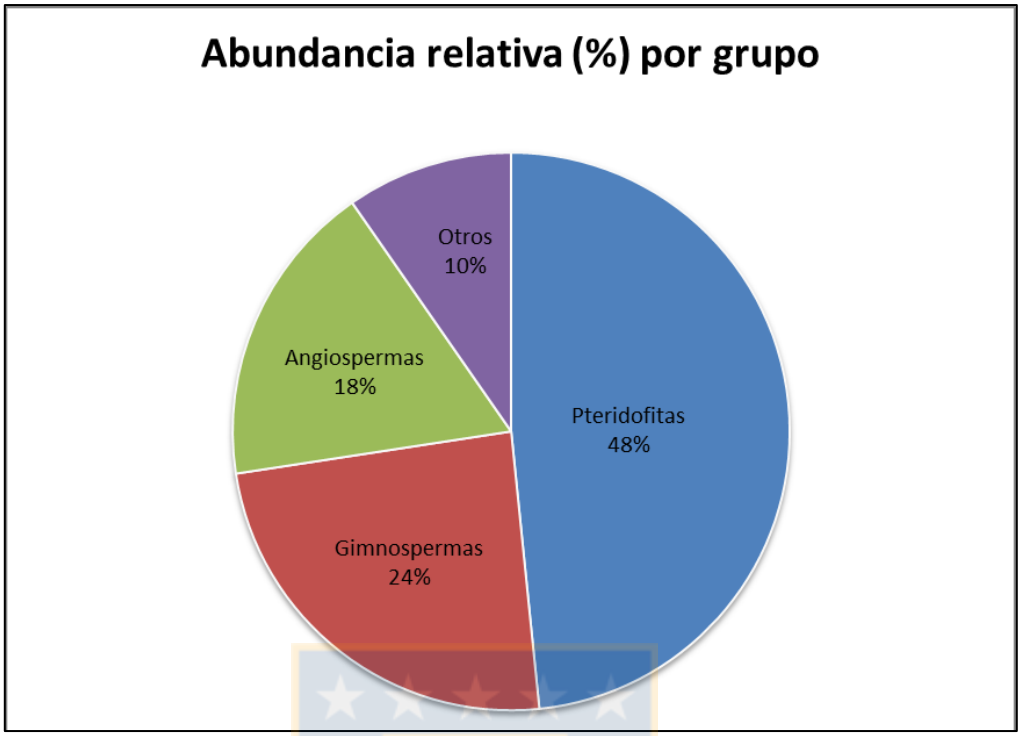


Figura 5.3. **Gráfico de abundancia relativa, por grupo taxonómico, en la columna SC1.**

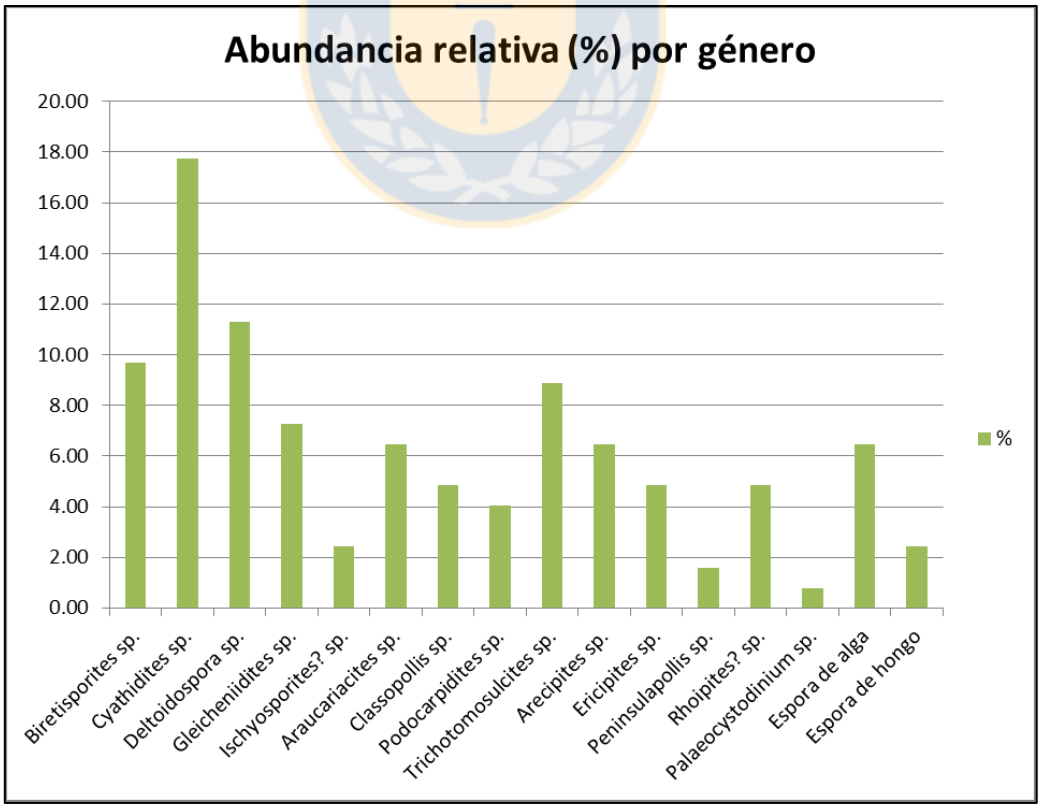


Figura 5.4. **Gráfico de abundancia relativa de palinomorfos en la columna SC1.**

5.2.2. Columna Sierra Contreras 11 (SC11)

El nivel muestreado contiene abundante materia orgánica, entre la cual se reconocen fragmentos leñosos y material carbonizado. Está integrado por elementos tanto continentales como marinos, que incluyen 188 especímenes de pteridofitas, gimnospermas, angiospermas, algas y hongos (Tabla 5.3 y Figura 5.5).

Tabla 5.3. Abundancia relativa de palinomorfos en la columna SC11.

Palinomorfo		Cantidad	%	Abundancia relativa
Pteridofitas	*Baculatisporites* sp.	6	**3,19**	0,032
	Biretisporites sp.	6	**3,19**	0,032
	C*lavifera* sp.	2	**1,06**	0,011
	Cyathidites sp.	31	**16,49**	0,165
	Deltoidospora sp.	3	**1,60**	0,016
	Gleicheniidites sp.	12	**6,38**	0,064
	Ischyosporites? sp.	9	**4,79**	0,048
Gimnospermas	*Araucariacites* sp.	11	**5,85**	0,059
	Classopollis sp.	3	**1,60**	0,016
	Podocarpidites sp.	7	**3,72**	0,037
	Taxodiaceaepollenites sp.	4	**2,13**	0,021
	Trichotomosulcites sp.	6	**3,19**	0,032
Angiospermas	*Arecipites* sp.	18	**9,57**	0,096
	Ericipites sp.	28	**14,89**	0,149
	Peninsulapollis sp.	5	**2,66**	0,027
	Quadraplanus? sp.	6	**3,19**	0,032
Otros	Espora de alga	29	**15,43**	0,154
	Espora de hongo	2	**1,06**	0,011
		188	**100**	

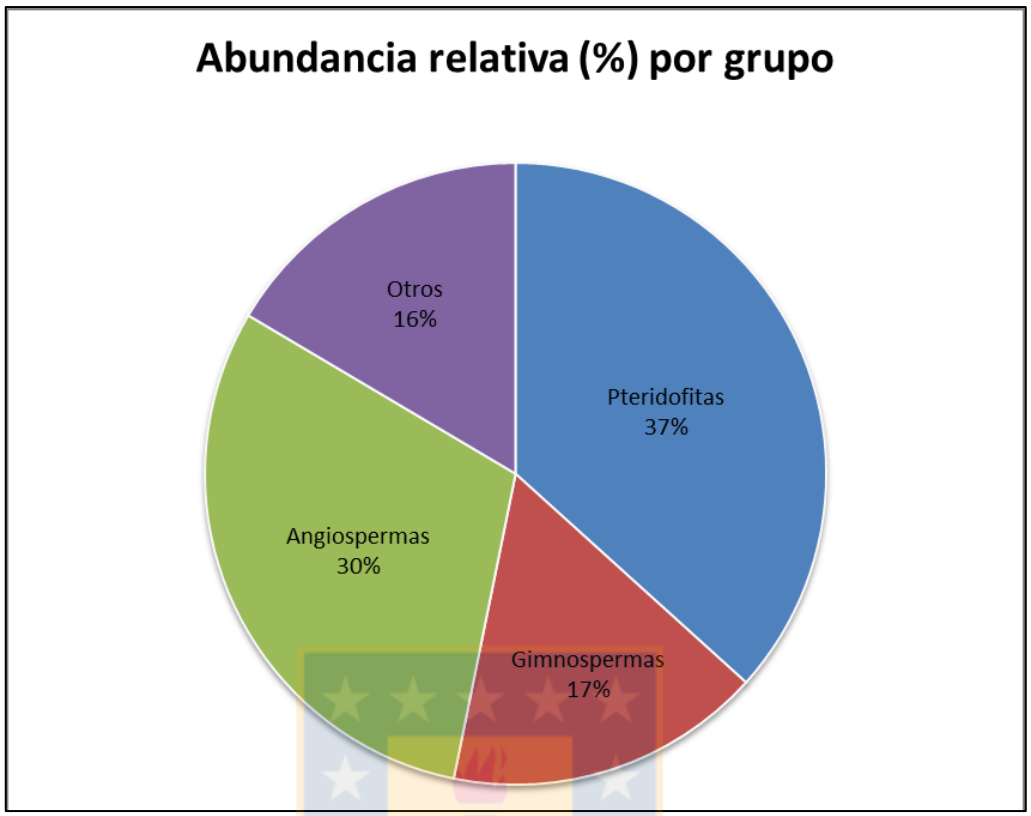


Figura 5.5. **Gráfico de abundancia relativa, por grupo taxonómico, en la columna SC11.**

Dominan las esporas triletes de pteridofitas (36,7%), principalmente los géneros *Cyathidites* (16,49%) y *Gleicheniidites* (6,38%). En menor proporción, abunda el polen de angiospermas (30,32%), con los géneros *Ericipites* (14,89%), de granos tricolpados, y *Arecipites* (9,57%), de granos monocolpados con forma elíptica, es su mayoría.

Entre las gimnospermas (16,49%), destaca el género *Araucariacites* (5,85%), con granos inaperturados de contorno circular. Las algas, por su parte, alcanzan un 15,43% respecto al total de especímenes (Figura 5.6).

Al tener en consideración la afinidad botánica, entre las esporas de pteridofitas imperan las familias Cyatheaceae, Dicksoniaceae, Schizaeaceae y Gleicheniaceae. Les siguen en abundancia la familia de angiospermas dicotiledóneas Ericaceae y la familia de angiospermas monocotiledóneas Arecaceae. Con menos frecuencia, resalta la familia de gimnospermas Araucariaceae.

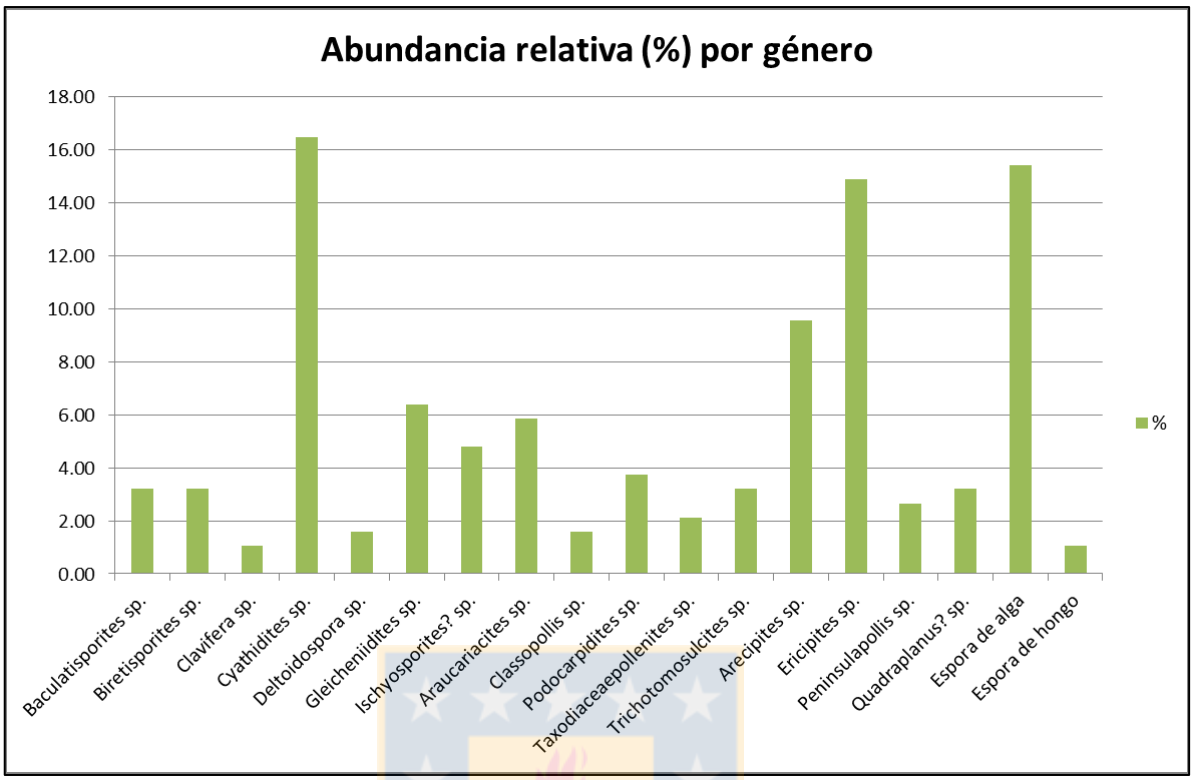


Figura 5.6. **Gráfico de abundancia relativa de palinomorfos en la columna SC11.**

5.3. Interpretación

La mayor abundancia de esporas refleja la existencia de condiciones húmedas. La familia Cyatheaceae se conforma de helechos arborescentes característicos de ambientes selváticos, que se distribuyen en regiones tropicales a subtropicales de todo el mundo (Marquez, 2016), con algunas especies en regiones templado-cálidas. Mientras que la familia Dicksoniaceae, con plantas en general arborescentes, tiene una distribución pantropical, encontrándose en áreas cálido-templadas (Marquez y Ocampo, 2016).

Respecto a la familia Schizaeaceae, son helechos con amplia distribución en zonas tropicales y templadas (Ramos, 2016), además de subtropicales. La familia Gleicheniaceae, por su parte, comprende especies cuya distribución es principalmente tropical a subtropical, con algunos representantes de regiones templadas y frías (Yañez y Arana, 2016). La familia Osmundaceae incluye plantas terrestres que habitan regiones tropicales, subtropicales y templadas del mundo (Palacios, 1993).

Entre las gimnospermas, la familia de coníferas Araucariaceae indica la presencia o extensión de vegetación de selva tropical a subtropical, además de encontrarse en áreas templadas, actualmente restringidas al hemisferio Sur (Kershaw y Wagstaff, 2001), y zonas templadas frías (bosques subantárticos). Por otro lado, la familia de coníferas Podocarpaceae habita en regiones tropicales y subtropicales de ambos hemisferios, aunque alcanzan su mayor desarrollo en el hemisferio Sur (Zamudio, 2002), y son menos comunes en regiones frío-templadas.

La familia de coníferas Cheirolepidiaceae se encuentra extinta y es característica de ambientes tropicales, aunque ocupa una amplia gama de hábitats cálidos (Alvin, 1982). Por su parte, la familia Cupressaceae incluye árboles o arbustos distribuidos principalmente en regiones templadas de ambos hemisferios (Zamudio y Carranza, 1994), mas pueden encontrarse en climas cálidos a frío-templados, desde tierras húmedas a suelos secos. La familia Taxodiaceae, constituida de árboles grandes, frondosos y corpulentos, tiene una distribución principalmente concentrada en regiones templadas del hemisferio Norte (Carranza, 1992).

Las angiospermas de la familia Arecaceae son plantas arborescentes o arbustiformes, pequeñas a robustas, de ambientes tropicales a subtropicales de ambos hemisferios (Delucchi y Hurrell, 2008), así como también de regiones templado-cálidas. La familia Ericaceae es cosmopolita (Kron y Chase, 1993), incluyen árboles, arbustos o matas que destacan en regiones templadas y tropicales de todos los continentes, exceptuando la Antártica, en ambientes fríos, húmedos y de suelos ácidos. Por otra parte, la familia Proteaceae, de plantas arbóreas o arbustivas, rara vez herbáceas, aparecen esencialmente en regiones tropicales (Calderón, 2006), además de subtropicales o templadas del hemisferio Sur.

A modo de síntesis (Tabla 5.4), las familias de pteridofitas coinciden en habitar zonas tropicales a templadas, patrón que se repite para el caso de las gimnospermas, con excepción de las familias Cupressaceae y Taxodiaceae, que son características de climas templados. Por otro lado, las familias de angiospermas coexisten bajo condiciones de clima templado o tropical.

En lo que respecta al tamaño de los granos de polen, tiende a ser menor al esperado para algunos especímenes. Estudios de Griener y Warny (2015) en granos de *Nothofagus*, sugieren que el

tamaño de los granos de polen es un confiable *proxy* o indicador de cambios ambientales, específicamente, variaciones en las condiciones de humedad. La viabilidad del polen depende de diversos factores, entre ellos, se considera la capacidad de éste para retener agua en condiciones de desecación, es así como se alude a que un aumento en el tamaño del grano se relaciona a una disminución de la humedad ambiental y viceversa.

Tabla 5.4. Rango climático de las familias predominantes.

Familia	Clima			
	Tropical	**Subtropical**	**Templado**	**Frío**
Cyatheaceae	X	X	X	
Dicksoniaceae	X	X	X	
Gleicheniaceae	X	X	X	X
Schizaeaceae	X	X	X	
Osmundaceae	X	X	X	
Araucariaceae	X	X	X	X
Cheirolepidiaceae	X	X	X	
Cupressaceae			X	X
Podocarpaceae	X	X	X	
Taxodiaceae			X	
Arecaceae	X	X	X	
Ericaceae	X		X	
Proteaceae	X	X	X	

La presencia de glendonita, pseudomorfo del mineral ikaita (Figura 5.7), señala bajas temperaturas, ya que este mineral se forma en agua casi congelada. Si bien es comúnmente asociada a climas fríos en altas latitudes, puede encontrarse en aguas oceánicas profundas de zonas tropicales, entre otros ambientes y latitudes.

El dinoflagelado *Palaeocystodinium* sp., del cual se cuenta sólo un ejemplar, tiene preferencia por climas cálidos de bajas latitudes, dada su abundancia significativa respecto a latitudes más altas (Brinkhuis *et al.*, 1998). La primera ocurrencia del género *Palaeocystodinium* a nivel

mundial es en el Campaniano tardío (Sánchez *et al.*, 2010), señalando una edad máxima para el estrato.

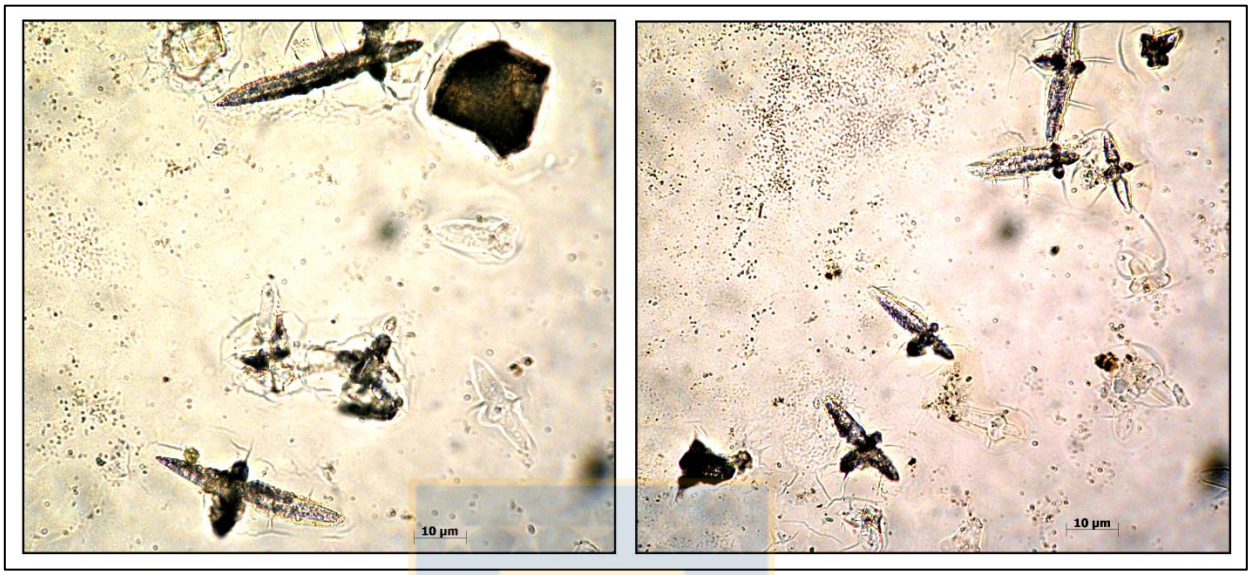


Figura 5.7. Glendonita, con forma de cruz, en fangolita de la columna SC1, muestra SC1P1.

De manera preliminar, se deduce que el clima predominante en el área de estudio es templado frío a subtropical, bajo condiciones que se caracterizan por su humedad, no obstante, se requiere de un estudio y muestreo más exhaustivo para establecer con exactitud las características paleoclimáticas durante la depositación de las secuencias estratigráficas en sierra Contreras.

6. DISCUSIÓN

6.1. Correlación Estratigráfica

El área de estudio es compleja, tanto por la fuerte erosión a la que son sometidas las secciones estratigráficas, así como también por fallas y pliegues que deforman las capas y dificultan la observación de su continuidad lateral.

Basándose en la litología, la orientación de los estratos y la visualización tanto en terreno como a través de imágenes satelitales de los afloramientos, se propone una correlación tentativa entre las 6 columnas elaboradas (Figura 6.1), a fin de establecer una distribución ordenada de los estratos, que permite el estudio de sus variaciones verticales y laterales (Anexo 4). Cabe mencionar que la numeración dada a las columnas es arbitraria y no tiene relación con dicho orden.

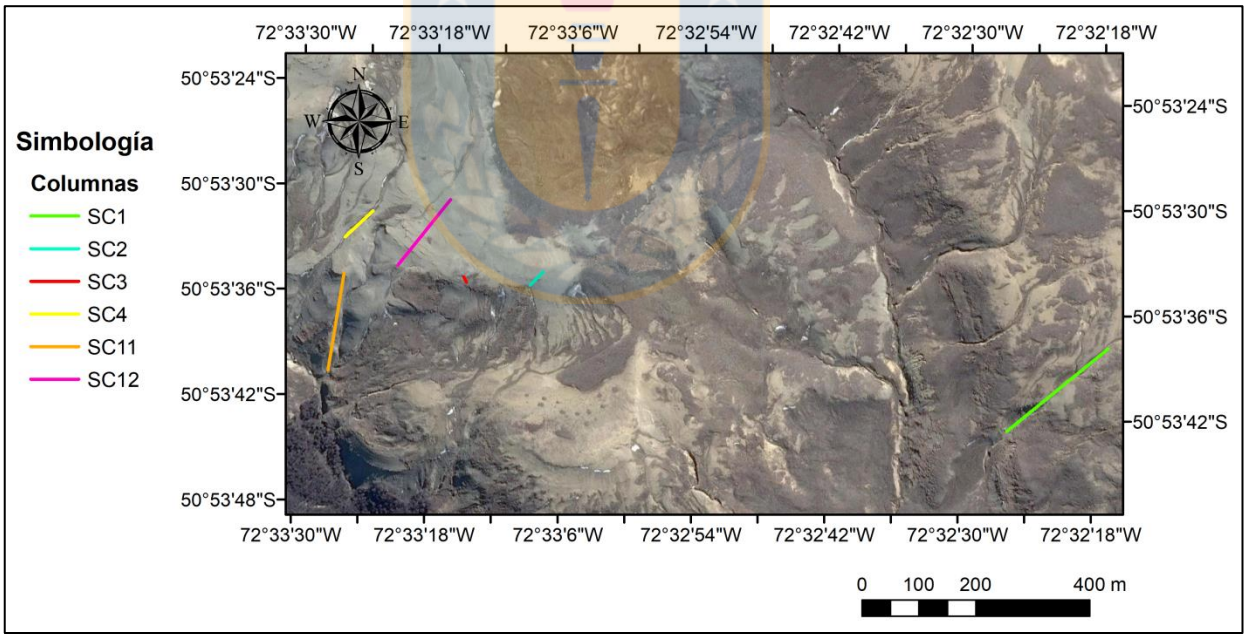


Figura 6.1. Mapa con la distribución de las 6 columnas estratigráficas.

Por ley de superposición de estratos, las secuencias representadas en las columnas SC2, SC3, SC4 y SC12 se encuentran sobre la columna SC11, por lo tanto, los estratos más antiguos en el área de estudio están representados en la columna SC11. Esta última es correlacionable con la columna SC12, específicamente en los tramos SC11-4 y SC12-1, a partir de una capa basáltica

bajo un potente estrato de fangolita. Si bien la base de la columna SC12 está en una cota mayor que el techo de la columna SC11, se presume la existencia de una falla que desplaza los afloramientos. Este desplazamiento puede ser observado a través de imágenes satelitales siguiendo la capa de basalto, o bien, las capas de arenisca sobre las fangolitas que le sobreyacen (Figura 6.2).

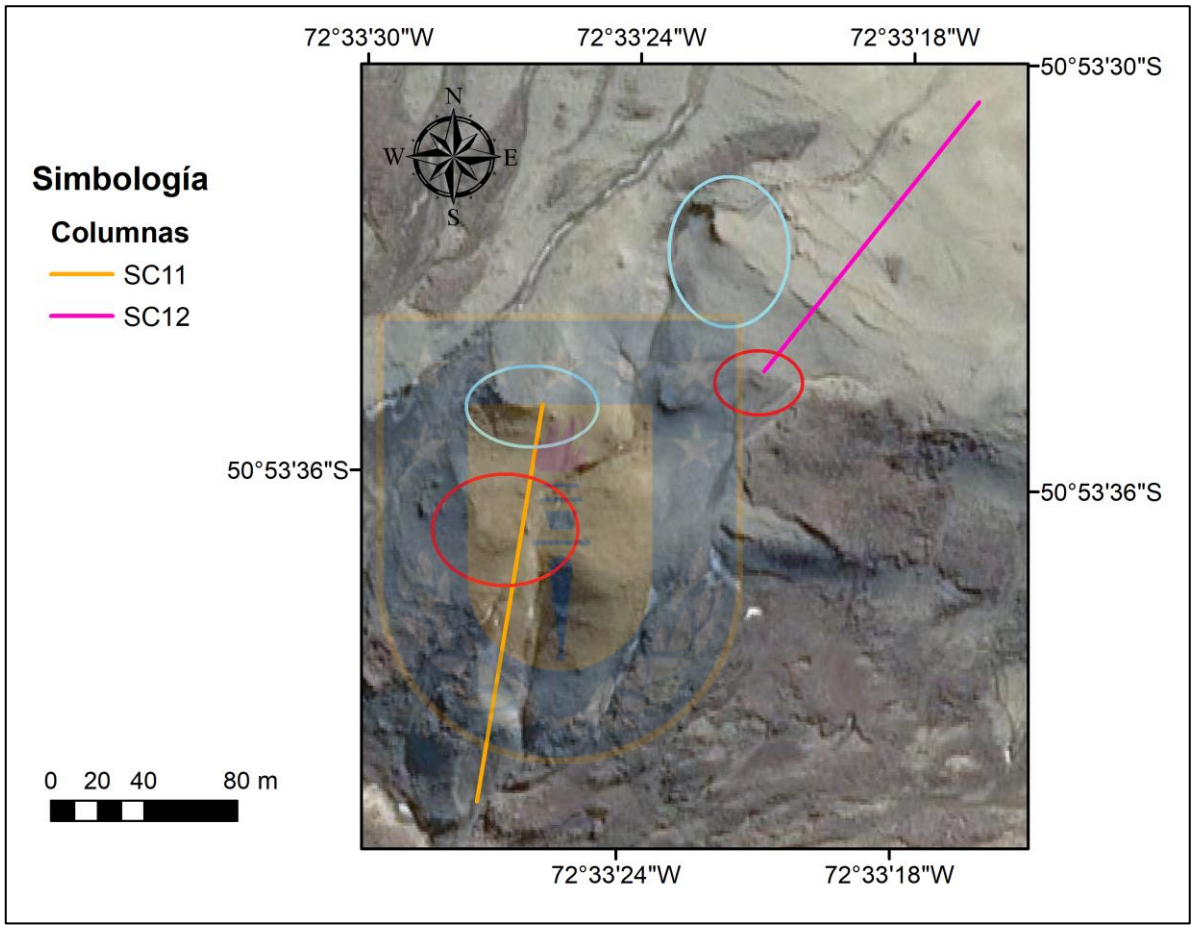


Figura 6.2. **Desplazamiento de afloramientos entre columnas SC11 y SC12.** En rojo, se señala las capa de basalto y, en celeste, las capas de arenisca que sobreyacen a las fangolitas.

Variaciones laterales en el espesor de los estratos son visibles por la correlación entre la columna SC12 y la columna SC4. La secuencia representada en la columna SC4, coincide litológicamente con las intercalaciones de areniscas y areniscas fangosas que también se observan en el tramo SC12-2, siendo en este último menos potentes. Por otro lado, las intercalaciones de areniscas medias y finas de la columna SC3, son similares a las representadas en el tramo SC12-3 y, proyectando las capas, coinciden.

Considerando el manteo de los estratos, se asume que la columna SC2 se sitúa estratigráficamente sobre la columna SC12, en o cerca del techo, además, las areniscas descritas para ambas columnas muestran ciertas semejanzas.

La columna SC1, se encuentra topográficamente más baja y se ubica más al Este que las otras columnas. Siguiendo la orientación de los estratos, que en general mantean hacia el Este (Katz, 1963), la edad de los afloramientos disminuye en esa dirección, es decir, esta columna se sitúa estratigráficamente sobre las columnas anteriormente mencionadas y, por lo tanto, se conforma de las rocas más recientes.

Existe un "vacío" estratigráfico entre las secuencias de sierra Contreras y las más cercanas localizadas en cerro Guido (Figura 6.3), esto dada la falta de afloramientos que unan ambas localidades. Sin embargo, teniendo en cuenta la distribución de las unidades en la zona, que disminuyen en edad de Oeste a Este y hacia el Norte, se infiere que las secciones en sierra Contreras son más antiguas que las descritas en los trabajos de Manríquez (2015) y Ortuya (2017), tanto en cerro Guido como a lo largo del valle del río Las Chinas, estudios que abarcan las formaciones Tres Pasos, Dorotea y Man Aike.

6.2. Facies y Ambiente

Las facies y asociaciones de facies establecidas en este trabajo, permiten inferir que el ambiente en el que se depositaron los estratos en sierra Contreras es un ambiente marino profundo, de borde de plataforma o talud submarino, principalmente con depósitos de corrientes turbidíticas. Esto contrasta con las facies y ambientes descritos por Ortuya (2017) y Manríquez *et al.* (2019), en cerro Guido y el valle del río Las Chinas, puesto que mencionan intercalaciones de secciones atribuidas tanto a un ambiente marino somero (*offshore*, *shoreface* y *foreshore*) como continental (lacustre, llanura de inundación, canales meandriformes), indicativos de una transición entre lo que serían las formaciones Tres Pasos y Dorotea. Cabe destacar que estos estudios abarcan secciones superiores de la Formación Tres Pasos.

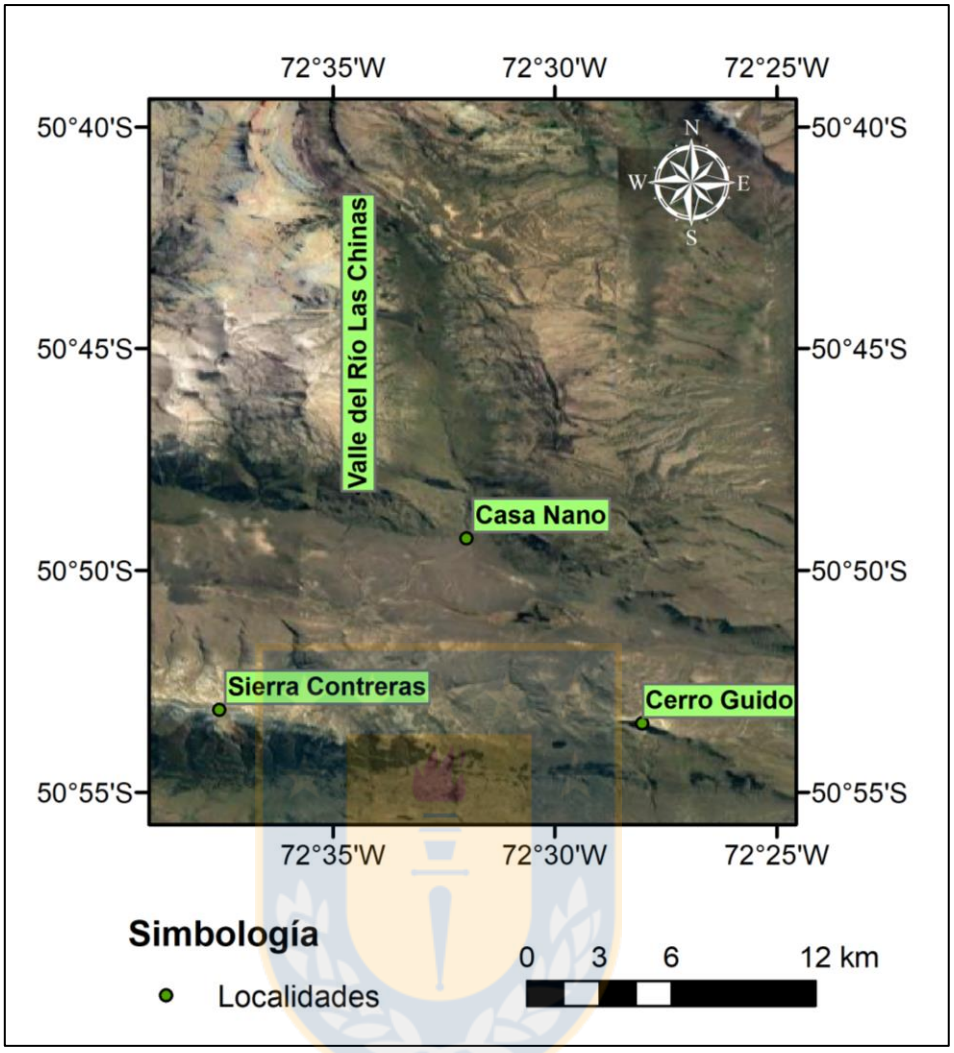


Figura 6.3. Mapa de sierra Contreras y localidades cercanas.

Por otro lado, los afloramientos expuestos en el área de estudio concuerdan con la unidad turbidítica basal, rica en areniscas, definida informalmente por Shultz *et al.* (2005) para la Formación Tres Pasos. Esta subdivisión se interpreta como la representación del perfil depositacional descendente de una unidad de arenisca que sedimenta en o cerca de la base de un talud, y exhibe una evolución de facies canalizadas a facies laminadas.

Shultz y Hubbard (2005) subdividen las secciones de la Formación Tres Pasos, expuestas en El Chingue Bluff, en cuatro asociaciones de litofacies: "*thin-bedded sandstone and silty mudstone*", "*thick-bedded sandstone*", "depósitos caóticos" y "areniscas de grano grueso, amalgamadas",

interpretadas como depósitos de turbiditas de alta y baja densidad, flujos de detritos y depósitos canalizados derivados de corrientes de turbidez, en un ambiente de talud.

Estudios de Armitage *et al.* (2009), determinan en sierra Contreras tres litofacies: "*medium- to thick-bedded sandstone*", "*silty shale and thin-bedded sandstone*" y "depósitos caóticos", que se infieren como el resultado de la depositación a partir de turbiditas de alta densidad, baja densidad y flujos de detritos, respectivamente, en un antiguo sistema de talud de aguas profundas.

En cerro Divisadero, Romans *et al.* (2009) subdividen a la Formación Tres Pasos en tres asociaciones de facies, en función de la litología predominante: "areniscas con limolitas subordinadas", "lutitas con limolitas subordinadas" y "depósitos caóticos ricos en fangolitas", interpretados como depósitos de turbiditas de alta y baja densidad, flujos de gravedad diluidos o depósitos hemipelágicos, y depósitos de transporte en masa, respectivamente. Estas asociaciones, afirman, se originan en un ambiente de talud con aportes de un delta.

Macauley y Hubbard (2013), en contraste, identifican en la formación tres asociaciones: "*thick-bedded amalgamated sandstone*", "*thick- to thin-bedded semi-amalgamated sandstone*" y "*thin-bedded non-amalgamated sandstone*", que señalan como depósitos de turbiditas de alta y baja densidad. Los afloramientos, cerca de laguna Figueroa, son interpretados como un sistema de canales en un talud de aguas profundas, en la base de un margen de cuenca.

Gutiérrez *et al.* (2017), describen para la Formación Tres Pasos, en las cercanías del río Las Chinas y cerro Guido, secuencias que consisten en intercalaciones decimétricas de areniscas finas, limolitas y lutitas ricas en materia orgánica, que atribuyen a facies típicas de turbiditas distales en un ambiente de talud continental. No obstante, hacia el techo de la formación, señalan un aumento en el tamaño de grano, reflejado en facies de areniscas con laminación cruzada planar y en artesa. Sugieren entonces, una transición a un ambiente marino somero de plataforma, o *shoreface* inferior a *shoreface* superior, además de una transición gradual a facies deltaicas de la Formación Dorotea.

Con base en lo descrito anteriormente, se infiere la ocurrencia de una somerización entre las secuencias de sierra Contreras y cerro Guido, dado el cambio de facies marinas profundas (en la base de la Formación Tres Pasos en sierra Contreras) a una transición entre facies marinas someras y continentales (en el techo de la formación en cerro Guido), pero hay una ausencia de registro en el llamado "vacío" estratigráfico, previamente mencionado, que uniría ambas localidades.

Por otra parte, estos trabajos no definen facies de abanicos submarinos para la Formación Tres Pasos. Shultz y Hubbard (2005) afirman que las secuencias sedimentarias depositadas en un talud pueden ser similares a las de sistemas de abanicos submarinos en la llanura de una cuenca, pero es necesario un contexto sub-regional a regional para distinguir entre una configuración de "cuenca de intra-pendiente" (*instraslope-basin*) y un abanico. Adicionalmente, añaden que es probable que muchos afloramientos fueran interpretados como antiguos sistemas de abanicos submarinos, de manera errónea, dado que los límites de una "cuenca de intra-pendiente" son demasiado grandes para ser visibles a la escala de algunos afloramientos. Teniendo esto en consideración, y dada la escala de este trabajo, no fue posible establecer aquella interpretación. Si bien se definen depósitos de lóbulos y canales de abanicos, estos serían equivalentes a los depósitos no canalizados y canalizados que otros autores señalan.

En cuanto al contexto tectónico, el aumento de las tasas de expansión del océano Atlántico sumado a la subducción acelerada en el margen occidental de Sudamérica, durante el Cretácico Inferior, producen una transición desde extensión a compresión en los Andes Patagónicos (Fosdick *et al.*, 2011). La comprensión, relacionada a etapas tempranas de orogénesis, produce un cinturón de fajas corridas y plegadas asociado a una cuenca de antepaís (cuenca de Magallanes), en el margen oriental de la cordillera, desde finales del Cretácico al Neógeno (Wilson, 1991; Fildani *et al.*, 2003).

Según Mutti *et al.* (2003), múltiples evidencias señalan que las turbiditas arenosas de cuenca se originan a partir de inundaciones catastróficas y fallas en el sedimento, en regiones de plataforma y talud, durante forzadas caídas relativas en el nivel del mar, como consecuencia de un dramático alzamiento del margen de una cuenca de antepaís (Figura 6.4). El alzamiento progresivo

incrementa el volumen y concentración del sedimento transportado por los ríos en sistemas fluvio-deltaicos, lo que genera erosión del lecho y la aceleración del flujo a lo largo de conductos submarinos, que dan lugar a corrientes de turbidez bipartitas altamente eficientes. Como síntesis, la suma del levantamiento tectónico, que controla la disponibilidad de sedimentos y la inclinación del perfil de depósito, y el clima, que controla las inundaciones, desencadenan flujos de gravedad que progresivamente se transforman en corrientes de turbidez.

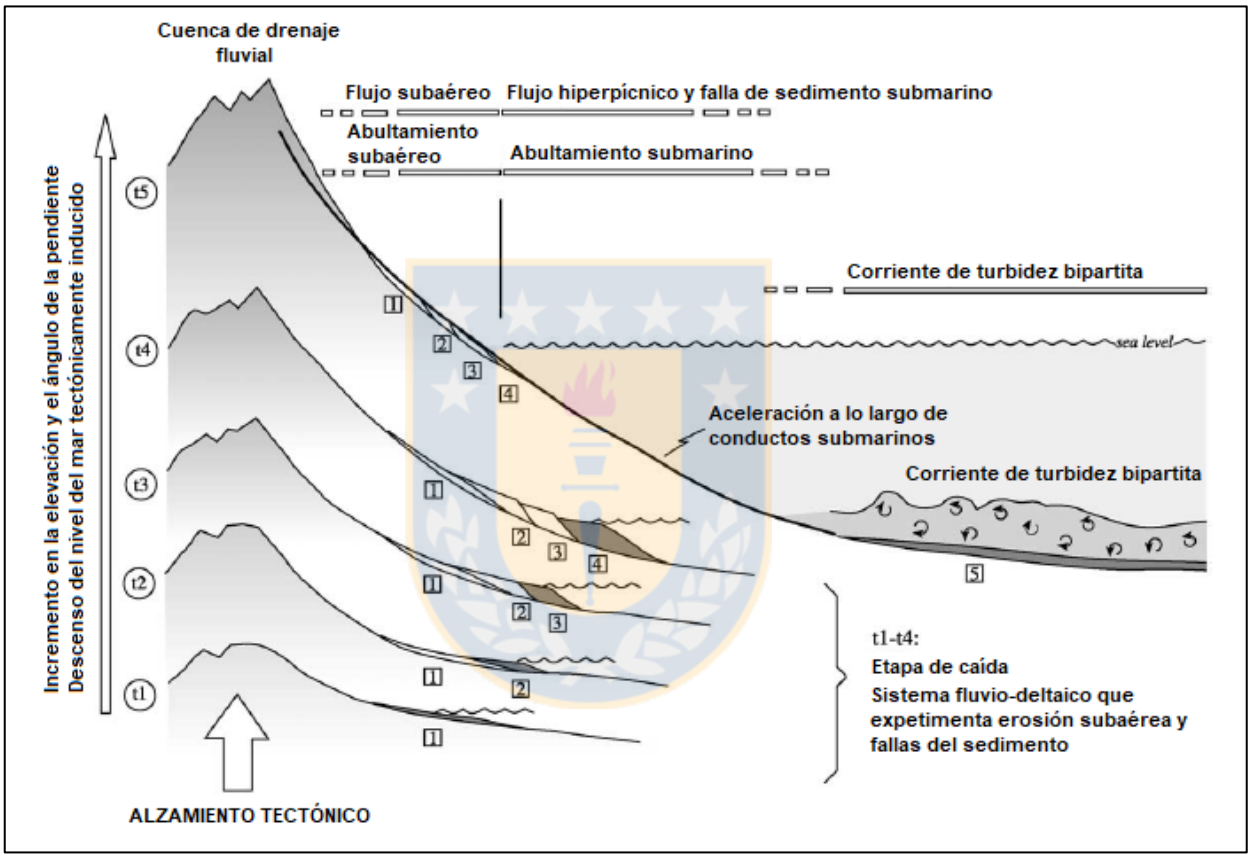


Figura 6.4. **Esquema que muestra las condiciones necesarias para formar corrientes de turbidez eficientes, de gran volumen, en una cuenca de antepaís.** Modificado de Mutti *et al.* (2003).

6.3. Contenido Palinológico y Clima

El conjunto de palinormorfos reconocidos en estratos tanto de la base como del techo del área de estudio, permiten inferir, en primera instancia, que el paleoclima predominante durante la depositación de las secuencias descritas, corresponde a un clima templado frío a subtropical. Por

otra parte, la aparente abundancia de pteridofitas por sobre angiospermas y gimnospermas, además del tamaño de los granos de polen, señala condiciones de humedad alta.

En un estrato de fangolita de la columna SC1, se reconocen el dinoflagelado *Palaeocystodinium* y un pseudomorfo del mineral ikaita (glendonita). El primero tiene una preferencia por climas cálidos de bajas latitudes, mientras que la ikaita se forma en aguas marinas frías, con temperaturas entre los 0º y 7ºC aproximadamente. Esto sugiere transiciones climáticas entre periodos cálidos y fríos, la baja abundancia del género *Palaeocystodinium* (sólo un ejemplar), señala que las condiciones predominantes son más frías.

Esta información contrasta con análisis efectuados en cerro Guido y localidades a lo largo del valle del río Las Chinas, en función de improntas foliares (Pino *et al.*, 2016; Ortuya, 2017) y foraminíferos (Garrido, 2017). Dichos estudios indican que el clima durante el Campaniano-Maastrichtiano exhibe un patrón de enfriamiento, pasando de un clima tropical a subtropical a condiciones más frías hacia fines del Maastrichtiano.

Se recomienda un muestreo más exhaustivo y análisis más detallado que permitan obtener resultados más precisos respecto al paleoclima, dado que el número de muestras extraídas en este trabajo es reducido, sumado a las malas condiciones de conservación del material.

7. CONCLUSIONES

Los afloramientos de rocas, en el sector oriental de sierra Contreras, son estudiados a partir de 6 columnas estratigráficas: SC1, SC2, SC3, SC4, SC11 y SC12. Dichos afloramientos se identifican como la base de la Formación Tres Pasos, cuya potencia total aproximada en el área es de 162 m.

Las secciones examinadas indican que la Formación Tres Pasos se constituye de areniscas y areniscas fangosas de granulometría fina a media, en menor medida media-gruesa, fangolitas y fangolitas arenosas, conglomerados arenosos matriz soportados y rocas ígneas de composición basáltica. La orientación de los estratos es variable, por un lado, el rumbo oscila entre los N77ºW y N82ºE, por otro, el manteo tiende a ser bajo, oscilando entre 21ºSW, 10ºNW y 6ºNE.

El contenido macrofosilífero es escaso y pobremente conservado, lo que dificulta su identificación. Se conforma de fragmentos de troncos y hojas, entre los cuales se reconocen angiospermas y una gimnosperma de la familia Podocarpaceae, además de escasos invertebrados, que incluyen un bivalvo indeterminado y el ammonite *Hoplitoplacenticeras plasticum*.

El análisis de trazas fósiles permite identificar 5 icnogéneros, que pueden ser asignados a las icnofacies de *Skolithos*, *Cruziana* o *Zoophycos*, coincidiendo en la icnofacies de *Cruziana*: *Thalassinoides*, *Skolithos*, *Palaeophycus*, *Rhizocorallium* y *Taenidium*.

En función de la litología y estructuras presentes en las secciones estratigráficas analizadas, se establecen un total de 7 facies y 12 “subfacies”:

- Facies de areniscas (S): subfacies de arenisca masiva (mS), con estratificación paralela (sS) y con estratificación y laminación paralela (slS).
- Facies de fangolita (M): subfacies de fangolita con laminación paralela (lM) y masiva (mM).
- Facies de alternancia de areniscas y fangolitas, con dominio de areniscas (SM): subfacies de areniscas y fangolitas con estratificación y laminación paralela (slSM).

- Facies de alternancia de areniscas y fangolitas, con dominio de fangolitas (MS): subfacies de areniscas y fangolitas con estratificación y laminación paralela (slMS).
- Facies de arenisca con grava (PyS): subfacies de arenisca con grava gradada y estratificación paralela (gsPyS).
- Facies de fangolita arenosa (SyM): subfacies de fangolita arenosa con laminación paralela (lSyM).
- Facies de arenisca fangosa (MyS): subfacies de arenisca fangosa con laminación paralela (lMyS), masiva (mMyS) y con estratificación paralela (sMyS).

Considerando la distribución ordenada de las facies, se definen 6 asociaciones:

- Fangolitas arenosas laminadas intercaladas con areniscas fangosas masivas.
- Areniscas fangosas masivas.
- Fangolitas laminadas o masivas intercaladas con areniscas fangosas o areniscas masivas.
- Areniscas con estratificación paralela, laminación paralela o masivas intercaladas con areniscas fangosas con estratificación o laminación paralela, y niveles de conglomerado arenoso.
- Alternancia de areniscas y fangolitas, dominada por areniscas, con niveles de conglomerado arenoso.
- Alternancia de areniscas y fangolitas, con dominio de fangolitas.

La reconstrucción de la evolución genética en sierra Contreras, de base a techo, parte con depósitos derivados de corrientes de turbidez de alta densidad, en lóbulos de un abanico submarino, seguidos por un aumento en el tamaño de grano en depósitos de lóbulos próximos al canal de un abanico. Corrientes de turbidez de baja densidad producen depósitos de lóbulos distales, ricos en fangolitas, que posteriormente varían a depósitos de canal, con *rip-up clasts*, niveles conglomerádicos y predominancia de arenas; originados por corrientes de turbidez de alta densidad, también de un abanico submarino. Luego, continúan sucesiones de depósitos de lóbulos próximos al canal de un abanico submarino, dominados por areniscas, y depósitos de lóbulos distales, dominados por fangolitas, originados por corrientes de turbidez de alta densidad y baja densidad, respectivamente.

El ambiente de depositación para los estratos de la Formación Tres Pasos, en sierra Contreras, es un ambiente marino profundo, anóxico a subóxico. Corresponde a un talud submarino, con variaciones entre facies laminadas proximales y distales, y facies de canal, originadas a partir de turbiditas extracuencales, que incluyen aporte de material tanto del continente como de la cuenca marina.

El análisis del contenido palinológico, el cual se encuentra en mal estado de preservación, en estratos de fangolita, permite reconocer un total de 20 especímenes. Incluyen los géneros de pteridofitas *Baculatisporites*, *Biretisporites*, *Clavifera*, *Cyathidites*, *Deltoidospora*, *Gleicheniidites* e *Ischyosporites*?; de gimnospermas *Araucariacites*, *Classopollis*, *Podocarpidites*, *Taxodiaceaepollenites* y *Trichotomosulcites*; de angiospermas *Arecipites*, *Ericipites*, *Peninsulapollis*, *Quadraplanus*?, *Rhoipites*?; el dinoflagelado *Palaeocystodinium* y esporas tanto de algas como de hongos.

En la base de la secuencia (columna SC11), dominan las esporas de pteridofitas, mayoritariamente de los géneros *Cyathidites* y *Gleicheniidites*, con menor abundancia el polen de angiospermas, donde destacan los géneros *Ericipites* y *Arecipites*, seguidos en último lugar por el polen de gimnospermas, resaltando el género *Araucariacites*. En el techo (columna SC1), predominan las esporas de pteridofitas, en general de los géneros *Cyathidites*, *Deltoidospora*, *Biretisporites* y *Gleicheniidites*; seguidas por el polen de gimnospermas, principalmente de los géneros *Trichotomosulcites* y *Araucariacites*, y finalmente por el polen de angiospermas, fundamentalmente del género *Arecipites*. Además, destaca la presencia del mineral ikaita y el dinoflagelado *Palaeocystodinium*.

Se estima, de manera preliminar, que el clima predominante en el área de estudio es templado frío a subtropical, bajo condiciones de humedad alta.

La integración de la información planteada en este nuevo estudio a los antecedentes recopilados en las localidades de cerro Guido y el valle del río Las Chinas, permite completar el registro geológico del área, con secuencias más antiguas, aportando a la reconstrucción de la evolución geológica de la cuenca de Magallanes durante el Cretácico Superior.

8. REFERENCIAS

ALABASTER, T. & STOREY, B.C. 1990. Modified gulf of California model for South Georgia, North Scotia ridge, and implications for the Rocas Verdes back-arc basin, southern Andes. *Geology*. Vol. **18** (6): 497-500.

ALTENBERGER, U.; OBERHÄNSLI, R.; PUTLITZ, B. & WEMMER, K. 2003. Tectonic controls and Cenozoic magmatism at the Torres del Paine, southern Andes (Chile, 51º10'S). *Revista Geológica de Chile*. Vol. **30** (1): 65-81. Santiago.

ALVIN, K.L. 1982. Cheirolepidiaceae: biology, structure and paleoecology. *Review of Palaeobotany and Palynology*. Vol. **37**: 71-98.

ARMITAGE, D.A. & STRIGHT, L. 2010. Modeling and interpreting the seismic-reflection expression of sandstone in an ancient mass-transport deposit dominated deep-water slope environment. *Marine and Petroleum Geology*. Vol. **27** (1): 1-12.

ARMITAGE, D.A.; ROMANS, B.W.; COVAULT, J.A. & GRAHAM, S.A. 2009. The influence of mass-transport-deposit surface topography on the evolution of turbidite architecture: the sierra Contreras, Tres Pasos Formation (Cretaceous), southern Chile. *Journal of Sedimentary Research*. Vol. **79** (5): 287-301.

BERNHARDT, A.; JOBE, Z.R. & LOWE, D.R. 2011. Stratigraphic evolution of a submarine channel-lobe complex system in a narrow fairway within the Magallanes foreland basin, Cerro Toro Formation, southern Chile. *Marine and Petroleum Geology*. Vol. **28** (3): 785-806.

BERNHARDT, A.; JOBE, Z.R.; GROVE, M. & LOWE, D.R. 2012. Palaeogeography and diachronous infill of an ancient deep-marine foreland basin, Upper Cretaceous Cerro Toro Formation, Magallanes basin. *Basin Research*. Vol. **24** (3): 269-294.

BÖRGEL, R. 1983. Geomorfología. En Geografía de Chile, Tomo II. Instituto Geográfico Militar: 182 pp. Santiago.

BOSTELMANN, E.; LE ROUX, J.P.; VÁSQUEZ, A.; GUTIÉRREZ, N.; OYARZÚN, J.L.; CARREÑO, C.; TORRES, T.; OTERO, R.; LLANOS, A.; FANNING, C.M.; NIELSEN, S.N. & HERVÉ, F. 2012. A revised lithostratigraphy of the sierra Baguales, Magallanes basin. XIII Congreso Geológico Chileno: 695-697. Antofagasta.

BOWMAN, V.C.; FRANCIS, J.E.; ASKIN, R.A.; RIDING, J.B. & SWINDLES, G.T. 2014. Latest Cretaceous-earliest Paleogene vegetation and climate change at the high southern latitudes: palynological evidence from Seymour island, Antarctic peninsula. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Vol. **408**: 26-47.

BRINKHUIS, H.; BUJAK, J.P.; SMIT, J.; VERSTEEGH, G.J.M. & VISSCHER, H. 1998. Dinoflagellate-based sea surface temperature reconstructions across the Cretaceous-Tertiary boundary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Vol. **141** (1-2): 67-83.

BUATOIS, L.A.; MÁNGANO, M.G. & ACEÑOLAZA, F.G. 2002. Trazas fósiles: señales de comportamiento en el registro estratigráfico. Edición especial del Museo Paleontológico Egidio Feruglio. Nº2: 382 pp. Trelew.

CALDERÓN, G. 2006. Proteaceae. En Flora del bajío y de regiones adyacentes, Fascículo 143 (Rzedowski, J. & Calderón, G. editores). Instituto de Ecología: 5 pp. Pátzcuaro, México.

CALDERÓN, M.; HERVÉ, F.; CORDANI, U. & MASSONNE, H.J. 2007b. Crust-mantle interactions and generation of silicic melts: insights from the Sarmiento Complex, southern Patagonian Andes. *Revista Geológica de Chile*. Vol. **34** (2): 249-275.

CALDERÓN, M.; FILDANI, A.; HERVÉ, F.; FANNING, C.M.; WEISLOGEL, A. & CORDANI, U. 2007a. Late Jurassic bimodal magmatism in the northern sea-floor remnant of the

Rocas Verdes basin, southern Patagonian Andes. *Journal of the Geological Society*. Vol. **164** (5): 1.011-1.022. Great Britain.

CAMACHO, H.H.; CHIESA, J.O.; PARMA, S.G. & REICHLER, V. 2000. Invertebrados marinos de la Formación Man Aike (Eoceno medio), Provincia de Santa Cruz, Argentina. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias*. Vol. **64**: 187-208. Córdoba.

CAÑON, A. 2000. Nuevos antecedentes en la estratigrafía de la cuenca de Magallanes. *Anales del Instituto de la Patagonia, Serie Ciencias Naturales*. Vol. **28**: 41-50. Chile.

CARRANZA, E. 1992. Taxodiaceae. En Flora del bajío y de regiones adyacentes, Fascículo 4 (Rzedowski, J. & Calderón, G. editores). Instituto de Ecología: 7 pp. Pátzcuaro, México.

CEC CONSULTORES. 2003. Plan regional de desarrollo urbano, XII Región de Magallanes y la Antártica Chilena. Chile.

CECIONI, G. 1957a. Età della flora del cerro Guido e stratigrafia del Departamento Ultima Esperanza, Provincia di Magellano, Cile. *Bollettino della Società Geologica Italiana*. Vol. **76**: 3-16.

CECIONI, G. 1957b. Cretaceous flysch and molasse in Departamento Ultima Esperanza, Magallanes Province, Chile. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. Vol. **41** (3): 538-564.

CECIONI, G. & GALLO, H. 1955. Reconocimiento para un programa de perforaciones en el Departamento de Última Esperanza hacia el Norte de la ciudad de Puerto Natales. Empresa Nacional del Petróleo. Magallanes.

CHARRIER, R.; PINTO, L. & RODRÍGUEZ, M.P. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean orogen in Chile. En The geology of Chile, Chapter 3 (Gibbons, W. & Moreno, T. editores). Geological Society of London, Special Publications: 21-114.

CONAMA, 2002. Diagnóstico y propuesta para la conservación de la biodiversidad en la XII Región. Comisión Nacional del Medio Ambiente: 151 pp. Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, Chile.

CONAMA, 2008. Biodiversidad de Chile, patrimonio y desafíos. Ocho Libros Editores: 640 pp. Santiago, Chile.

CONCHEYRO, A. 1991. Nanofósiles calcáreos de la Formación Man Aike (Eoceno, Sudeste del lago Cardiel) Santa Cruz, Argentina. *Ameghiniana*. Vol. **28** (3-4): 385-399. Buenos Aires.

CORTÉS, R. 1964. Reconocimiento geológico del área río Las Chinas-río Bandurrias (Última Esperanza). Empresa Nacional del Petróleo, Magallanes: 12 pp. Punta Arenas.

COVAULT, J.A.; ROMANS, B.W. & GRAHAM, S.A. 2009. Outcrop expression of a continental-margin-scale shelf-edge delta from the Cretaceous Magallanes basin, Chile. *Journal of Sedimentary Research*. Vol. **79** (7): 523-539.

CRANE, W.H. & LOWE, D.R. 2008. Architecture and evolution of the Paine channel complex, Cerro Toro Formation (Upper Cretaceous), Silla syncline, Magallanes basin, Chile. *Sedimentology*. Vol. **55** (4): 979-1.009.

CRIMES, T.P.; GOLDRING, R.; HOMEWOOD, P.; STUIJVENBERG, J. v. & WINKLER, W. 1981. Trace fossil assemblages of deep-sea fan deposits, Gurnigel and Schlieren flysch (Cretaceous-Eocene), Switzerland. *Eclogae Geologicae Helvetiae*. Vol. **74** (3): 953-995. Basle.

CRUZ, C. & CALDERÓN, J. 2008. Guía climática práctica. Dirección Meteorológica de Chile: 116 pp. Santiago.

DALZIEL, I.W.D. 1981. Back-arc extension in the southern Andes: a review and critical reappraisal. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Vol. **300** (1.454): 319-335. Great Britain.

DALZIEL, I.W.D. 1986. Collision and cordilleran orogenesis: an Andean perspective. En Collision tectonics (Coward, M.P. & Ries, A.C. editores). Geological Society of London, Special Publications. Vol. **19** (1): 389-404.

DALZIEL, I.W.D. & BROWN, R.L. 1989. Tectonic denudation of the Darwin metamorphic core complex in the Andes of Tierra del Fuego, southernmost Chile: implications for cordilleran orogenesis. *Geology*. Vol. **17** (8): 699-703.

DANIELS, B.G.; AUCHTER, N.C.; HUBBARD, S.M.; ROMANS, B.W.; MATTHEWS, W.A. & STRIGHT, L. 2018. Timing of deep-water slope evolution constrained by large-*n* detrital and volcanic ash zircon geochronology, Cretaceous Magallanes basin, Chile. *Geological Society of America Bulletin*. Vol. **130** (3-4): 438-454.

DELUCCHI, G. & HURRELL, J.A. 2008. Arecaceae. En Flora rioplatense, Parte 3: Monocotiledóneas, Vol. 1 (Hurrell, J.A. editor). Editorial LOLA: 91-132. Buenos Aires.

ERRÁZURIZ, A.M.; CERECEDA, P.; GONZÁLEZ, J.I.; GONZÁLEZ, M.; HENRÍQUEZ, M. & RIOSECO, R. 1998. Manual de Geografía de Chile. Editorial Andrés Bello: 443 pp. Santiago, Chile.

FILDANI, A. & HESSLER, A.M. 2005. Stratigraphic record across a retroarc basin inversion: Rocas Verdes-Magallanes basin, Patagonian Andes, Chile. *Geological Society of American Bulletin*. Vol. **117** (11-12): 1.596-1.614.

FILDANI, A.; COPE, T.D.; GRAHAM, S.A. & WOODEN, J.L. 2003. Initiation of the Magallanes foreland basin: timing of the southernmost Patagonian Andes orogeny revised by detrital zircon provenance analysis. *Geology*. Vol. **31** (12): 1.081-1.084.

FILDANI, A.; CRANE, W.H.; ROMANS, B.W.; HUBBARD, S.M. & SHULTZ, M.R. 2007. Overview: Mesozoic through early Tertiary stratigraphic evolution and deep-water deposition of

the Magallanes basin, Chile. *The American Association of Petroleum Geologists*. Vol. **56**: 123-124.

FILDANI, A.; ROMANS, B.W.; FOSDICK, J.C.; CRANE, W.H. & HUBBARD, S.M. 2008. Orogenesis of the Patagonian Andes as reflected by basin evolution in southernmost South America. En Ores and orogenesis: Circum-Pacific tectonics, geologic evolution, and ore deposits (Spencer, J.E. & Titley, S.R. editores). *Arizona Geological Society Digest.* Vol. **22**: 259-268.

FOLK, R.L. 1968. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill's: 170 pp. Austin, Texas.

FOLK, R.L.; ANDREWS, P.B. & LEWIS, D.W. 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*. Vol. **13** (4): 937-968.

FOSDICK, J.C.; GROVE, M.; GRAHAM, S.A.; HOURIGAN, J.K.; LOVERA, O. & ROMANS, B.W. 2015. Detrital thermochronologic record of burial heating and sediment recycling in the Magallanes foreland basin, Patagonian Andes. *Basin Research*. Vol. **27** (4): 546-572.

FOSDICK, J.C.; ROMANS, B.W.; FILDANI, A.; BERNHARDT, A.; CALDERÓN, M. & GRAHAM, S.A. 2011. Kinematic evolution of the Patagonian retroarc fold-and-thrust belt and Magallanes foreland basin, Chile and Argentina, 51º30’S. *Geological Society of America Bulletin*. Vol. **123** (9-10): 1.679-1.698.

FURQUE, G. 1973. Descripción geológica de la hoja 58b, lago Argentino, Provincia de Santa Cruz. *Boletín del Servicio Geológico Nacional*. Vol. **140**: 1- 49. Buenos Aires.

GARRIDO, S. 2017. Foraminíferos, ostrácodos y nanofósiles calcáreos del Campaniano-Maastrichtiano del valle del río de Las Chinas: implicancias paleoambientales, paleoecológicas y paleobiogeográficas. Región de Magallanes y de la Antártica Chilena. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 185 pp. Concepción.

GERARD, J.R.F. & BROMLEY, R.G. 2008. Ichnofabrics in clastic sediments. Applications to sedimentological core studies: a practical guide. Jean R.F. Gerard: 97 pp. Madrid, España.

GHIBAUDO, G. 1992. Subaqueous sediment gravity flow deposits: practical criteria for their field description and classification. *Sedimentology*. Vol. **39**: 423-454.

GRIENER, K.W. & WARNY, S. 2015. *Nothofagus* pollen grain size as a proxy for long-term climate change: an applied study on Eocene, Oligocene, and Miocene sediments from Antarctica. *Review of Palaeobotany and Palynology*. Vol. **221**: 138-143.

GUST, D.A.; BIDDLE, K.T.; PHELPS, D.W. & ULIANA, M.A. 1985. Associated middle to late Jurassic volcanism and extension in southern South America. *Tectonophysics*. Vol. **116** (3-4): 223-253. Amsterdam.

GUTIÉRREZ, N.M.; LE ROUX, J.P.; VÁSQUEZ, A.; CARREÑO, C.; PEDROZA, V.; ARAOS, J.; OYARZÚN, J.L.; PINO, J.P.; RIVERA, H.A. & HINOJOSA, L.F. 2017. Tectonic events reflected by palaeocurrents, zircon geochronology, and palaeobotany in the sierra Baguales of Chilean Patagonia. *Tectonophysics*. Vol. **695**: 76-99.

HALPERN, M. 1973. Regional geochronology of Chile South of 50º latitude. *Geological Society of America Bulletin*. Vol. **84** (7): 2.407-2.422.

HAUTHAL, R. 1907. Croquis geológico de la región entre el lago Argentino y el seno Última Esperanza, 1: 500.000. *Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg*. Vol. **15**, Pl. 1. Freiburg.

HERVÉ, F.; PANKHURST, R.J.; FANNING, C.M.; CALDERÓN, M. & YAXLEY, G.M. 2007. The South Patagonian batholith: 150 My of granite magmatism on a plate margin. *Lithos*. Vol. **97** (3-4): 373-394.

HUBBARD, S.M.; ROMANS, B.W. & GRAHAM, S.A. 2008. Deep-water foreland basin deposits of the Cerro Toro Formation, Magallanes basin, Chile: architectural elements of a sinuous basin axial channel belt. *Sedimentology*. Vol. **55** (5): 1.333-1.359.

HUBBARD, S.M.; FILDANI, A.; ROMANS, B.W.; COVAULT, J.A. & MCHARGUE, T.R. 2010. High-relief slope clinoform development: insights from outcrop, Magallanes basin, Chile. *Journal of Sedimentary Research*. Vol. **80**: 357-375.

HÜNICKEN, M. 1955. Depósitos neocretácicos y terciarios del extremo SSW de Santa Cruz (cuenca carbonífera de Río Turbio). *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia*. Vol. **4** (1): 1-164. Buenos Aires.

KATZ, H.R. 1963. Revision of Cretaceous stratigraphy in Patagonian cordillera of Ultima Esperanza, Magallanes Province, Chile. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. Vol. **47** (3): 506-524.

KERSHAW, P. & WAGSTAFF, B. 2001. The southern conifer family Araucariaceae: history, status, and value for paleoenvironmental reconstruction. *Annual Review of Ecology and Systematics*. Vol. **32**: 397-414.

KRON, K.A. & CHASE, M.W. 1993. Systematics of the Ericaceae, Empetraceae, Epacridaceae and related taxa based upon rbcL sequence data. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. Vol. **80** (3): 735-741.

LAHSEN, A. & CHARRIER, R. 1972. Late Cretaceous ammonites from seno Skyring-Strait of Magellan area, Magallanes Province, Chile. *Journal of Paleontology*. Vol. **46** (4): 520-532.

LE ROUX, J.P.; PURATICH, J.; MOURGUES, F.A.; OYARZÚN, J.L.; OTERO, R.A.; TORRES, T. & HERVÉ, F. 2010. Estuary deposits in the Río Baguales Formation (Chattian-Aquitanean), Magallanes Province, Chile. *Andean Geology*. Vol. **37** (2): 329-344.

LEY N°17.288. Ley de Monumentos Nacionales y Normas Relacionadas. Santiago, Chile. 4 de Febrero de 1970.

LOWE, D.R. 1982. Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Petrology*. Vol. **52** (1): 279-297.

MACAULEY, R.V. & HUBBARD, S.M. 2013. Slope channel sedimentary processes and stratigraphic stacking, Cretaceous Tres Pasos Formation slope system, Chilean Patagonia. *Marine and Petroleum Geology*. Vol. **41**: 146-162.

MACELLARI, C.E. 1988. Late Cretaceous Kossmaticeratidae (Ammonoidea) from the Magallanes basin, Chile. *Journal of Paleontology*. Vol. **62** (6): 889-905.

MACELLARI, C.E.; BARRIO, C.A. & MANASSERO, M.J. 1989. Upper Cretaceous to Paleocene depositional sequences and sandstone petrography of southwestern Patagonia (Argentina and Chile). *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. **2** (3): 223-239.

MALUMIÁN, N. 1990. Foraminíferos de la Formación Man Aike (Eoceno, Sureste lago Cardiel), Provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. Vol. **45** (3-4): 365-385. Buenos Aires.

MALUMIÁN, N. 2002. El Terciario marino. Sus relaciones con el eustatismo. En Geología y recursos naturales de Santa Cruz (Haller, M.J. editor). Relatorio XV Congreso Geológico Argentino. Vol. **I-15**: 237-244. El Calafate.

MANN, G. 1960. Regiones biogeográficas de Chile. *Investigaciones Zoológicas Chilenas*. Vol. **6**: 15-49.

MANRÍQUEZ, L. 2015. Estratigrafía y ambiente de sedimentación de los depósitos marinos-continentales del Maastrichtiano-Eoceno del sector río Las Chinas, Provincia de Última

Esperanza, Región de Magallanes y de la Antártica Chilena. Chile. Memoria para optar al Título de Geóloga. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 130 pp. Concepción.

MANRÍQUEZ, L.M.E.; LAVINA, E.L.; FERNÁNDEZ, R.A.; TREVISAN, C. & LEPPE, M.A. 2019. Campanian-Maastrichtian and Eocene stratigraphic architecture, facies analysis, and paleoenvironmental evolution of the northern Magallanes basin (Chilean Patagonia). *Journal of South American Earth Sciences*, doi: https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.04.010.

MARENSSI, S.A.; CASADÍO, S. & SANTILLANA, S.N. 2002. La Formación Man Aike al Sur de El Calafate (Provincia de Santa Cruz) y su relación con la discordancia del Eoceno medio en la cuenca Austral. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. Vol. **57** (3): 341-344.

MARENSSI, S.A.; CASADÍO, S. & SANTILLANA, S.N. 2003. Estratigrafía y sedimentología de las unidades del Cretácico Superior-Paleógeno aflorantes en la margen Sureste del lago Viedma, Provincia de Santa Cruz, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. Vol. **58** (3): 403-416.

MARQUEZ, G.J. 2016. Familia CYATHEACEAE Kaulf. En Flora vascular de la República Argentina 2: Licofitas, Helechos, Gymnospermae (Ponce, M.M. & Arana, M.D. autores, Anton, A.M.; Zuloaga, F.O. & Belgrano, M.J. editores). Instituto de Botánica Darwinion: 105-110. Argentina.

MARQUEZ, G. & OCAMPO, D. 2016. Familia DICKSONIACEAE M.R. Schomb. En Flora vascular de la República Argentina 2: Licofitas, Helechos, Gymnospermae (Ponce, M.M. & Arana, M.D. autores, Anton, A.M.; Zuloaga, F.O & Belgrano, M.J. editores). Instituto de Botánica Darwinion: 125-128. Argentina.

MELLA, P. 2001. Control tectónico en la evolución de la cuenca de antepaís de Magallanes, XII Región, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 149 pp. Concepción.

MEZA, L. 2015. Turbiditas. Trabajo Final Cátedra de Sedimentología Especial. Facultad de Ciencias Naturales y Museo Universidad Nacional de la Plata: 41 pp.

MICHAEL, P.J. 1983. Emplacement and differentiation of Miocene plutons in the foothills of the southernmost Andes. PhD Thesis. Columbia University (Inédito): 367 pp.

MICHAEL, P.J. 1991. Intrusion of basaltic magma into a crystallizing granitic magma chamber: the Cordillera del Paine pluton in southern Chile. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. Vol. **108** (4): 396-418.

MUTTI, E. 1992. Turbidite Sandstones. Agip: 275 pp. Milán, Italia.

MUTTI, E. & NILSEN, T.H. 1981. Significance of intraformational rip-up clasts in deep-sea fan deposits. International Association of Sedimentologists, 2nd European Regional Meeting Abstracts: 117-119. Bologna, Italy.

MUTTI, E.; TINTERRI, R.; BENEVELLI, G.; DI BIASE, D. & CAVANNA, G. 2003. Deltaic, mixed and turbidite sedimentation of ancient foreland basins. *Marine and Petroleum Geology*. Vol. **20** (6): 733-755.

NICHOLS, G. 1999. Sedimentology and stratigraphy. Blackwell Science: 355 pp. Oxford.

ORTUYA, M. 2017. Estratigrafía, paleoambiente y paleoclima del Cretácico Superior de cerro Guido y sector Sur del valle del río Las Chinas. Provincia de Última Esperanza, Región de Magallanes y la Antártica Chilena, Chile. Memoria para optar al Título de Geóloga. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 80 pp. Concepción.

OTERO, R.A.; SUÁREZ, M.E. & LE ROUX, J.P. 2009. First record of Elasmosaurid Plesiosaurs (Sauropterygia: Plesiosauria) in upper levels of the Dorotea Formation, Late Cretaceous (Maastrichtian), Puerto Natales, Chilean Patagonia. *Andean Geology*. Vol. **36** (2): 342-350.

PALACIOS, M. 1993. Osmundaceae. En Flora del bajío y de regiones adyacentes, Fascículo 12 (Rzedowski, J. & Calderón, G. editores). Instituto de Ecología: 6 pp. Pátzcuaro, México.

PANKHURST, R.J.; RILEY, T.R.; FANNING, C.M. & KELLEY, S.P. 2000. Episodic silicic volcanism in Patagonia and the Antarctic peninsula: chronology of magmatism associated with the break-up of Gondwana. *Journal of Petrology*. Vol. **41** (5): 605-625.

PICKERING, K.T.; STOW, D.A.V.; WATSON, M.P. & HISCOTT, R.N. 1986. Deep-water facies, processes and models: a review and classification scheme for modern and ancient sediments. *Earth-Science Reviews*. Vol. **23**: 75-174. Amsterdam.

PINO, J.P.; LEPPE, M.; LOBOS, V.; WILBERGER, T.; TREVISAN, C.; ORTUYA, M.J.; MANRÍQUEZ, L.; GARRIDO, S.; FERNÁNDEZ, R.; HINOJOSA, L.F.; DUTRA, T.; NISHIDA, H. 2016. Paleoclima del Cretácico Superior (Campaniano-Maastrichtiano) del Complejo cerro Guido-Las Chinas, Provincia de Última Esperanza, Chile: nuevas estimaciones a partir de improntas foliares. V Simposio de Paleontología de Chile: 49-52. Concepción.

POVILAUSKAS, L. 2010. Palinología del entorno Cretácico/Paleógeno del SO de la Provincia de Santa Cruz: significado estratigráfico y paleoambiental. Tesis para optar al Título de Doctor en Ciencias Naturales. Universidad Nacional de La Plata (Inédito): 395 pp. La Plata.

POVILAUSKAS, L.; BARREDA, V. & MARENSSI, S. 2008. Polen y esporas de la Formación La Irene (Maastrichtiano), Sudoeste de la Provincia de Santa Cruz, Argentina: primeros resultados. *Geobios*. Vol. **41** (6): 819-831.

PRIETO, X. 1992. Estratigrafía y ambientes de depositación durante el Cretácico Inferior, seno Última Esperanza a seno Obstrucción, Región de Magallanes, Chile. *Anales del Instituto de la Patagonia, Serie Ciencias Naturales*. Vol. **21**:71-83. Punta Arenas, Chile.

QUENSEL, P.D. 1911. Geologisch-petrographische studien in der Patagonischen cordillera. *Bulletin of the Geological Institute of Uppsala*. Vol. **11**: 1-114. Uppsala.

RAINE, J.I.; MILDENHALL, D.C. & KENNEDY E.M. 2011. New Zealand fossil spores and pollen: an illustrated catalogue. 4th edition. GNS Science miscellaneous series Nº4. http://data.gns.cri.nz/sporepollen/index.htm.

RAMOS, J.P. 2016. Familia SCHIZAEACEAE Kaulf. En Flora vascular de la República Argentina 2: Licofitas, Helechos, Gymnospermae (Ponce, M.M. & Arana, M.D. autores, Anton, A.M.; Zuloaga, F.O. & Belgrano, M.J. editores). Instituto de Botánica Darwinion: 349-350. Argentina.

RAMOS, V.A. 2002. Evolución tectónica. En Geología y recursos naturales de Santa Cruz (Haller, M.J. editor). Relatorio XV Congreso Geológico Argentino. Vol. **I-23**: 365-387. El Calafate.

ROMANS, B.W.; HUBBARD, S.M. & GRAHAM, S.A. 2009. Stratigraphic evolution of an outcropping continental slope system, Tres Pasos Formation at cerro Divisadero, Chile. *Sedimentology*. Vol. **56** (3): 737-764.

ROMANS, B.W.; FILDANI, A.; GRAHAM, S.A.; HUBBARD, S.M. & COVAULT, J.A. 2010. Importance of predecessor basin history on the sedimentary fill of a retroarc foreland basin: provenance analysis of the Cretaceous Magallanes basin, Chile (50-52ºS). *Basin Research*. Vol. **22** (5): 640-658.

ROMANS, B.W.; FILDANI, A.; HUBBARD, S.M.; COVAULT, J.A.; FOSDICK, J.C. & GRAHAM S.A. 2011. Evolution of deep-water stratigraphic architecture, Magallanes basin, Chile. *Marine and Petroleum Geology*. Vol. **28** (3): 612-628.

SÁNCHEZ, A.; PAVLISHINA, P.; GODOY, E.; HERVÉ, F. & FANNING, C.M. 2010. On the presence of upper Paleocene rocks in the foreland succession at Cabo Nariz, Tierra del Fuego, Chile: geology and new palynological and U-Pb data. *Andean Geology*. Vol. **37** (2): 413-432.

SCHWARTZ, T.M & GRAHAM, S.A. 2015. Stratigraphic architecture of a tide-influenced shelf-edge delta, Upper Cretaceous Dorotea Formation, Magallanes-Austral basin, Patagonia. *Sedimentology*. Vol. **62** (4): 1.039-1.077.

SCHWARTZ, T.M.; FOSDICK, J.C. & GRAHAM, S.A. 2017. Using detrital zircon U-Pb ages to calculate late Cretaceous sedimentation rates in the Magallanes-Austral basin, Patagonia. *Basin Research*. Vol. **29** (6): 725-746.

SHULTZ, M.R. & HUBBARD, S.M. 2005. Sedimentology, stratigraphic architecture, and ichnology of gravity-flow deposits partially ponded in a growth-fault-controlled slope minibasin, Tres Pasos Formation (Cretaceous), southern Chile. *Journal of Sedimentary Research*. Vol. **75** (3): 440-453.

SHULTZ, M.R.; FILDANI, A.; COPE, T.D. & GRAHAM, S.A. 2005. Deposition and stratigraphic architecture of an outcropping ancient slope system: Tres Pasos Formation, Magallanes basin, southern Chile. En Submarine slope systems: processes and products (Hodgson, D.M. & Flint, S.S. editores). Geological Society of London, Special Publications. Vol. **244**: 27-50.

SKARMETA, J.J. & CASTELLI, J.C. 1997. Intrusión sintectónica del granito de las Torres del Paine, Andes Patagónicos de Chile. *Revista Geológica de Chile*. Vol. **24** (1): 55-74.

THOMAS, C.R. 1949. Geology and petroleum exploration in Magallanes Province, Chile. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. Vol. **33**: 1.553-1.578.

VERA, J. 1994. Estratigrafía: Principios y métodos. Editorial Rueda: 806 pp. Madrid.

WILSON, T.J. 1991. Transition from back-arc to foreland basin development in the southernmost Andes: stratigraphic record from the Ultima Esperanza District, Chile. *Geological Society of America Bulletin*. Vol. **103** (1): 98-111.

YAÑEZ, A. & ARANA, M.D. 2016. Familia GLEICHENIACEAE C. Presl. En Flora vascular de la República Argentina 2: Licofitas, Helechos, Gymnospermae (Ponce, M.M. autor, Anton, A.M.; Zuloaga, F.O. & Belgrano, M.J. editores). Instituto de Botánica Darwinion: 171-174. Argentina.

ZAMUDIO, S. 2002. Podocarpaceae. En Flora del bajío y de regiones adyacentes, Fascículo 105 (Rzedowski, J. & Calderón, G. editores). Instituto de Ecología: 7 pp. Pátzcuaro, México.

ZAMUDIO, S. & CARRANZA, E. 1994. Cupressaceae. En Flora del bajío y de regiones adyacentes, Fascículo 29 (Rzedowski, J. & Calderón, G. editores). Instituto de Ecología: 20 pp. Pátzcuaro, México.

ZAVALA, C.; ARCURI, M.; DI MEGLIO, M. & ZORZANO, A. 2014. Depósitos de turbiditas intra y extra cuencales: origen y características distintivas. IX Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, trabajos técnicos. Tomo II: 225-244.

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	**DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE ROCAS**	124
2	**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE ROCAS**	161
3	**DESCRIPCIÓN DE MACROFÓSILES**	168
4	**COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS Y SU CORRELACIÓN**	FT*

*FT: Fuera de texto.

ANEXO 1:
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE ROCAS

Muestra SC1M1				
Coordenadas 18F 673.125 m E / 4.359.092 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968) Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Pardo violáceo claro		
	Roca alterada	Pardo oscuro a anaranjado		
Selección	Buena			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	95 %	
Arena	95	Matriz	5 %	
Fango	5	Cemento	0 %	

Descripción de cemento	No se reconoce a simple vista.

Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	71	0,2	Subangular a subredondeado	Esférico
Feldespato	13	0,2	Subangular	Subprismático
Máficos (¿Anfíbol?)	2	0,2	Subangular	Subprismático
Muscovita	1	0,1	Angular	Discoidal
Biotita	1	0,1	Angular	Discoidal
Arcillas	4	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	1	0,4	Subangular a subredondeado	Esférico
Bioclastos				
Restos vegetales	7	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano fino, fuerte alteración a arcillas de los feldespatos y abundante oxidación que afecta a la roca en general. Muestra contiene restos vegetales carbonizados, algunos visibles como lentes inferiores a 1 mm de espesor. La granulometría fina y alteración superficial dificultan el reconocimiento de la composición.

Muestra SC1M2				
Coordenadas 18F 673.134 m E / 4.359.099 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968)			
	Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Pardo violáceo		
	Roca alterada	Pardo claro a amarillento		
Selección	Buena			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	91 %	
Arena	91	Matriz	9 %	
Fango	9	Cemento	0 %	

Descripción de cemento	No se reconoce a simple vista.

Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	71	0,2	Subangular	Esférico
Feldespato	10	0,2	Angular a subangular	Subprismático
Máficos (¿Anfíbol?)	3	0,2	Subangular	Subprismático
Muscovita	1	0,1	Angular	Discoidal
Biotita	1	0,2	Angular	Discoidal
Arcillas	6	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	1	0,4	Subangular	Subprismático
Bioclastos				
Restos vegetales	7	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano fino, fuerte alteración a arcillas de los feldespatos y oxidación que afecta a la roca en general. Contiene restos vegetales carbonizados, algunos visibles como lentes de menos de 1 mm de espesor y longitud variable milimétrica a centimétrica. La granulometría fina y alteración superficial dificultan el reconocimiento de la composición.

Muestra SC1M3					
Coordenadas 18F 673.134 m E / 4.359.099 m N WGS 1984					
Clasificación	Fangolita (Nichols, 1999)				
Color	Roca fresca	Gris oscuro			
	Roca alterada	Pardo anaranjado oscuro			
Selección	-				
Fábrica	-				
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica		
Grava	0	Granos	100 %		
Arena	0	Matriz	0 %		
Fango	100	Cemento	0 %		

Descripción de cemento	No se reconoce a simple vista.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
-	-	-	-	-
Líticos				
-	-	-	-	-
Bioclastos				
-	-	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano muy fino impide el reconocimiento apropiado de composición.

Muestra SC1M4				
Coordenadas 18F 673.041 m E / 4.359.021 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968)			
	Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Pardo violáceo		
	Roca alterada	Pardo anaranjado a amarillento		
Selección	Buena			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	86 %	
Arena	92	Matriz	9 %	
Fango	8	Cemento	5 %	

Descripción de cemento	Calcáreo.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	68	0,2	Subangular a subredondeado	Esférico a subprismático
Feldespato	18	0,2	Subangular a subredondeado	Subprismático
Máficos (¿Anfíbol?)	1	0,2	Subangular a subredondeado	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	2	0,2	Subredondeado a subangular	Esférico a subprismático
Muscovita	3	0,1	Angular	Discoidal
Biotita	1	0,3	Angular	Discoidal
Arcillas	4	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	2	0,3	Subredondeado	Esférico a subprismático
Bioclastos				
Restos vegetales	1	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano fino, efervesce fuertemente con HCl, leve alteración a arcillas de los feldespatos y abundante oxidación que afecta a la roca en general y las micas. Contiene restos vegetales carbonizados en muy poca proporción.

Muestra SC1M5				
Coordenadas 18F 672.968 m E / 4.358.960 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968)			
	Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso		
	Roca alterada	Pardo anaranjado		
Selección	Buena			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	87 %	
Arena	93	Matriz	8 %	
Fango	7	Cemento	5 %	

Descripción de cemento	Calcáreo.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	60	0,3	Subangular	Esférico a subprismático
Feldespato	16	0,3	Subangular	Subprismático
Máficos (¿Anfíbol?)	1	0,3	Subangular	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	4	0,3	Subangular	Esférico a subprismático
Muscovita	3	0,1	Angular	Discoidal
Biotita	1	0,3	Angular	Discoidal
Arcillas	7	<0,06	-	-
Líticos				
Sedimentarios	1	0,8	Subangular a subredondeado	Esférico a subprismático
Indiferenciados	2	0,4	Subangular a subredondeado	Esférico a subprismático
Bioclastos				
Restos vegetales	5	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano medio, efervesce fuertemente con HCl, alteración a arcillas de los feldespatos y abundante oxidación que afecta a la roca en general. Contiene restos vegetales carbonizados, algunos visibles como lentes inferiores a 1 mm de espesor y otros concentrados en niveles, también milimétricos.

Muestra SC2F1				
Coordenadas 18F 672.134 m E / 4.359.216 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968)			
	Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso oscuro		
	Roca alterada	Pardo amarillento		
Selección	Moderada			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	88 %	
Arena	94	Matriz	7 %	
Fango	6	Cemento	5 %	

Descripción de cemento	Calcáreo.

Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	55	0,4	Subredondeado	Esférico
Feldespato	11	0,5	Subangular a subredondeado	Subprismático
Máficos (¿Anfíbol?)	3	0,5	Subangular	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	4	1	Subredondeado	Esférico a subprismático
Muscovita	1	1	Angular	Discoidal
Biotita	1	1	Angular	Discoidal
Arcillas	6	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	1	1	Subredondeado	Esférico
Bioclastos				
Restos vegetales	18	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano medio a levemente grueso, efervesce fuertemente con HCl, fuerte alteración a arcillas de los feldespatos y alteración a minerales verdes de los máficos y biotitas, además de oxidación que afecta a la roca en general. La muestra es cortada por vetillas de calcita de 0,4 mm de espesor y también cuenta con costras de calcita. Contiene abundantes restos vegetales carbonizados, algunos visibles como lentes, y fragmentos leñosos con estructura reticulada.

Muestra SC2F2				
Coordenadas 18F 672.134 m E / 4.359.216 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968)			
	Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso oscuro		
	Roca alterada	Pardo amarillento		
Selección	Moderada			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	88 %	
Arena	94	Matriz	7 %	
Fango	6	Cemento	5 %	

Descripción de cemento	Calcáreo.

Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	55	0,4	Subredondeado	Esférico
Feldespato	11	0,5	Subangular a subredondeado	Subprismático
Máficos (¿Anfíbol?)	3	0,5	Subangular	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	4	1	Subredondeado	Esférico a subprismático
Muscovita	1	1	Angular	Discoidal
Biotita	1	1	Angular	Discoidal
Arcillas	6	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	1	1	Subredondeado	Esférico
Bioclastos				
Restos vegetales	18	-	-	-

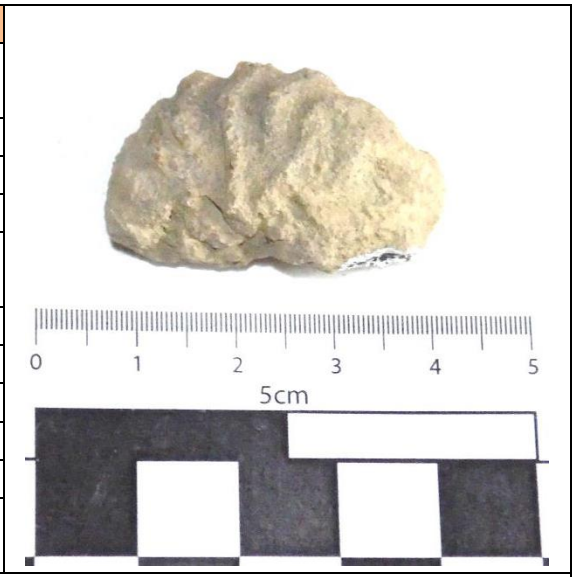
Observaciones: Tamaño de grano medio a levemente grueso, efervesce fuertemente con HCl, fuerte alteración a arcillas de los feldespatos y alteración a minerales verdes de los máficos y biotitas, además de oxidación que afecta a la roca en general. La muestra es cortada por vetillas de calcita de 0,4 mm de espesor y también cuenta con costras de calcita. Contiene abundantes restos vegetales carbonizados, algunos visibles como lentes, y fragmentos leñosos con estructura reticulada.

Muestra SC2F3				
Coordenadas 18F 672.134 m E / 4.359.216 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968) Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso		
	Roca alterada	Pardo anaranjado a amarillento		
Selección	Moderada			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	4	Granos	83 %	
Arena	87	Matriz	12 %	
Fango	9	Cemento	5 %	

Descripción de cemento	Calcáreo.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	59	0,4	Subredondeado	Esférico
Feldespato	13	0,5	Subangular a subredondeado	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	2	1	Subredondeado	Subprismático
Muscovita	1	0,5	Angular	Discoidal
Biotita	1	1	Angular	Discoidal
Arcillas	7	<0,06	-	-
Líticos				
Sedimentarios	4	6	Subredondeado	Subdiscoidal
Indiferenciados	1	1	Subredondeado	Esférico
Bioclastos				
Restos vegetales	12	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano medio a levemente grueso, efervesce con HCl, fuerte alteración a arcillas de los feldespatos, alteración a minerales verdes de las biotitas y oxidación que afecta a la roca en general. Contiene abundantes restos vegetales carbonizados, algunos visibles como lentes, además de un fragmento leñoso con estructuras longitudinales. La muestra incluye escasos nódulos ferruginosos oxidados y clastos de fangolita de color gris claro, de poco espesor y que no superan los 2 cm de longitud. Los clastos se disponen paralelos a la estratificación.

Muestra SC2F4				
Coordenadas 18F 672.112 m E / 4.359.208 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968) Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso		
	Roca alterada	Pardo oscuro a amarillento		
Selección	Moderada			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	87 %	
Arena	94	Matriz	8 %	
Fango	6	Cemento	5 %	



Descripción de cemento	Calcáreo.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	75	0,4	Subangular a subredondeado	Esférico a subprismático
Feldespato	11	0,3	Subangular	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	5	0,3	Subangular	Subprismático
Muscovita	2	0,1	Angular	Discoidal
Arcillas	6	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	1	0,4	Subredondeado	Esférico a subprismático
Bioclastos				
-	-	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano medio a levemente grueso, efervesce con HCl, alteración a arcillas de los feldespatos y oxidación que afecta la roca en general. Corresponde al molde interno de un ammonite.

Muestra SC2M1				
Coordenadas 18F 672.138 m E / 4.359.230 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968) Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso claro		
	Roca alterada	Pardo oscuro a amarillento		
Selección	Moderada			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	86 %	
Arena	93	Matriz	9 %	
Fango	7	Cemento	5 %	

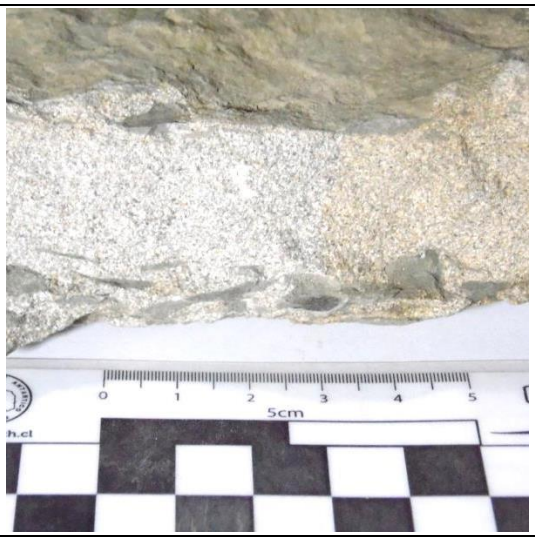
Descripción de cemento	Calcáreo.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	65	0,45	Subredondeado a subangular	Esférico a subprismático
Feldespato	12	0,5	Subangular a subredondeado	Subprismático a subdiscoidal
Máficos (¿Anfíbol?)	3	0,3	Subangular a subredondeado	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	7	0,3	Subangular a subredondeado	Subprismático a esférico
Muscovita	2	0,2	Angular	Discoidal
Biotita	2	0,2	Angular	Discoidal
Arcillas	6	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	3	1	Subredondeado	Esférico
Bioclastos				
-	-	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano medio a levemente grueso, efervesce localmente con HCl, fuerte alteración a arcillas de los feldespatos y alteración a minerales verdes de los máficos y biotitas, además de oxidación que afecta a la roca en general.

Muestra SC2M2a				
Coordenadas 18F 672.140 m E / 4.359.223 m N WGS 1984				
Clasificación	Fangolita (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris oscuro		
	Roca alterada	Pardo amarillento		
Selección	-			
Fábrica	-			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	100 %	
Arena	0	Matriz	0 %	
Fango	100	Cemento	0 %	

Descripción de cemento	No se reconoce a simple vista.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Micas	5	<0,06	-	-
Máficos	5	<0,06	-	-
Líticos				
-	-	-	-	-
Bioclastos				
-	-	-	-	-
Observaciones: Tamaño de grano muy fino impide el reconocimiento apropiado de composición.				

Muestra SC2M2b				
Coordenadas 18F 672.140 m E / 4.359.223 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968)			
	Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso claro		
	Roca alterada	Pardo oscuro		
Selección	Moderada a mala			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	4	Granos	88 %	
Arena	91	Matriz	7 %	
Fango	5	Cemento	5 %	



Descripción de cemento	Calcáreo.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	64	0,45	Subredondeado	Esférico a subprismático
Feldespato	10	0,4	Subangular	Subprismático
Máficos (¿Anfíbol?)	3	0,6	Subangular	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	7	0,3	Subangular a subredondeado	Subprismático a esférico
Muscovita	2	0,1	Angular	Discoidal
Biotita	3	0,2	Angular	Discoidal
Epidota	1	0,2	Subangular	Subprismático
Arcillas	4	<0,06	-	-
Líticos				
Sedimentarios	4	20	Subangular a subredondeado	Subdiscoidal
Indiferenciados	2	0,6	Subredondeado	Esférico
Bioclastos				
-	-	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano medio a levemente grueso, efervesce con HCl, alteración a arcillas de los feldespatos y a minerales verdes de los máficos y biotitas, además de oxidación que afecta a la roca en general y las micas. Contiene clastos centimétricos de fangolita, de poco espesor, que se concentran en un nivel conglomerádico de 1 cm, cerca del contacto con la fangolita.

Muestra SC2M3				
Coordenadas 18F 672.129 m E / 4.359.211 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968)			
	Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso claro		
	Roca alterada	Pardo oscuro a amarillento		
Selección	Moderada			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	88 %	
Arena	95	Matriz	7 %	
Fango	5	Cemento	5 %	

Descripción de cemento	Calcáreo.

Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	72	0,45	Subredondeado	Esférico a subprismático
Feldespato	8	0,3	Subangular	Subprismático a subdiscoidal
Máficos (¿Anfíbol?)	4	0,4	Subangular	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	5	0,2	Subangular	Subprismático a esférico
Muscovita	2	0,1	Angular	Discoidal
Biotita	4	0,2	Angular	Discoidal
Arcillas	4	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	1	0,5	Subredondeado	Esférico
Bioclastos				
-	-	-	-	-

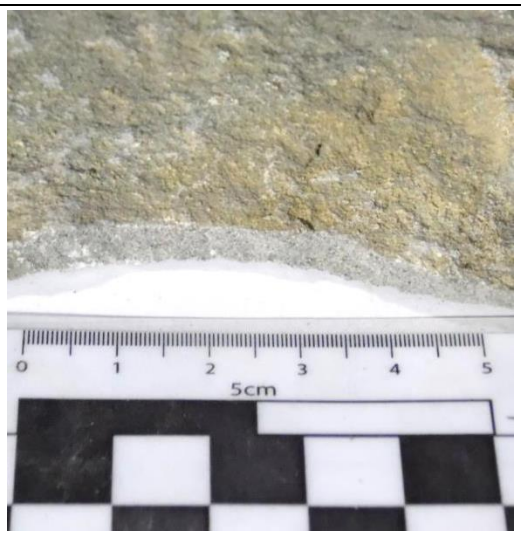
Observaciones: Tamaño de grano medio a levemente grueso, efervesce con HCl, alteración a arcillas de los feldespatos y a minerales verdes de los máficos y biotitas, además de oxidación que afecta a la roca en general.

Muestra SC3M1				
Coordenadas 18F 672.002 m E / 4.359.214 m N WGS 1984				
Clasificación	Sublitarenita (Folk, 1968)			
	Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso oscuro		
	Roca alterada	Pardo grisáceo claro		
Selección	Buena			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	88 %	
Arena	95	Matriz	7 %	
Fango	5	Cemento	5 %	

Descripción de cemento	Calcáreo.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	68	0,2	Subangular a subredondeado	Subprismático a esférico
Feldespato	7	0,1	Subangular	Subprismático
Máficos (¿Anfíbol?)	1	0,1	Subredondeado	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	5	0,2	Subredondeado	Esférico a subprismático
Muscovita	3	0,1	Angular	Discoidal
Biotita	2	0,1	Angular	Discoidal
Arcillas	5	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	9	0,3	Subredondeado	Esférico
Bioclastos				
-	-	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano fino, efervesce con HCl, alteración a arcillas de los feldespatos, además de alteración a minerales verdes y oxidación de las micas. La muestra es cortada por una vetilla de calcita de 2 mm de espesor.

Muestra SC3M2				
Coordenadas 18F 672.002 m E / 4.359.214 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968)			
	Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso		
	Roca alterada	Pardo amarillento		
Selección	Moderada			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	85 %	
Arena	91	Matriz	10 %	
Fango	9	Cemento	5 %	



Descripción de cemento	Calcáreo.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	76	0,3	Subredondeado	Subprismático a esférico
Feldespato	8	0,3	Subredondeado	Subprismático
Máficos (¿Anfíbol?)	3	0,2	Subangular a subredondeado	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	4	0,3	Subredondeado	Subprismático a esférico
Muscovita	1	0,1	Angular	Discoidal
Epidota	1	0,2	Subredondeado	Subprismático
Arcillas	5	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	2	0,4	Subredondeado	Subprismático
Bioclastos				
-	-	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano medio, efervesce débilmente con HCl, fuerte alteración a arcillas de los feldespatos, además de leve oxidación de la superficie de la roca.

Muestra SC3M3				
Coordenadas 18F 671.998 m E / 4.359.218 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968)			
	Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso parduzco		
	Roca alterada	Pardo grisáceo		
Selección	Buena			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	90 %	
Arena	95	Matriz	5 %	
Fango	5	Cemento	5 %	

Descripción de cemento	Calcáreo.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	75	0,2	Subredondeado a subangular	Subprismático a esférico
Feldespato	8	0,1	Subredondeado a subangular	Subprismático
Máficos (¿Anfíbol?)	4	0,1	Subangular	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	7	0,2	Subredondeado	Subprismático a esférico
Muscovita	1	0,1	Angular	Discoidal
Biotita	1	0,1	Angular	Discoidal
Epidota	1	0,2	Subredondeado	Subprismático
Arcillas	3	<0,06	-	-
Líticos				
-	-	-	-	-
Bioclastos				
-	-	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano fino, efervesce fuertemente con HCl, alteración parcial a arcillas de los feldespatos, a minerales verdes de los máficos, oxidación de la roca en general y las micas. Granulometría fina dificulta el reconocimiento apropiado de la composición.

Muestra SC4M1				
Coordenadas 18F 671.837 m E / 4.359.335 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968)			
	Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso oscuro		
	Roca alterada	Pardo oscuro		
Selección	Moderada			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	89 %	
Arena	95	Matriz	6 %	
Fango	5	Cemento	5 %	

Descripción de cemento	Calcáreo.

Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	73	0,3	Subangular a subredondeado	Esférico a subprismático
Feldespato	8	0,3	Subangular a subredondeado	Subprismático a subdiscoidal
Máficos (¿Anfíbol?)	1	0,3	Subangular	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	7	0,3	Subangular a subredondeado	Esférico a subprismático
Muscovita	2	0,2	Angular	Discoidal
Biotita	1	0,3	Angular	Discoidal
Epidota	1	0,1	Subangular	Subprismático
Arcillas	3	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	4	0,5	Subangular a subredondeado	Esférico
Bioclastos				
-	-	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano medio a levemente fino, efervesce fuertemente con HCl, alteración a arcillas de los feldespatos, a minerales verdes de los máficos y biotitas, además de oxidación que afecta a la roca en general y las micas.

Muestra SC4M2				
Coordenadas 18F 671.836 m E / 4.359.331 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968) Arenisca fangosa (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso claro		
	Roca alterada	Pardo grisáceo		
Selección	Buena			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	84 %	
Arena	89	Matriz	16 %	
Fango	11	Cemento	0 %	

Descripción de cemento	No se reconoce a simple vista.

Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	70	0,25	Subredondeado a subangular	Esférico a subprismático
Feldespato	10	0,25	Subredondeado a subangular	Subprismático a subdiscoidal
Máficos (¿Piroxeno?)	5	0,4	Subredondeado a subangular	Esférico a subprismático
Muscovita	2	0,2	Angular	Discoidal
Arcillas	8	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	2	0,4	Subredondeado	Esférico a subprismático
Bioclastos				
Restos vegetales	3	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano medio a fino, alteración a arcillas de los feldespatos y abundante oxidación que afecta a la roca en general y las micas. Sobre una cara de la roca, se reconocen restos vegetales carbonizados, sin estructura, con aparente forma de hojas y ramas.

Muestra SC11F1				
Coordenadas 18F 671.791 m E / 4.359.226 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968) Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso		
	Roca alterada	Pardo amarillento		
Selección	Buena			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	88 %	
Arena	94	Matriz	12 %	
Fango	6	Cemento	0 %	

Descripción de cemento	No se reconoce a simple vista.

Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	75	0,25	Subangular a subredondeado	Esférico
Feldespato	9	0,3	Subangular	Subprismático
Máficos (¿Anfíbol?)	1	0,4	Subredondeado	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	4	0,2	Subredondeado	Esférico
Biotita	2	0,5	Angular	Discoidal
Arcillas	4	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	1	0,4	Subredondeado	Esférico
Bioclastos				
Restos vegetales	4	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano medio a fino, fuerte alteración a arcillas de los feldespatos, alteración a minerales verdes de los máficos y biotitas, además de oxidación que afecta a la roca en general y las micas. Contiene restos vegetales carbonizados. Muestra incluye impronta de hoja con venación principal.

Muestra SC11F2					
Coordenadas 18F 671.791 m E / 4.359.225 m N WGS 1984					
Clasificación	Fangolita (Nichols, 1999)				
Color	Roca fresca	Gris oscuro			
	Roca alterada	Pardo oscuro			
Selección	-				
Fábrica	-				
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica		
Grava	0	Granos	100 %		
Arena	0	Matriz	-		
Fango	100	Cemento	-		
Descripción de cemento	No se reconoce a simple vista.				
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**		**Esfericidad**
Monominerales					
Micas	3	<0,06	Angular		Discoidal
Líticos					
-	-	-	-		-
Bioclastos					
Restos vegetales	5	-	-		-
Observaciones: Tamaño de grano muy fino impide el reconocimiento apropiado de la composición. Contiene restos vegetales carbonizados. La muestra incluye un fósil de molde interno de bivalvo.					

Muestra SC11F3a, SC11F3b y SC11F3c					
Coordenadas 18F 671.819 m E / 4.359.204 m N WGS 1984					
Clasificación	Fangolita (Nichols, 1999)				
Color	Roca fresca	Gris oscuro			
	Roca alterada	Pardo oscuro			
Selección	-				
Fábrica	-				
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica		
Grava	0	Granos	100 %		
Arena	0	Matriz	-		
Fango	100	Cemento	-		
Descripción de cemento	No se reconoce a simple vista.				
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**		**Esfericidad**
Monominerales					
Micas	3	<0,06	Angular		Discoidal
Líticos					
-	-	-	-		-
Bioclastos					
Restos vegetales	5	-	-		-
Observaciones: Tamaño de grano muy fino impide el reconocimiento apropiado de la composición. Contiene restos vegetales carbonizados, incluye fragmentos leñosos pequeños con estructuras longitudinales, similar a ramas.					

Muestra SC11M1				
Coordenadas 18F 671.787 m E / 4.359.224 m N WGS 1984				
Clasificación	Litarudita cuarcífera (Folk *et al*., 1970)			
	Rudita arenosa (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso claro		
	Roca alterada	Pardo anaranjado		
Selección	Mala			
Fábrica	Matriz soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	30	Granos	30 %	
Arena	67	Matriz	67 %	
Fango	3	Cemento	3 %	

Descripción de cemento	Calcáreo.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	49	0,3	Subangular a subredondeado	Esférico a subprismático
Feldespato	6	0,3	Subangular a subredondeado	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	4	0,3	Subangular a subredondeado	Subprismático a esférico
Muscovita	1	0,1	Angular	Discoidal
Biotita	1	0,2	Angular	Discoidal
Arcillas	3	<0,06	-	-
Líticos				
Sedimentarios	30	20	Subredondeado a subangular	Subdiscoidal
Indiferenciados	2	0,2	Subredondeado a subangular	Esférico a subprismático
Bioclastos				
Restos vegetales	4	-	-	-

Observaciones: La matriz está conformada principalmente por arena de grano medio a levemente grueso, efervesce con HCl, fuerte alteración a arcillas de los feldespatos, a minerales verdes de las biotitas, además de oxidación leve que afecta a la roca en general y las micas. Contiene restos vegetales carbonizados, escasos nódulos ferruginosos oxidados y abundantes clastos centimétricos de fangolita, de color naranjo parduzco por alteración y gris parduzco oscuro en superficie fresca, con algunos granos de cuarzo redondeados y esféricos, y micas.

Muestra SC11M2a y SC11M2b				
Coordenadas 18F 671.787 m E / 4.359.224 m N WGS 1984				
Clasificación		Subarcosa (Folk, 1968) Arenisca fangosa (Nichols, 1999)		
Color	Roca fresca	Pardo claro		
	Roca alterada	Pardo oscuro a amarillento		
Selección		Buena		
Fábrica		Clasto soportada		
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	85 %	
Arena	89	Matriz	15 %	
Fango	11	Cemento	0 %	

Descripción de cemento	No se reconoce a simple vista.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	59	0,2	Subangular a subredondeado	Subprismático
Feldespato	12	0,2	Subangular	Subprismático a subdiscoidal
Muscovita	2	0,1	Angular	Discoidal
Arcillas	8	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	1	0,3	Subangular a subredondeado	Esférico
Bioclastos				
Restos vegetales	18	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano fino, alteración a arcillas de los feldespatos y oxidación que afecta a la roca en general y las micas. Contiene niveles y lentes de restos vegetales carbonizados sin estructuras, estos últimos de espesor inferior a 1 mm y longitud variable milimétrica, y un fragmento leñoso que al observar en lupa tiene aspecto escamoso y formas circulares.

Muestra SC11M3				
Coordenadas 18F 671.791 m E / 4.359.226 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968) Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso claro		
	Roca alterada	Pardo amarillento		
Selección	Buena			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	90 %	
Arena	93	Matriz	10 %	
Fango	7	Cemento	0 %	

Descripción de cemento	No se reconoce a simple vista.

Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	67	0,25	Subangular a subredondeado	Esférico a subprismático
Feldespato	8	0,25	Subangular a subredondeado	Subprismático
Máficos (¿Anfíbol?)	1	0,2	Subangular	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	8	0,2	Subangular a subredondeado	Subprismático
Muscovita	2	0,1	Angular	Discoidal
Biotita	1	0,3	Angular	Discoidal
Epidota	1	0,2	Subangular	Subprismático
Arcillas	4	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	3	0,15	Subredondeado	Subprismático
Bioclastos				
Restos vegetales	5	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano medio a fino, alteración a arcillas de los feldespatos, a minerales verdes de los máficos y biotitas, y oxidación que afecta a la roca en general y las micas. Contiene restos vegetales carbonizados.

<table>
<tr><td colspan="4">Muestra SC11M4</td><td rowspan="6"> </td></tr>
<tr><td colspan="4">Coordenadas
18F 671.803 m E / 4.359.191 m N WGS 1984</td></tr>
<tr><td colspan="2">Clasificación</td><td colspan="2">Basalto
(Streckeisen, 1978)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Color</td><td>Roca fresca</td><td colspan="2">Negro grisáceo</td></tr>
<tr><td>Roca alterada</td><td colspan="2">Pardo anaranjado a oscuro</td></tr>
<tr><td colspan="2">Textura</td><td colspan="2">Porfídica</td></tr>
<tr><td colspan="2">Índice de color</td><td colspan="2">47 (Mesocrática)</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">Composición (%)</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Fenocristales</td><td colspan="2">71</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Masa fundamental</td><td colspan="2">29</td><td></td></tr>
<tr><td>Componentes</td><td>%</td><td>Tamaño (mm)</td><td colspan="2">Forma</td></tr>
<tr><td colspan="5">Fenocristales</td></tr>
<tr><td>Feldespato</td><td>48</td><td>0,1 – 1</td><td colspan="2">Subhedral</td></tr>
<tr><td>Máficos</td><td>20</td><td>0,1 – 0,9</td><td colspan="2">Subhedral</td></tr>
<tr><td>Magnetita</td><td>3</td><td>0,4</td><td colspan="2">Anhedral</td></tr>
<tr><td colspan="5">Masa fundamental</td></tr>
<tr><td>Feldespato</td><td>22</td><td><0,1</td><td colspan="2">Subhedral</td></tr>
<tr><td>Máficos</td><td>7</td><td><0,1</td><td colspan="2">Subhedral</td></tr>
<tr><td colspan="5">Observaciones: Alteración superficial a arcillas de los feldespatos, oxidación leve (tonos pardo rojizos), efervesce con HCl en ciertas zonas blanquecinas dada la presencia de calcita. Magnetismo leve.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="4">Muestra SC11M5</td><td rowspan="3">
</td></tr>
<tr><td colspan="4">Coordenadas
18F 671.803 m E / 4.359.191 m N WGS 1984</td></tr>
<tr><td colspan="2">Clasificación</td><td colspan="2">Basalto
(Streckeisen, 1978)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Color</td><td>Roca fresca</td><td colspan="2">Negro grisáceo</td><td></td></tr>
<tr><td>Roca alterada</td><td colspan="2">Pardo anaranjado a oscuro</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Textura</td><td colspan="2">Porfídica</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Índice de color</td><td colspan="2">40 (Mesocrática)</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">Composición (%)</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Fenocristales</td><td colspan="2">24</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Masa fundamental</td><td colspan="2">76</td><td></td></tr>
<tr><td>Componentes</td><td>%</td><td>Tamaño (mm)</td><td>Forma</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">Fenocristales</td><td></td></tr>
<tr><td>Feldespato</td><td>17</td><td>0,1 – 0,3</td><td>Subhedral</td><td></td></tr>
<tr><td>Máficos</td><td>7</td><td>0,1 – 0,3</td><td>Subhedral</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">Masa fundamental</td><td></td></tr>
<tr><td>Feldespato</td><td>48</td><td><0,1</td><td>Subhedral</td><td></td></tr>
<tr><td>Máficos</td><td>28</td><td><0,1</td><td>Subhedral</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">Observaciones: Alteración superficial a arcillas de los feldespatos, oxidación leve (tonos pardo rojizos), efervesce con HCl en ciertas zonas blanquecinas y grietas dada la presencia de calcita.</td></tr>
</table>

Muestra SC11M6				
Coordenadas 18F 671.791 m E / 4.359.170 m N WGS 1984				
Clasificación	Sublitarenita (Folk, 1968) Arenisca fangosa (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso		
	Roca alterada	Pardo amarillento a violáceo		
Selección	Moderada			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	74 %	
Arena	83	Matriz	21 %	
Fango	17	Cemento	5 %	

Descripción de cemento	Calcáreo.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	51	0,25	Subangular a subredondeado	Subprismático a esférico
Feldespato	7	0,3	Subangular a subredondeado	Subprismático a subdiscoidal
Máficos (¿Piroxeno?)	3	0,3	Subredondeado	Subprismático
Muscovita	1	0,2	Angular	Discoidal
Biotita	1	0,3	Angular	Discoidal
Arcillas	17	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	8	0,3	Subredondeado	Esférico a subprismático
Bioclastos				
Restos vegetales	12	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano medio a fino, efervesce fuertemente con HCl, fuerte alteración a arcillas de los feldespatos y abundante oxidación que afecta a la roca en general. Reconocimiento es complejo, identificándose con seguridad sólo los restos vegetales carbonizados. Muestra contiene una traza fósil de forma tubular.

Muestra SC11M7				
Coordenadas 18F 671.791 m E / 4.359.170 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968) Arenisca fangosa (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Pardo violáceo		
	Roca alterada	Gris parduzco claro		
Selección	Moderada			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	80 %	
Arena	88	Matriz	16 %	
Fango	12	Cemento	4 %	

Descripción de cemento	Calcáreo.

Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	64	0,2	Subredondeado a subangular	Subprismático a esférico
Feldespato	7	0,2	Subredondeado a subangular	Subprismático a subdiscoidal
Máficos (¿Anfíbol?)	1	0,2	Subredondeado a subangular	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	4	0,1	Subredondeado	Esférico
Muscovita	2	0,1	Angular	Discoidal
Biotita	1	0,1	Angular	Discoidal
Arcillas	7	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	2	0,1	Subredondeado	Subprismático a esférico
Bioclastos				
Restos vegetales	12	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano fino, efervesce con HCl (de manera más intensa en algunas zonas), alteración a minerales verdes de los máficos y biotitas, además de oxidación que afecta la roca en general. La roca contiene restos vegetales carbonizados, algunos visibles como lentes de espesores milimétricos, vetas de cuarzo y una traza fósil indeterminada.

Muestra SC11M8a, SC11M8b y SC11M8c				
Coordenadas 18F 671.789 m E / 4.359.156 m N WGS 1984				
Clasificación	Fangolita arenosa (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris oscuro		
	Roca alterada	Pardo claro		
Selección	-			
Fábrica	-			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	10 %	
Arena	10	Matriz	90 %	
Fango	90	Cemento	0 %	

Descripción de cemento	No se reconoce a simple vista.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Feldespato	6	0,2	Subangular	Subprismático
Muscovita	2	0,2	Angular	Discoidal
Biotita	1	0,2	Angular	Discoidal
Líticos				
Indiferenciados	1	0,3	Subredondeado	Subprismático a esférico
Bioclastos				
Restos vegetales	6	-	-	-

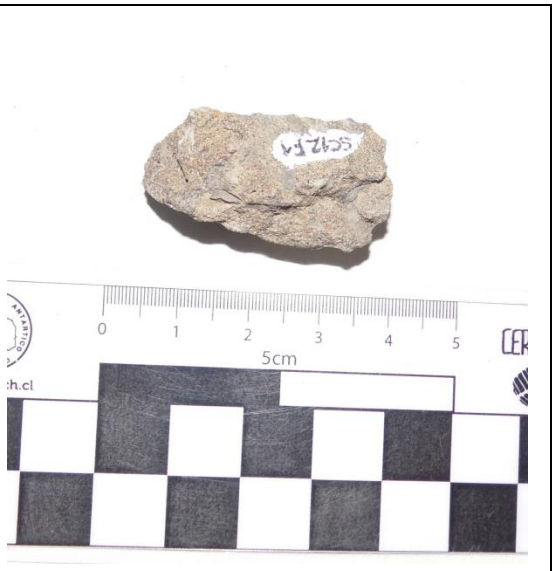
Observaciones: Tamaño de grano muy fino dificulta el reconocimiento apropiado de la composición. Alteración a minerales verdes de las biotitas. Se reconoce estructura de tipo laminación paralela y restos vegetales carbonizados.

Muestra SC11M9					
Coordenadas 18F 671.789 m E / 4.359.156 m N WGS 1984					
Clasificación	Fangolita (Nichols, 1999)				
Color	Roca fresca	-			
	Roca alterada	Amarillo parduzco a anaranjado			
Selección	-				
Fábrica	-				
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica		
Grava	0	Granos	93 %		
Arena	0	Matriz	0 %		
Fango	100	Cemento	7 %		

Descripción de cemento	Calcáreo.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Micas	3	<0,06	Angular	Discoidal
Líticos				
-	-	-	-	-
Bioclastos				
Restos vegetales	6	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano muy fino dificulta el reconocimiento apropiado de la composición, además, la alteración total de la muestra impide observar una superficie fresca. Se reconocen estructuras de tipo laminación paralela y restos vegetales carbonizados. Efervesce fuertemente con HCl.

Muestra SC12F1				
Coordenadas 18F 671.973 m E / 4.359.344 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968) Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso		
	Roca alterada	Pardo anaranjado a amarillento		
Selección	Moderada			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	1	Granos	89 %	
Arena	93	Matriz	6 %	
Fango	6	Cemento	5 %	



Descripción de cemento	Calcáreo.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	78	0,4	Subangular a subredondeado	Esférico
Feldespato	8	0,4	Subangular	Subprismático
Máficos (¿Anfíbol?)	1	0,4	Subredondeado a subangular	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	5	0,3	Subangular a subredondeado	Subprismático a esférico
Muscovita	1	0,2	Angular	Discoidal
Biotita	1	0,3	Angular	Discoidal
Arcillas	4	<0,06	-	-
Líticos				
Sedimentarios	1	5	Subangular a subredondeado	Subdiscoidal
Indiferenciados	1	0,4	Subangular a subredondeado	Esférico
Bioclastos				
-	-	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano medio a levemente grueso, efervesce localmente con HCl, fuerte alteración a arcillas de los feldespatos, alteración a minerales verdes de los máficos, además de oxidación que afecta la roca en general. Contiene escasos clastos de fangolita color gris parduzco claro, a los cuales no se les puede determinar composición. Corresponde al molde interno de un ammonite.

Muestra SC12F2				
Coordenadas 18F 671.961 m E / 4.359.343 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968) Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso oscuro		
	Roca alterada	Pardo oscuro, anaranjado a amarillento		
Selección	Moderada			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	90 %	
Arena	95	Matriz	5 %	
Fango	5	Cemento	5 %	

Descripción de cemento	Calcáreo.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	74	0,3	Subangular	Esférico
Feldespato	7	0,3	Subangular	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	5	0,3	Subangular	Esférico a subprismático
Muscovita	1	0,1	Angular	Discoidal
Epidota	1	0,2	Subangular	Subprismático
Arcillas	4	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	1	0,7	Subangular	Esférico
Bioclastos				
Restos vegetales	7	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano medio a levemente fino, reacciona fuertemente con HCl, intensa alteración a arcillas de los feldespatos, además de oxidación que afecta a la roca en general. La superficie de la muestra, en zonas muy alteradas, es fangosa y tiene costras de calcita. Contiene restos vegetales carbonizados, algunos visibles como lentes de menos de 1 mm de espesor, y uno en particular con aspecto de hoja alargada con venación primaria.

Muestra SC12F3					
Coordenadas 18F 671.961 m E / 4.359.343 m N WGS 1984					
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968) Arenisca (Nichols, 1999)				
Color	Roca fresca	Gris verdoso oscuro			
	Roca alterada	Pardo oscuro, anaranjado a amarillento			
Selección	Moderada				
Fábrica	Clasto soportada				
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica		
Grava	0	Granos	90 %		
Arena	95	Matriz	5 %		
Fango	5	Cemento	5 %		

Descripción de cemento	Calcáreo.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	74	0,3	Subangular	Esférico
Feldespato	7	0,3	Subangular	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	5	0,2	Subangular	Subprismático a esférico
Muscovita	1	0,1	Angular	Discoidal
Epidota	1	0,2	Subangular	Subprismático
Arcillas	4	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	1	0,5	Subangular	Esférico
Bioclastos				
Restos vegetales	7	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano medio a levemente fino, reacciona fuertemente con HCl, intensa alteración a arcillas de los feldespatos, además de oxidación que afecta a la roca en general. La superficie de la muestra, en zonas muy alteradas, es fangosa y tiene costras de calcita. Contiene restos vegetales carbonizados, algunos visibles como lentes de hasta 1 mm de espesor, y un fragmento leñoso.

Muestra SC12F4				
Coordenadas 18F 671.881 m E / 4.359.275 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968) Arenisca fangosa (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso		
	Roca alterada	Pardo amarillento a anaranjado		
Selección	Buena			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	82 %	
Arena	88	Matriz	15 %	
Fango	12	Cemento	3 %	

Descripción de cemento	Calcáreo.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	78	0,3	Subangular a subredondeado	Esférico
Feldespato	7	0,3	Subangular	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	4	0,1	Subredondeado a subangular	Esférico a subprismático
Muscovita	1	0,2	Angular	Discoidal
Biotita	1	1	Angular	Discoidal
Arcillas	6	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	1	0,3	Subredondeado	Esférico
Bioclastos				
Restos vegetales	2	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano medio a levemente fino, efervesce débilmente con HCl, fuerte alteración a arcillas de los feldespatos, alteración a minerales verdes de las biotitas, además de oxidación que afecta a la roca en general y algunas biotitas. Contiene una impronta de hoja carbonizada, con una acentuada venación primaria, y una capa fangosa con improntas de restos vegetales, cuyo aspecto asemeja a hojas y fragmentos leñosos.

Muestra SC12M1				
Coordenadas 18F 671.973 m E / 4.359.344 m N WGS 1984				
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968)			
	Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso parduzco		
	Roca alterada	Pardo oscuro a anaranjado		
Selección	Moderada			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	90 %	
Arena	95	Matriz	5 %	
Fango	5	Cemento	5 %	

Descripción de cemento	Calcáreo.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	80	0,4	Subangular a subredondeado	Esférico a subprismático
Feldespato	8	0,2	Subangular a subredondeado	Subprismático
Máficos (¿Anfíbol?)	2	0,3	Subangular a subredondeado	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	4	0,3	Subangular a subredondeado	Subprismático a esférico
Muscovita	1	0,2	Angular	Discoidal
Biotita	1	0,3	Angular	Discoidal
Arcillas	3	<0,06	-	-
Líticos				
Indiferenciados	1	0,8	Subredondeado a redondeado	Esférico
Bioclastos				
-	-	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano medio a levemente grueso, efervesce fuertemente con HCl, alteración a arcillas de los feldespatos, a minerales verdes de los máficos y biotitas, mientras que la superficie de la muestra se encuentra oxidada.

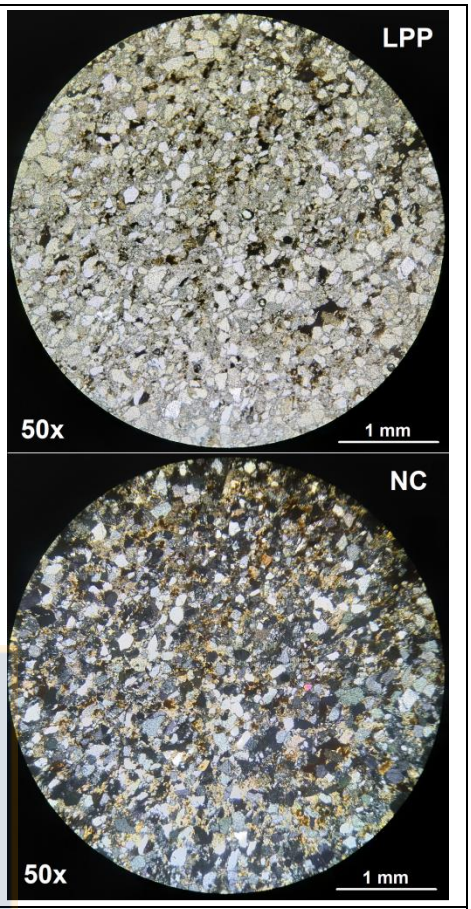
Muestra SC12M2				
Coordenadas 18F 671.973 m E / 4.359.344 m N WGS 1984				
Clasificación	Sublitarenita (Folk, 1968)			
	Arenisca (Nichols, 1999)			
Color	Roca fresca	Gris verdoso oscuro		
	Roca alterada	Pardo anaranjado		
Selección	Moderada			
Fábrica	Clasto soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	4	Granos	80 %	
Arena	90	Matriz	15 %	
Fango	6	Cemento	5 %	

Descripción de cemento	Calcáreo.			
Composición	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**	**Esfericidad**
Monominerales				
Cuarzo	65	0,3	Subangular a subredondeado	Subprismático a esférico
Feldespato	9	0,2	Subangular a subredondeado	Subprismático
Máficos (¿Anfíbol?)	3	0,2	Subangular a subredondeado	Subprismático
Máficos (¿Piroxeno?)	6	0,2	Subangular a subredondeado	Subprismático
Muscovita	2	0,1	Angular	Discoidal
Biotita	1	0,1	Angular	Discoidal
Epidota	1	0,2	Subangular	Subprismático
Arcillas	3	<0,06	-	-
Líticos				
Sedimentarios	4	20	Subangular a subredondeado	Subdiscoidal
Indiferenciados	6	0,3	Subredondeado a redondeado	Subprismático a esférico
Bioclastos				
-	-	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano medio a levemente fino, efervesce fuertemente con HCl y presenta leve magnetismo. Alteración leve a arcillas de los feldespatos, a minerales verdes de los máficos y biotitas, además de oxidación que afecta a la roca en general y las micas. Contiene clastos de fangolita de 1 cm o menos de espesor y 1 a 4 cm de largo.

ANEXO 2:
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE ROCAS

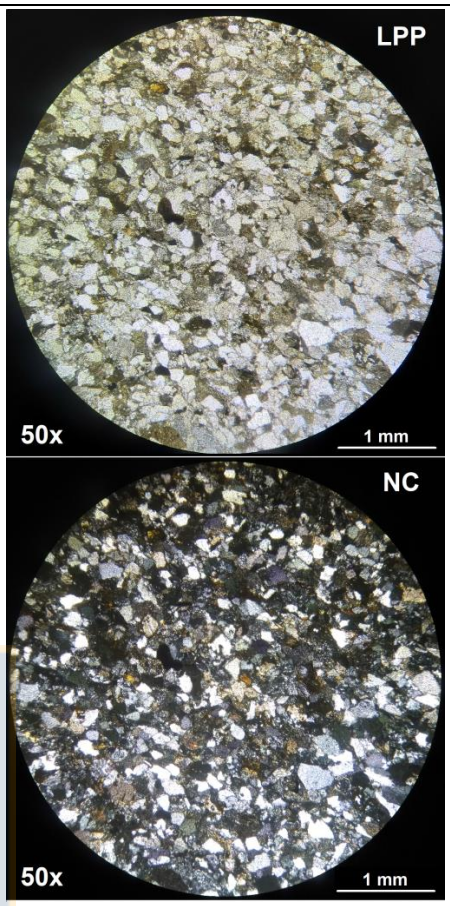
Muestra SC1M4			
Coordenadas 18F 673.041 m E / 4.359.021 m N WGS 1984			
Clasificación	Subarcosa (Folk, 1968) Arenisca (Nichols, 1999)		
Selección	Buena		
Fábrica	Clasto soportada		
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica
Grava	0	Granos	81 %
Arena	93	Matriz	8 %
Fango	7	Cemento	11 %
Descripción del cemento	Calcáreo tipo B Hematítico tipo A		
Tipo de contacto	Tangente y puntual		
Madurez textural	Madura		
Madurez composicional	Madura		



Monominerales			
Mineral	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**
Cuarzo	66	0,15	Subangular a subredondeado
Plagioclasa	15	0,15	Subangular
Piroxeno	2	0,1	Subangular
Muscovita	3	0,1	Angular
Epidota	1	0,05	Subangular a subredondeado
Glauconita	1	0,1	Subredondeado a subangular
Opacos	5	0,2	Subangular a subredondeado
Arcillas	4	<0,06	-
Líticos			
Sedimentarios	1	0,3	Subredondeado a subangular
Volcánicos	2	0,2	Subredondeado a subangular
Bioclastos			
-	-	-	-

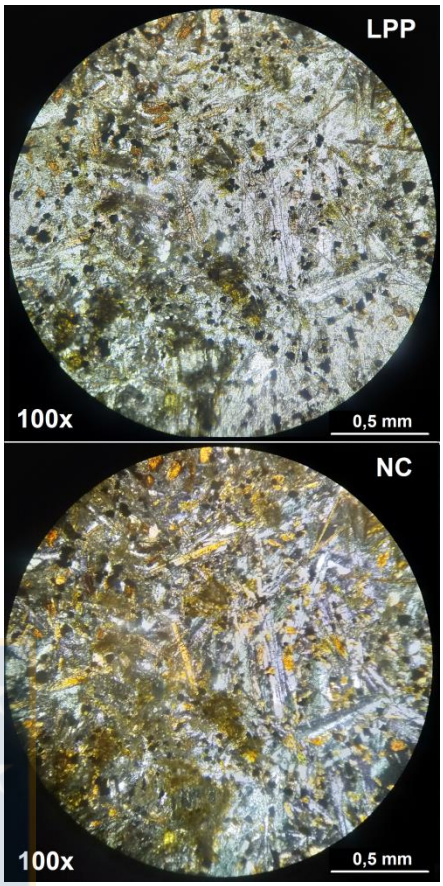
Observaciones: Tamaño de grano fino. En algunos sectores predomina la matriz por sobre los granos. Uralitización de los piroxenos y leve oxidación.

Muestra SC3M1			
Coordenadas 18F 672.002 m E / 4.359.214 m N WGS 1984			
Clasificación	Sublitarenita (Folk, 1968)		
	Arenisca (Nichols, 1999)		
Selección	Buena a moderada		
Fábrica	Clasto soportada		
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica
Grava	0	Granos	85 %
Arena	94	Matriz	8 %
Fango	6	Cemento	7 %
Descripción del cemento	Calcáreo tipo B Clorítico tipo B		
Tipo de contacto	Tangente		
Madurez textural	Inmadura		
Madurez composicional	Madura		



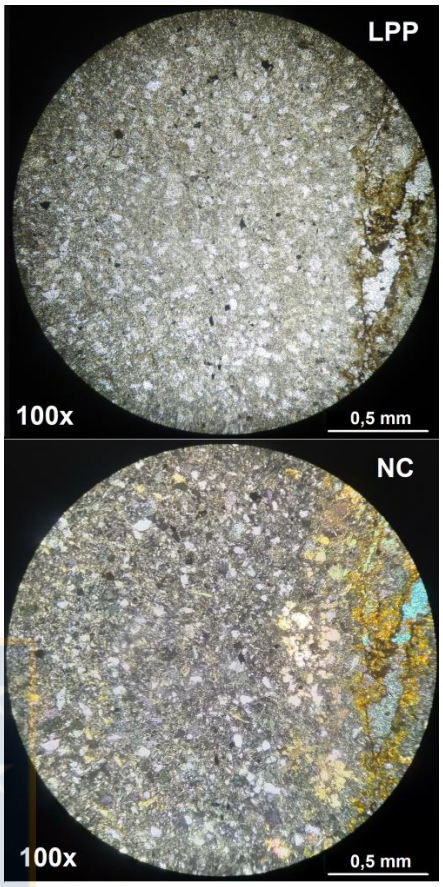
Monominerales			
Mineral	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**
Cuarzo	65	0,2	Subangular a subredondeado
Plagioclasa	6	0,15	Subangular a subredondeado
Piroxeno	4	0,1	Subredondeado
Muscovita	2	0,1	Angular
Biotita	3	0,2	Angular
Epidota	1	0,1	Angular
Opacos	5	0,15	Subredondeado a subangular
Arcillas	6	<0,06	-
Líticos			
Sedimentarios	1	0,3	Subredondeado
Volcánicos	7	0,2	Subredondeado a subangular
Bioclastos			
-	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano fino. Uralitización fuerte y cloritización de los piroxenos, alteración a calcita de las plagioclasas y moderada a alta alteración a arcillas de los feldespatos, oxidación de micas, arcillas y minerales indeterminados, además de moderada cloritización de las biotitas. La muestra es cortada por vetillas de calcita de 0,2 mm de espesor.

Muestra SC11M4		
Coordenadas 18F 671.803 m E / 4.359.191 m N WGS 1984		
Clasificación	Basalto de piroxeno (Streckeisen, 1978)	
Textura	Ofítica a subofítica	
Composición	**%**	
Fenocristales	76	
Masa fundamental	24	

Fenocristales				
Mineral	**%**	**Tamaño (mm)**	**Forma**	**Alteración**
Plagioclasa	56	0,1-0,7	Subhedral a euhedral	Arcillas, sericita, calcita
Piroxeno	15	0,06-0,5	Subhedral	Uralitización
Opacos	5	0,06-0,12	-	-
Masa fundamental				
Plagioclasa	21	<0,05	Subhedral a anhedral	Arcillas
Piroxeno	2	<0,05	Subhedral	-
Opacos	1	0,01-0,06	-	-

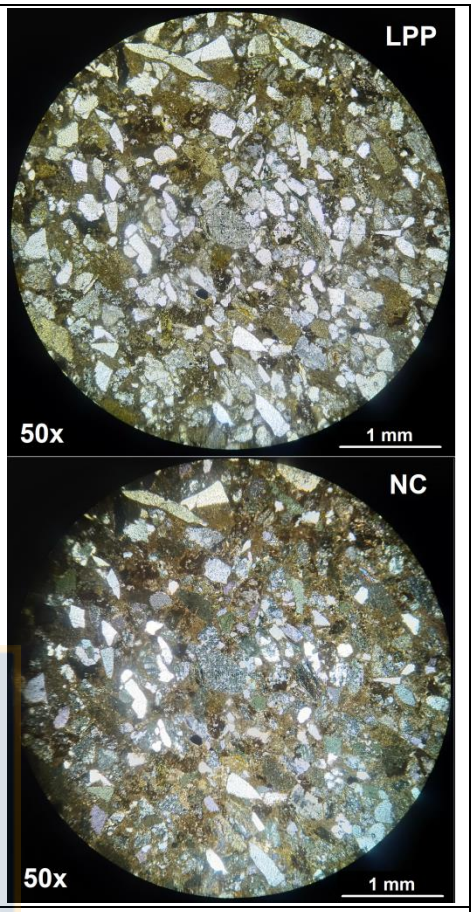
Observaciones: El tamaño de los fenocristales es fino. Contiene vesículas de entre 0,3 y 1,2 mm de diámetro, en ocasiones con cristales de calcita en sus bordes o rellenando parte del espacio. Alteración moderada a arcillas de las plagioclasas, además de alteración incipiente a sericita y calcita, fuerte uralitización de los piroxenos y oxidación.

Muestra SC11M5		
Coordenadas 18F 671.803 m E / 4.359.191 m N WGS 1984		
Clasificación	Basalto de piroxeno (Streckeisen, 1978)	
Textura	Porfídica	
Composición	**%**	
Fenocristales	20	
Masa fundamental	80	

Fenocristales				
Mineral	**%**	**Tamaño (mm)**	**Forma**	**Alteración**
Plagioclasa	17	0,03-0,15	Subhedral	Arcillas
Piroxeno	1	0,1	Subhedral	Uralitización
Opacos	2	0,03-0,05	-	-
Masa fundamental				
Plagioclasa	54	<0,03	Subhedral a anhedral	Arcillas
Piroxeno	25	<0,03	Anhedral	Uralitización
Opacos	1	<0,03	-	-

Observaciones: El tamaño de los fenocristales es muy fino**.** Contiene vetillas rellenas con calcita de aproximadamente 0,05 a 0,35 mm de espesor. En las zonas más alteradas, la muestra tiene amígdalas rellenas de calcita, las cuales son de entre 0,05 a 1 mm de diámetro. Alteración moderada a arcillas de las plagioclasas y fuerte uralitización de los piroxenos, además de oxidación.

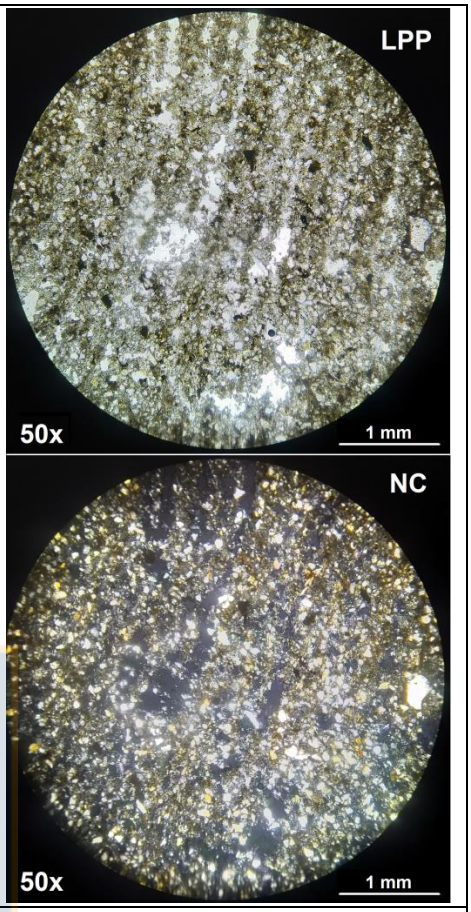
Muestra SC11M6			
Coordenadas 18F 671.791 m E / 4.359.170 m N WGS 1984			
Clasificación	Sublitarenita (Folk, 1968)		
	Arenisca fangosa (Nichols, 1999)		
Selección	Moderada		
Fábrica	Clasto soportada		
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica
Grava	0	Granos	70 %
Arena	80	Matriz	25 %
Fango	20	Cemento	5 %
Descripción del cemento	Calcáreo tipo B Clorítico tipo B Hematítico tipo A		
Tipo de contacto	Tangente y puntual		
Madurez textural	Inmadura		
Madurez composicional	Madura		



Monominerales			
Mineral	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**
Cuarzo	48	0,25	Subangular a subredondeado
Plagioclasa	4	0,2	Subredondeado a subangular
Piroxeno	3	0,15	Subredondeado
Muscovita	1	0,2	Angular
Biotita	3	0,2	Angular
Epidota	1	0,05	Subredondeado
Opacos	4	0,2	Subredondeado
Arcillas	30	<0,06	-
Líticos			
Sedimentarios	1	0,25	Subredondeado
Volcánicos	5	0,25	Subredondeado
Bioclastos			
-	-	-	-

Observaciones: Tamaño de grano medio a fino. En algunos sectores hay abundante cemento calcáreo. Fuerte uralitización y cloritización de los piroxenos, fuerte alteración de los feldespatos y minerales indeterminados a arcillas (se reconoce la forma de los granos únicamente, sumándose al porcentaje de arcillas un 10 %), alteración a clorita de las biotitas y oxidación de minerales indeterminados.

Muestra SC11M8				
Coordenadas 18F 671.789 m E / 4.359.156 m N WGS 1984				
Clasificación	Fangolita arenosa (Nichols, 1999)			
Selección	-			
Fábrica	Matriz soportada			
Componentes	**%**	**Textura**	Clástica	
Grava	0	Granos	36 %	
Arena	32	Matriz	61 %	
Fango	68	Cemento	3 %	
Descripción del cemento	Hematítico tipo A			
Tipo de contacto	Flotante y puntual			
Madurez textural	-			
Madurez composicional	-			

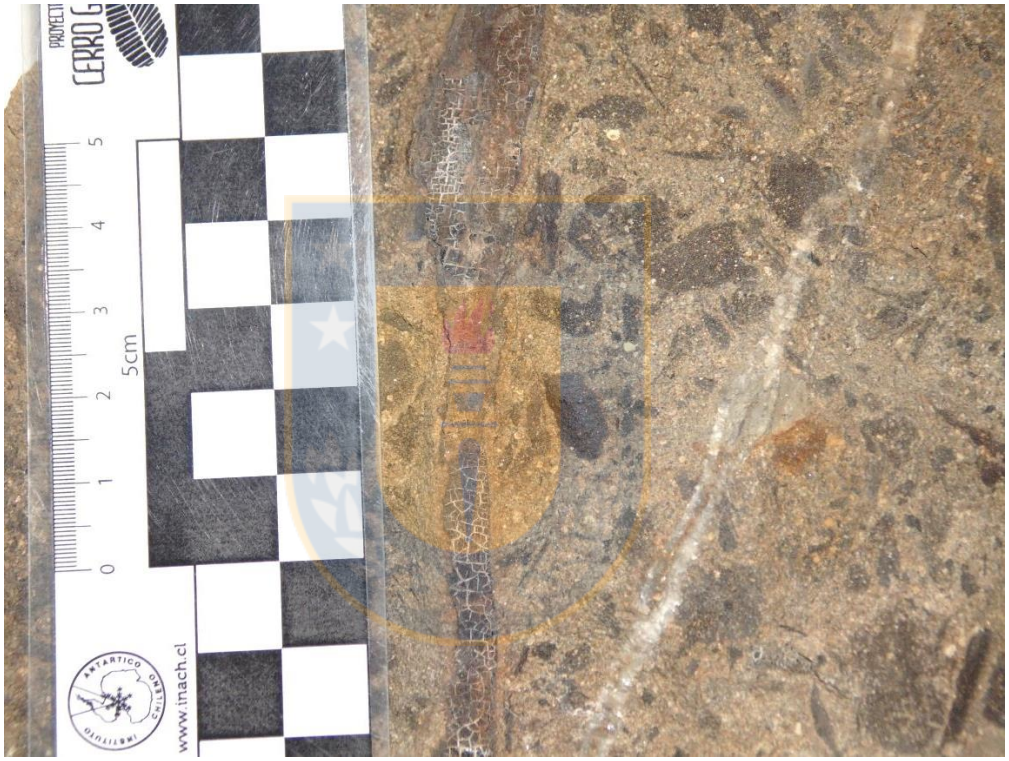


Monominerales			
Mineral	**%**	**Moda (mm)**	**Redondez**
Cuarzo	28	0,008	Subangular a subredondeado
Plagioclasa	5	0,008	Subangular
Piroxeno	1	0,008	Subredondeado
Muscovita	1	0,1	Angular
Epidota	1	0,003	Subredondeado
Glauconita	1	0,002	Redondeado
Opacos	2	0,007	Subredondeado
Arcillas	61	<0,006	-
Líticos			
-	-	-	-
Bioclastos			
-	-	-	-

Observaciones: Oxidación de los piroxenos y opacos.

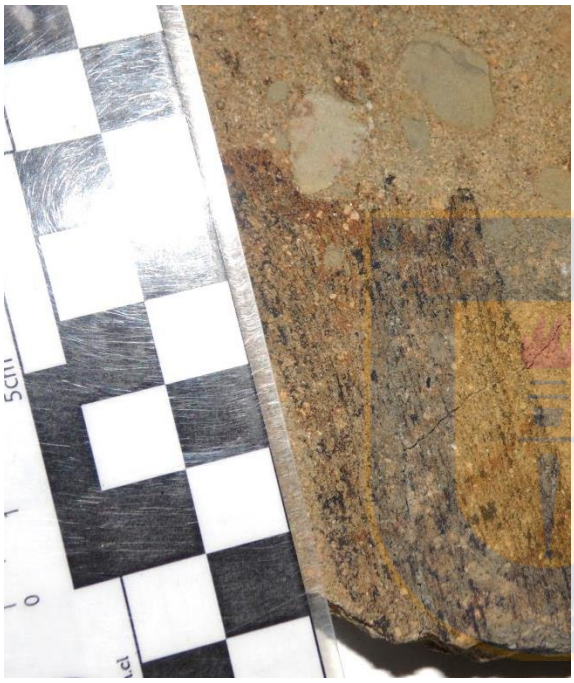
ANEXO 3:
DESCRIPCIÓN DE MACROFÓSILES

Muestra SC2F1						
Coordenadas 18F 672.134 m E / 4.359.216 m N WGS 1984						
Litología	Subarcosa (Folk, 1968)					
	Arenisca (Nichols, 1999)					
Taxonomía						
Reino	Plantae HAECKEL, 1866					
Phylum/División	-					
Clase	-					
Orden	-					
Familia	-					
Género y especie	-					



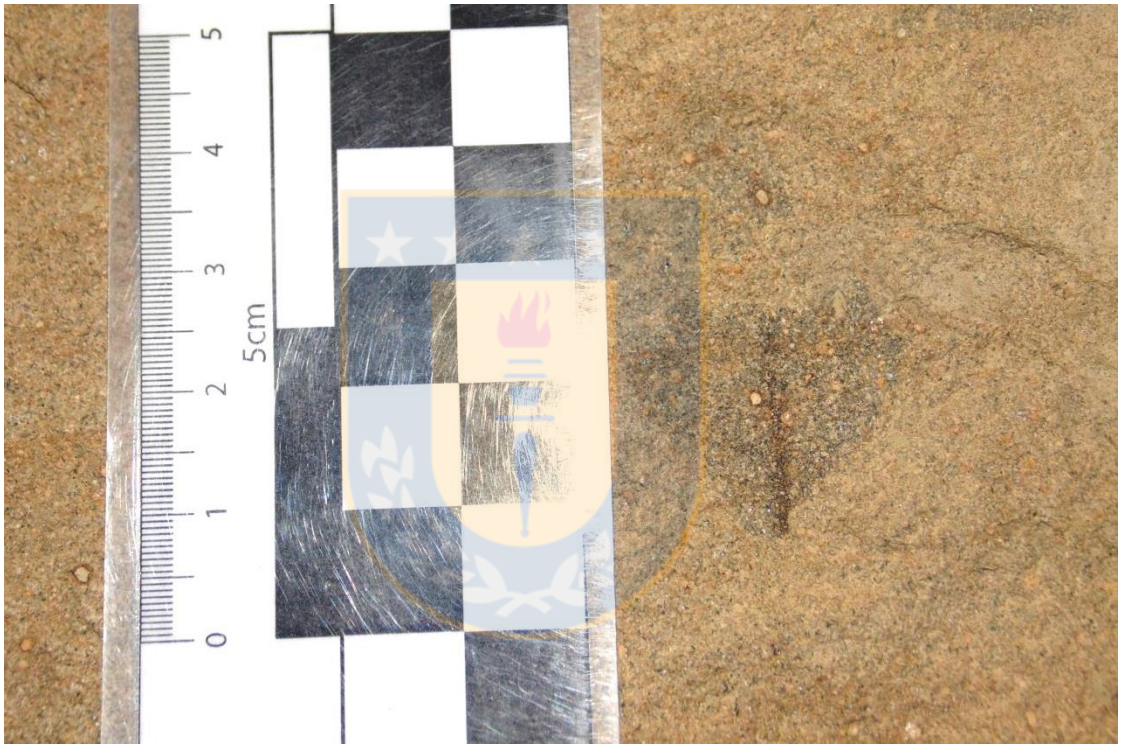
Descripción del fósil						
Edad	-					
Estado de conservación	Pobre					
Dimensiones (cm)	**Largo**	13	**Espesor**	-	**Ancho**	1,5
Observaciones: Fragmento de tronco con estructura reticulada acompañado de restos vegetales carbonizados indeterminados, también fragmentados.						

Muestra SC2F2						
Coordenadas 18F 672.134 m E / 4.359.216 m N WGS 1984						
Litología	Subarcosa (Folk, 1968)					
	Arenisca (Nichols, 1999)					
Taxonomía						
Reino	Plantae HAECKEL, 1866					
Phylum/División	-					
Clase	-					
Orden	-					
Familia	-					
Género y especie	-					
Descripción del fósil						
Edad	-					
Estado de conservación	Pobre					
Dimensiones (cm)	**Largo**	7-13	**Espesor**	-	**Ancho**	1,5-2,5
Observaciones: Fragmentos de troncos en dos caras de la muestra, ambos con estructura reticulada, acompañados de restos vegetales carbonizados indeterminados, también fragmentados. Contraparte de fósil SC2F1.						

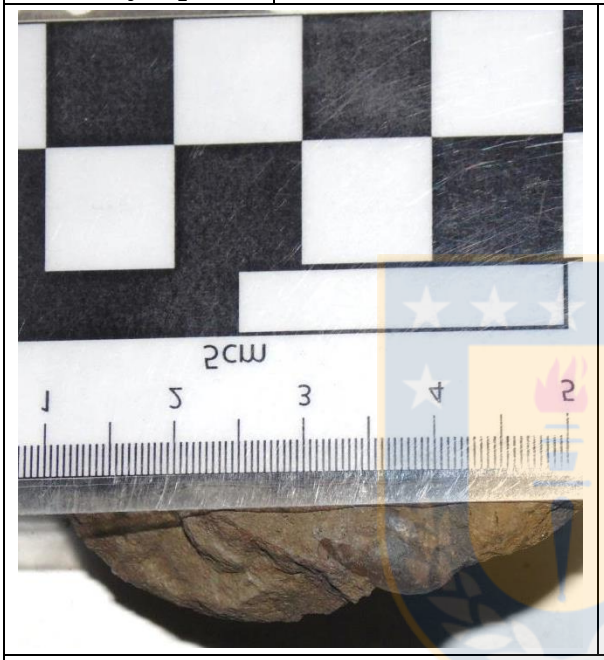
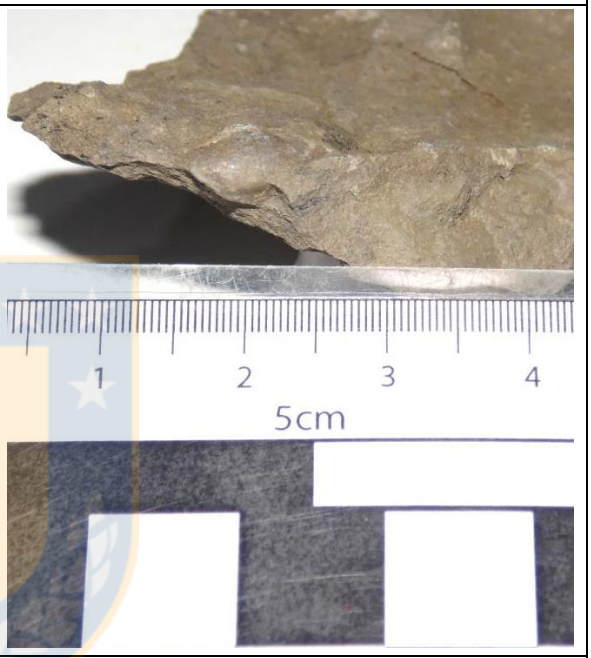
Muestra SC2F3						
Coordenadas 18F 672.134 m E / 4.359.216 m N WGS 1984						
Litología	Subarcosa (Folk, 1968)					
	Arenisca (Nichols, 1999)					
Taxonomía						
Reino	Plantae HAECKEL, 1866					
Phylum/División	-					
Clase	-					
Orden	-					
Familia	-					
Género y especie	-					
						
Descripción del fósil						
Edad	-					
Estado de conservación	Pobre					
Dimensiones (cm)	**Largo**	6	**Espesor**	-	**Ancho**	2,9
Observaciones: Fragmento de tronco con estructuras longitudinales en una cara de la muestra y restos vegetales carbonizados indeterminados en cara opuesta, también incompletos.						

Muestra SC2F4						
Coordenadas 18F 672.112 m E / 4.359.208 m N WGS 1984						
Litología	Subarcosa (Folk, 1968)					
	Arenisca (Nichols, 1999)					
Taxonomía						
Reino	Animalia LINNAEUS, 1758					
Phylum/División	Mollusca LINNAEUS, 1758					
Clase	Cephalopoda CUVIER, 1797					
Orden	Ammonitida HYATT, 1889					
Familia	Placenticeratidae HYATT, 1900					
Género y especie	*Hoplitoplacenticeras plasticum* PAULCKE, 1906					
Descripción del fósil						
Edad	Campaniano-Maastrichtiano					
Estado de conservación	Pobre					
Dimensiones (cm)	**Largo**	-	**Espesor**	-	**Ancho**	-
Observaciones: Fragmento de molde interno en el que sólo se reconoce ornamentación característica, la cual se constituye de costillas gruesas y sinuosas que parten desde tubérculos, estos últimos dispuestos en dos filas. Esta clasificación taxonómica usa como base el trabajo de Katz (1963).						

Muestra SC11F1						
Coordenadas 18F 671.791 m E / 4.359.226 m N WGS 1984						
Litología	Subarcosa (Folk, 1968)					
	Arenisca (Nichols, 1999)					
Taxonomía						
Reino	Plantae HAECKEL, 1866					
Phylum/División	Magnoliophyta CRONQUIST *et al.*, 1966					
Clase	-					
Orden	-					
Familia	-					
Género y especie	-					



Descripción del fósil						
Edad	-					
Estado de conservación	Pobre					
Dimensiones (cm)	**Largo**	1,9	**Espesor**	-	**Ancho**	2,3
Observaciones: Impronta de fragmento de hoja con nervadura primaria gruesa y, apenas visible, venación secundaria fina.						

Muestra SC11F2						
Coordenadas 18F 671.791 m E / 4.359.225 m N WGS 1984						
Litología	Fangolita (Nichols, 1999)					
Taxonomía						
Reino	Animalia LINNAEUS, 1758					
Phylum/División	Mollusca LINNAEUS, 1758					
Clase	Bivalvia LINNAEUS, 1758					
Orden	-					
Familia	-					
Género y especie	-					
						
Descripción del fósil						
Edad	-					
Estado de conservación	Pobre					
Dimensiones (cm)	**Largo**	0,5	**Espesor**	0,6	**Ancho**	1,3
Observaciones: Molde interno de bivalvo que conserva ambas valvas, cuya valva izquierda se encuentra parcialmente cubierta por la roca. Umbo visible de carácter prosogiro, el fósil carece de ornamentación visible y la concha es alargada transversalmente.						

Muestra SC11F3a, SC11F3b y SC11F3c						
Coordenadas 18F 671.819 m E / 4.359.204 m N WGS 1984						
Litología	Fangolita (Nichols, 1999)					
Taxonomía						
Reino	Plantae HAECKEL, 1866					
Phylum/División	-					
Clase	-					
Orden	-					
Familia	-					
Género y especie	-					

Descripción del fósil						
Edad	-					
Estado de conservación	Pobre					
Dimensiones (cm)	**Largo**	2,5-3	**Espesor**	-	**Ancho**	0,2-0,3
Observaciones: Fragmentos de restos vegetales leñosos carbonizados y alargados, similar a ramas.						

Muestra SC12F1						
Coordenadas 18F 671.973 m E / 4.359.344 m N WGS 1984						
Litología	Subarcosa (Folk, 1968)					
	Arenisca (Nichols, 1999)					
Taxonomía						
Reino	Animalia LINNAEUS, 1758					
Phylum/División	Mollusca LINNAEUS, 1758					
Clase	Cephalopoda CUVIER, 1797					
Orden	Ammonitida HYATT, 1889					
Familia	Placenticeratidae HYATT, 1900					
Género y especie	*Hoplitoplacenticeras plasticum* PAULCKE, 1906					

Descripción del fósil						
Edad	Campaniano-Maastrichtiano					
Estado de conservación	Pobre					
Dimensiones (cm)	**Largo**	-	**Espesor**	-	**Ancho**	-

Observaciones: Fragmento de molde interno en el que sólo se reconoce ornamentación característica, la cual se constituye de costillas gruesas que parten desde tubérculos, estos últimos dispuestos en dos filas. Esta clasificación taxonómica usa como base el trabajo de Katz (1963).

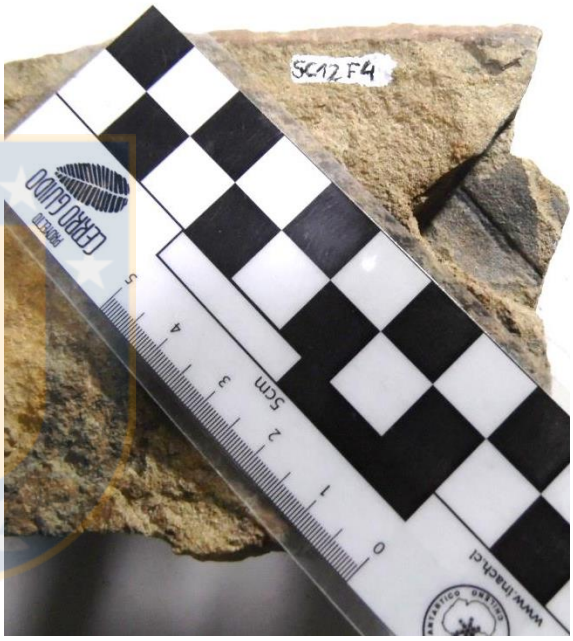
Muestra SC12F2						
Coordenadas 18F 671.961 m E / 4.359.343 m N WGS 1984						
Litología	Subarcosa (Folk, 1968)					
	Arenisca (Nichols, 1999)					
Taxonomía						
Reino	Plantae HAECKEL, 1866					
Phylum/División	Pinophyta REVEAL, 1996					
Clase	Pinopsida BURNETT, 1833					
Orden	Pinales DUMORTIER, 1829					
Familia	Podocarpaceae ENDLICHER, 1847					
Género y especie	-					

Descripción del fósil						
Edad	-					
Estado de conservación	Pobre					
Dimensiones (cm)	**Largo**	5	**Espesor**	-	**Ancho**	0,8

Observaciones: Impronta de hoja simple y linear, asimétrica, con ángulo basal y apical agudo. El margen es entero, carece de lóbulos y sólo es visible la nervadura principal. La muestra incluye, además, restos vegetales carbonizados indeterminados.

Muestra SC12F3						
Coordenadas 18F 671.961 m E / 4.359.343 m N WGS 1984						
Litología	Subarcosa (Folk, 1968)					
	Arenisca (Nichols, 1999)					
Taxonomía						
Reino	Plantae HAECKEL, 1866					
Phylum/División	-					
Clase	-					
Orden	-					
Familia	-					
Género y especie	-					

Descripción del fósil						
Edad	-					
Estado de conservación	Pobre					
Dimensiones (cm)	**Largo**	2,4	**Espesor**	-	**Ancho**	0,5
Observaciones: Fragmento vegetal leñoso con estructuras longitudinales.						

Muestra SC12F4						
Coordenadas 18F 671.881 m E / 4.359.275 m N WGS 1984						
Litología	Subarcosa (Folk, 1968)					
	Arenisca fangosa (Nichols, 1999)					
Taxonomía						
Reino	Plantae HAECKEL, 1866					
Phylum/División	Magnoliophyta CRONQUIST *et al.*, 1966					
Clase	-					
Orden	-					
Familia	-					
Género y especie	-					
						
Descripción del fósil						
Edad	-					
Estado de conservación	Pobre					
Dimensiones (cm)	**Largo**	2	**Espesor**	-	**Ancho**	2,2
Observaciones: Impronta de hoja incompleta con una nervadura primaria gruesa. Incluye impronta de restos vegetales leñosos indeterminados e incompletos en la cara opuesta, la cual es más fangosa.						