

Trabajo Final de Grado
Licenciatura en Geología / Facultad de Ciencias - UdelaR

Análisis de facies de las unidades Carbonífero-Pérmicas en las perforaciones Yaguarón Chico E1 y Soto Goro E2 (Cerro Largo, Uruguay)



Estudiante: **William Horacio Aguilar Barrios**
Docente orientadora: **Dra. Ethel Morales**



Agradecimientos

Me resulta muy obvio dar mi primer agradecimiento en todo sentido, a la persona que aceptó el desafío de guiarme, encaminarme y levantarme, en este tan largo proceso. Gracias a Ethel, por la disposición ante cualquier consulta, duda o desmotivación, por brindar una respuesta siempre tan cordial, humana y comprometida con mi formación. Es alguien a quien admiro tanto como profesional y docente, que siempre voy a recordar por no haber permitido que me rindiera, incluso cuando tenía sus propias batallas para luchar por su salud. Sin dudas este trabajo es de ella por igual o más.

A ANCAP, por la autorización para el uso de los datos y plena disposición en sus instalaciones (Planta Capurro). De igual manera, a los funcionarios que me recibieron y siempre estaban dispuestos a cualquier consulta, ayuda o charla, es así que le doy gracias a Manuela, Rodrigo, Andrés, Lucía, Carlos y al “peti” por su compañía en los meses de Litoteca.

A la Facultad de Ciencias y al Instituto de Ciencias Geológicas.

A Josefina, Gerardo y a Pablo por su ayuda en consultas referentes a la literatura, su criterio geológico, apoyo en cuanto a la representación digital de los perfiles y la buena disposición hacia mí.

A mi familia, que son y serán esas personas que siempre van a estar y que me hacen linda la vida. Que después de tanto y con mis idas y vueltas, hoy puedo decir que cumplo con una meta personal, que será siempre nuestra. Este trabajo es por y para ustedes.

A esa familia, que tal vez decir “yo la elegí” es casi tan válido como que la vida nos eligió, a mis amigos de toda la vida, con los que he vivido tantas y viviremos tantas cosas más. Me enorgullece a un punto que no puedo explicar con palabras, cómo me han aguantado la cabeza todo este tiempo y eso es decir mucho. Este trabajo claro que es de ustedes.

A los amigos que me dio este centro de estudios, desde la primera semana de clases, que si bien no coincidimos todos en la formación que elegimos, las charlas, los mates y la facultad siempre nos encontraron juntos, también a ellos les dedico este trabajo.

A mis amigos de carrera, con quien compartimos las clases, las locuras de los exámenes, tantas salidas de campo e infinitas charlas. Puedo decir que además de quererlos los admiro como colegas y sé que se convertirán en excelentes profesionales. Para ustedes es este trabajo.

A Mari, por ser mi profesora de Corel Draw y por esas tardes de mates, charlas, geología y EME Plásticas.

A Cecily porque, a pesar de todo, en este tiempo que tuvo tantas cosas intensas en todos los sentidos, ella fue parte de mi vida y nunca lo voy a poder olvidar. También es para ti este trabajo Payasita, gracias de corazón.

Y en una última mención muy especial, quiero dar las gracias a mi Mamá, no solo por la vida y el tiempo que me regaló sino porque lo bueno que hay en mí es gracias a ella. Ojalá hubieras tenido un poco más de tiempo para ver a tu nene dar inicio en esta ciencia tan hermosa, y hoy llegar a cumplir su sueño. Este trabajo sin dudas es tuyo, *merci pour tout maman*.

Resumen

Este trabajo presenta el análisis de las facies sedimentarias presentes en las perforaciones Yaguarón Chico E1 y Soto Goro E2, ubicadas en el sector este de la Cuenca Norte (Uruguay) y realizadas por la empresa petrolera estatal (ANCAP) en el año 2015, en el marco de una campaña exploratoria de carbón. Las perforaciones objeto de estudio comprenden las unidades formales que integran el Grupo Cerro Largo, con excepción de la Formación Buena Vista. Ambas se inician en la Formación Yaguarí y finalizan en el basamento cristalino, totalizando 761 metros de testigo continuo. Se reconocieron y caracterizaron un total de 36 facies sedimentarias, desde el punto de vista descriptivo. La Formación San Gregorio es la unidad estratigráfica que presenta la mayor diversidad de facies, presentando un total de 8 facies sedimentarias. Por su parte, las formaciones Tres Islas, Frayle Muerto, Mangrullo y Yaguarí presentan cada una de ellas 6 facies sedimentarias. La Formación Paso Aguiar es la que presenta la menor diversidad faciológica con la presencia de 4 facies sedimentarias. Los perfiles estratigráficos de ambas perforaciones reflejan un arreglo transgresivo-regresivo, en el que es posible contextualizar las facies sedimentarias identificadas en tres de los ciclos sedimentarios propuestos para los registros Carbonífero-Pérmicos de la Cuenca Norte (glaciogénico, marino-deltaico y transicional-marino), no habiéndose identificado facies correspondientes al ciclo fluvio-eólico.

Índice de figuras

Fig. 3.1: Ubicación de las perforaciones (Soto Goro E2 y Yaguarón Chico E1)	3
Fig. 4.1: Mapa geomorfológico del Uruguay (Panario 1988 <i>in</i> Alvarez & De Souza-Rocha 2010)	4
Fig. 5.1: Mapa geológico simplificado de la Cuenca Paraná, en base a la propuesta original Milani (1997); tomado de Maahs <i>et al.</i> (2019)	5
Fig. 5.2: Cuencas sedimentarias <i>on shore</i> de Uruguay. Tomado de Soto (2014)	6
Fig. 5.3: Columna crono-litoestratigráfica de la Cuenca Norte, tomado de la propuesta de De Santa Ana (2004)	7
Fig. 6.1: Diagrama para la clasificación de composición en areniscas, tomado y modificado de la propuesta de Pettijohn <i>et al.</i> (1987)	18
Fig. 7.1: Perfil estratigráfico de la perforación Yaguarón Chico E1	23
Fig. 7.2: Perfil estratigráfico de la perforación Soto Goro E2	24
Fig. 7.3: Litofacies <i>Dm</i> – Formación San Gregorio	26
Fig. 7.4: Litofacies <i>Ds</i> – Formación San Gregorio	27
Fig. 7.5: Litofacies <i>Dd</i> – Formación San Gregorio	28
Fig. 7.6: Litofacies <i>Sd</i> – Formación San Gregorio	29
Fig. 7.7: Litofacies <i>Sl</i> – Formación San Gregorio	30
Fig. 7.8: Litofacies <i>Sr</i> – Formación San Gregorio	31
Fig. 7.9: Litofacies <i>R</i> – Formación San Gregorio	32
Fig. 7.10: Litofacies <i>L</i> – Formación San Gregorio	33
Fig. 7.11: Litofacies <i>SGm</i> – Formación Tres Islas	34
Fig. 7.12: Litofacies <i>SGn</i> – Formación Tres Islas	35
Fig. 7.13: Litofacies <i>St</i> – Formación Tres Islas	36
Fig. 7.14: Litofacies <i>Sh</i> – Formación Tres Islas	37
Fig. 7.15: Litofacies <i>Ht</i> – Formación Tres Islas	38
Fig. 7.16: Litofacies <i>C</i> – Formación Tres Islas	39
Fig. 7.17: Litofacies <i>St</i> – Formación Frayle Muerto	40
Fig. 7.18: Litofacies <i>Sl</i> – Formación Frayle Muerto	41
Fig. 7.19: Litofacies <i>Sl</i> – Formación Frayle Muerto	42
Fig. 7.20: Litofacies <i>MS</i> – Formación Frayle Muerto	43
Fig. 7.21: Litofacies <i>MS</i> – Formación Frayle Muerto	44
Fig. 7.22: Litofacies <i>Ht_b</i> – Formación Frayle Muerto	45
Fig. 7.23: Litofacies <i>R</i> – Formación Frayle Muerto	46
Fig. 7.24: Litofacies <i>Fl</i> – Formación Frayle Muerto	47
Fig. 7.25: Litofacies <i>Lh_c</i> – Formación Mangrullo	48

Fig. 7.26: Litofacies <i>Mm</i> – Formación Mangrullo	49
Fig. 7.27: Litofacies <i>L_db</i> – Formación Mangrullo	50
Fig. 7.28: Litofacies <i>Ht</i> – Formación Mangrullo	51
Fig. 7.29: Litofacies <i>Fl</i> – Formación Mangrullo	52
Fig. 7.30: Litofacies <i>Lh_k</i> – Formación Mangrullo	53
Fig. 7.31: Litofacies <i>Sh</i> – Formación Paso Aguiar	54
Fig. 7.32: Litofacies <i>Sh</i> – Formación Paso Aguiar	55
Fig. 7.33: Litofacies <i>Ht_wl</i> – Formación Paso Aguiar	56
Fig. 7.34: Litofacies <i>Fl</i> – Formación Paso Aguiar	57
Fig. 7.35: Litofacies <i>otras</i> – Formación Paso Aguiar	58
Fig. 7.36: Litofacies <i>Sr</i> – Formación Yaguarí	59
Fig. 7.37: Litofacies <i>Sh</i> – Formación Yaguarí	60
Fig. 7.38: Litofacies <i>Ht_f</i> – Formación Yaguarí	61
Fig. 7.39: Litofacies <i>Ht_w</i> – Formación Yaguarí	62
Fig. 7.40: Litofacies <i>Ht_w</i> – Formación Yaguarí	63
Fig. 7.41: Litofacies <i>Ht_l</i> – Formación Yaguarí	64
Fig. 7.42: Litofacies <i>Fl</i> – Formación Yaguarí	65
Fig. 8.1: Sedimentación en lagos glaciales. Tomado de Assine & Vesely (2008)	68
Fig. 8.2: Sedimentación en sistemas glacio-marinos. Tomado de Assine & Vesely (2008)	69
Fig. 8.3: Modelo de sedimentación de carbón en ambientes deltaicos, tomado de McBride & Caffey (1979)	71
Fig. 8.4: Representación esquemática del modelo depositacional de carbón, región de Candiota, tomado de Holz et al. (2000)	72
Fig. 8.5: Propuesta para las litologías presentes en la Formación Mangrullo, tomado de De Santa Ana & Gutiérrez (2000)	73
Fig. 8.6: Modelo Geológico para la Formación Iratí en el sector norte de la Cuenca Paraná, tomado de Oishi et al. (2019)	75

Índice de tablas

Tabla 1: Ubicación geográfica de las perforaciones de estudio	3
Tabla 2: Propuestas litoestratigráficas para la megasecuencia Permo-Carbonífera de la Cuenca Norte	9
Tabla 3: Columna litoestratigráfica del Permo-Carbonífero de la Cuenca Norte, tomado de De Santa Ana <i>et al.</i> (2006)	10
Tabla 4: Código de facies, adaptado de la propuesta de Eyles <i>et al.</i> (1983)	20
Tabla 5: Código de facies, adaptado de la propuesta de Miall (1978)	20
Tabla 6: Código de facies para areniscas, adaptado de la propuesta de Eyles <i>et al.</i> (1983) y Miall (1978)	20
Tabla 7: Código de facies, adaptado de la propuesta de Ghibaudo (1992)	21
Tabla 8: En la tabla se reúnen las facies, en base al contenido de psamitas y pelitas y las estructuras que conforman	21
Tabla 9: En la tabla se Agrupan las pelitas, haciendo distinción en la granulometría y estructuras presentes	21
Tabla 10: Facies sedimentarias identificadas en este trabajo para la Formación Mangrullo	74

Índice

1. Introducción	1
2. Objetivos	2
2.1 Objetivo General	2
2.2 Objetivos Específicos	2
3. Ubicación de las Perforaciones	3
4. Aspectos Fisiográficos	4
5. Marco Geológico Regional y Local	5
5.1 Cuenca Paraná	5
5.2 Cuenca Norte	6
5.2.1 Propuestas Litoestratigráficas para la secuencia Permo-Carbonífera	8
5.2.2 Antecedentes por unidad litoestratigráfica	10
6. Materiales y Métodos	16
6.1 Materiales	16
6.2 Métodos	16
6.2.1 Fase Preliminar	16
6.2.2 Fase Descriptiva	17
6.2.3 Fase de Gabinete	18
7. Resultados	22
7.1 Perfiles Estratigráficos	22
7.2 Facies Sedimentarias	25
8. Discusión	66
9. Conclusiones	77
Bibliografía	

1. Introducción

El presente trabajo se desarrolló en el marco de la Licenciatura en Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay, constituyendo el último requisito curricular.

En el sector este de la Cuenca Norte uruguaya afloran unidades sedimentarias de edad Carbonífero-Pérmico, siendo para algunas de ellas el único lugar de ocurrencia conocido (ej. Formación Mangrullo), mientras que para otras representa las mejores áreas de afloramiento (ej. Formación Buena Vista). Algunas de estas unidades se extienden por debajo de las rocas sedimentarias y/o volcánicas más jóvenes hacia el sector oeste y norte de la cuenca.

Ese sector de cuenca ha suscitado el interés desde hace varias décadas, y con intensidades variables, de la empresa petrolera estatal (Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland - ANCAP) y empresas privadas ya que contiene la única reserva de combustibles fósiles probada en nuestro país, asociada a la Formación Mangrullo.

Asimismo, en ese sector de cuenca y asociado a la sección media a superior de la Formación Tres Islas, existen antiguos indicios de carbón (ej. pozos antiguos del Instituto Geológico Uruguayo) que llevaron a ANCAP a iniciar una campaña exploratoria en el año 2010.

En el marco de esa campaña, en el año 2015, ANCAP perforó 13 pozos estratigráficos en el departamento de Cerro Largo. Las perforaciones Yaguarón Chico E1 y Soto Goro E2 (objeto de estudio del presente trabajo) son las más profundas del conjunto de perforaciones realizadas por ANCAP, iniciándose en la Formación Yaguarí y finalizando en el basamento. Las perforaciones Yaguarón Chico E1 y Soto Goro E2 tienen una profundidad total de 383,5 metros y de 377,5 metros, respectivamente, totalizando 761 metros de testigo continuo.

El presente trabajo pretende contribuir al conocimiento de ese sector de cuenca, y en particular de las unidades estratigráficas perforadas, a partir de la realización de una descripción detallada de las facies sedimentarias que las integran, lo que permitirá avanzar en el conocimiento de las mismas y de la evolución de los registros en el tiempo geológico; como, asimismo, convertirse en un elemento de correlación con otros registros, particularmente en la porción brasileña de la cuenca.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Caracterización y análisis de facies sedimentarias de las unidades pertenecientes a la Secuencia Permo-Carbonífera, en las perforaciones Yaguarón Chico E1 y Soto Goro E2.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Descripción de las facies sedimentarias presentes en las perforaciones de estudio.
- b) Caracterización de los contactos entre las facies sedimentarias identificadas.
- c) Elaboración del perfil estratigráfico de cada una de las perforaciones.
- d) Contextualización general y análisis de las facies presentes en sistemas depositacionales.

3. Ubicación de las Perforaciones

Las perforaciones de estudio (Yaguarón Chico E1 y Soto Goro E2) están ubicadas al Este de la localidad de Isidoro Noblía, en el departamento de Cerro Largo (Uruguay), separadas 9,7 km una de la otra. Se accede a las mismas por el camino que une las localidades de Isidoro Noblía y San Diego (Fig. 3.1).

Las coordenadas de las perforaciones (Proyección UTM) y sus cotas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Ubicación geográfica de las perforaciones de estudio.

Perforación	Hoja	X (m)	Y (m)	Cota (m)
Yaguarón Chico E1	22 J	217319	6461495	133
Soto Goro E2	21 J	775134	6458740	139

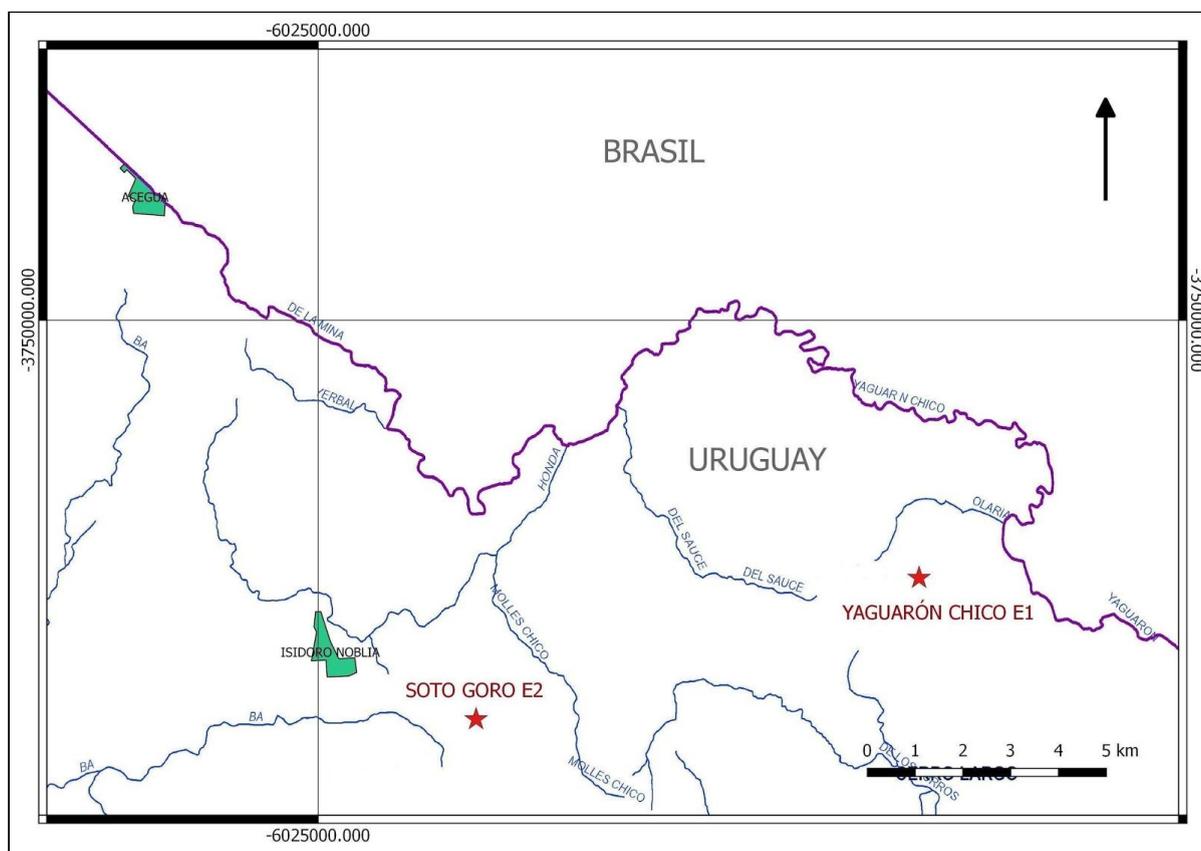


Fig. 3.1: Ubicación de las perforaciones (Soto Goro E2 y Yaguarón Chico E1).

4. Aspectos Fisiográficos

Las perforaciones en estudio se ubican en el sector este de la Cuenca Norte uruguaya, región denominada como “cuenca sedimentaria del noreste” desde el punto de vista geomorfológico (Panario, 1988) (Fig. 4.1). La misma está caracterizada por la ocurrencia de rocas sedimentarias de la Cuenca Gondwánica y la emersión de rocas cristalinas (Islas Cristalinas de Rivera y Aceguá).

Panario (1988) plantea el carácter estable de la Cuenca Gondwánica en cuanto a recepción de material sedimentario, lo que permite inferir que el potencial morfogenético de la región no varió durante el cuaternario, estando el relieve en la región compuesto por lomadas fuertes y colinas.

Gran parte de las vías de drenaje nacen del frente de cuesta o de la Sierra de Ríos, ubicándose las principales cañadas y entalles en lineamientos estructurales de orientación preferente E-W (ej. Área de Bañados y Cañada de los Burros), NE-SW y NW-SE (ej. Cañada del Rodeo del Barón y Cerro La Valeriana).

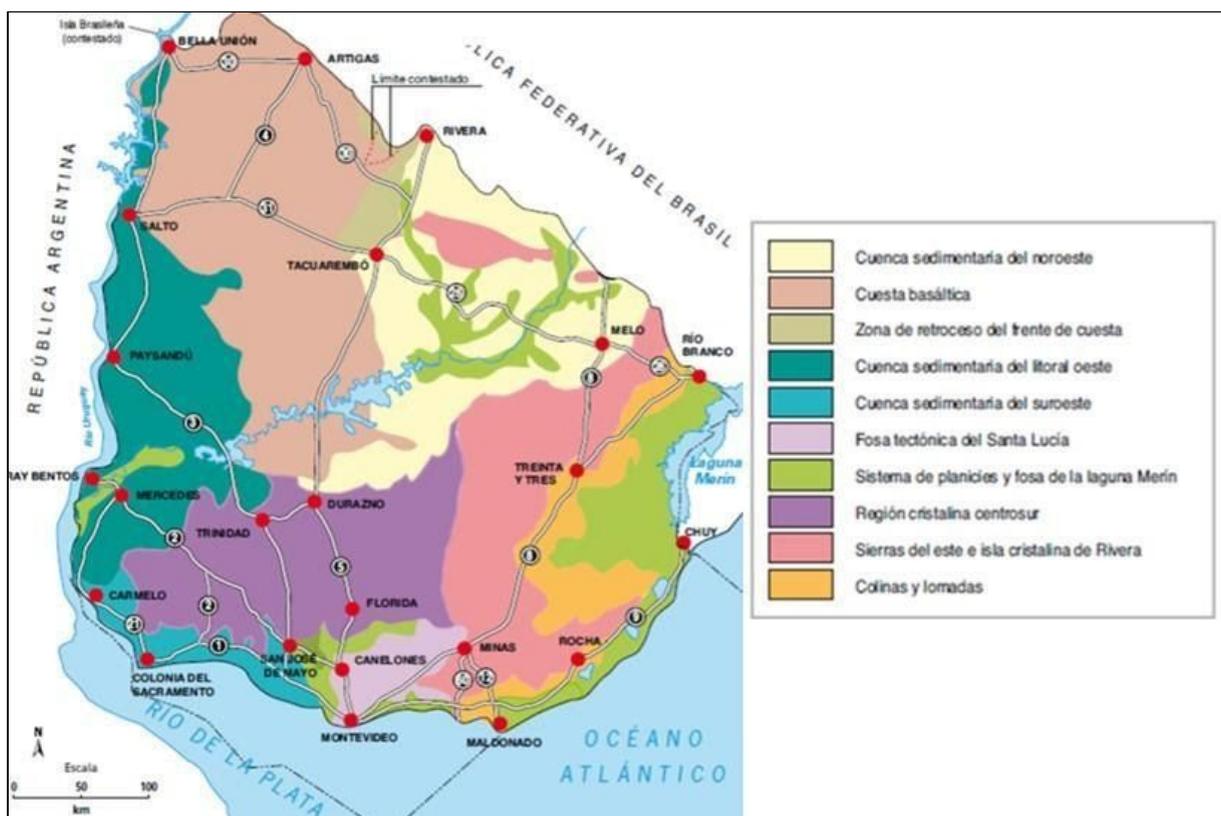


Fig. 4.1: Mapa geomorfológico del Uruguay (Panario 1988 in Álvarez & De Souza-Rocha 2010).

5. Marco Geológico Regional y Local

5.1 Cuenca Paraná

La Cuenca Paraná es un amplio ámbito de sedimentación en el continente sudamericano, que se extiende por las áreas meridionales del territorio de Brasil, orientales de Paraguay, noreste de la Argentina y norte de Uruguay (Milani *et al.* 2007) (Fig. 5.1). En Argentina recibe el nombre de Cuenca Chacoparanaense y en nuestro territorio el de Cuenca Norte. Su contorno actual es definido por límites erosivos, vinculados en gran parte a la historia geotectónica Meso-Cenozoica del continente (De Santa Ana 2004).

Este gran ámbito de sedimentación presenta una superficie de aproximadamente 1.700.000 km² y alcanza espesores de más de 7.000 m de rocas ígneas y sedimentarias de edades asignadas a casi todo el Eón Fanerozoico (Zalán *et al.* 1990). En el registro estratigráfico de la cuenca se pueden reconocer seis unidades de amplia escala *sensu* Milani (1997), o Supersecuencias (Vail *et al.* 1977), en forma de grandes paquetes rocosos, limitados por discordancias de escala regional. Las secuencias se denominan, de base a tope: Río Ivaí (Ordovícico-Silúrico), Paraná (Devónico), Gondwana I (Carbonífero-Eotriásico), Gondwana II (Meso a Neotriásico), Gondwana III (Neojurásico-Eocretácico) y Baurú (Neocretácico) (Fig. 5.1).

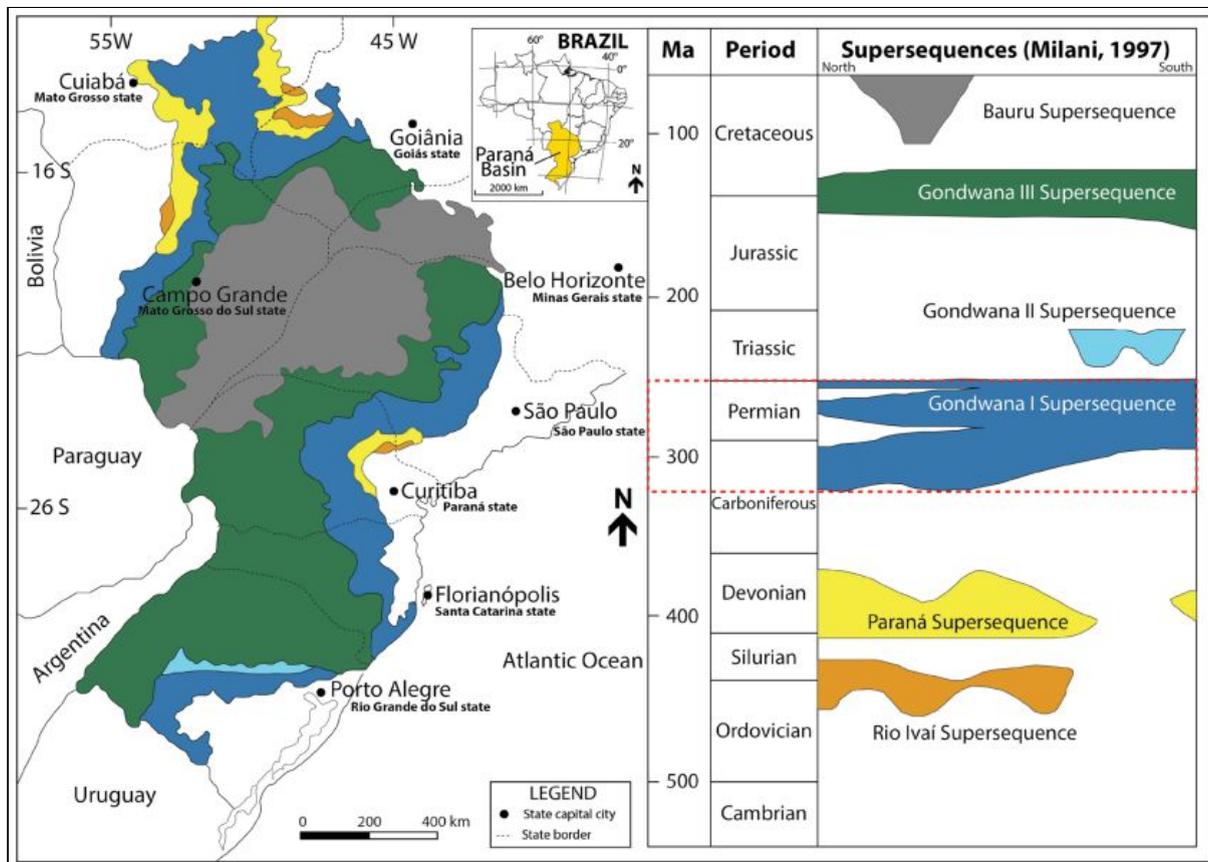


Fig. 5.1: Mapa geológico simplificado de la Cuenca Paraná,

en base a la propuesta original de Milani (1997); tomado de Maahs *et al.* (2019).

Las supersecuencias Río Ivaí, Paraná y Gondwana I son representadas por sucesiones sedimentarias que permiten definir ciclos transgresivo-regresivos causados por variaciones relativas del nivel del mar durante el Paleozoico. En tanto, las supersecuencias Gondwana II, Gondwana III y Baurú integran potentes paquetes volcano-sedimentarios de origen continental.

5.2 Cuenca Norte

La Cuenca Norte del Uruguay presenta un área de aproximadamente 90.000 km², extendiéndose por la región norte del territorio nacional, constituyendo el área más austral aflorante de la sedimentación Gondwánica (Milani *et al.* 2007; Veroslavsky *et al.* 2006; De Santa Ana 2004) (Fig. 5.2).

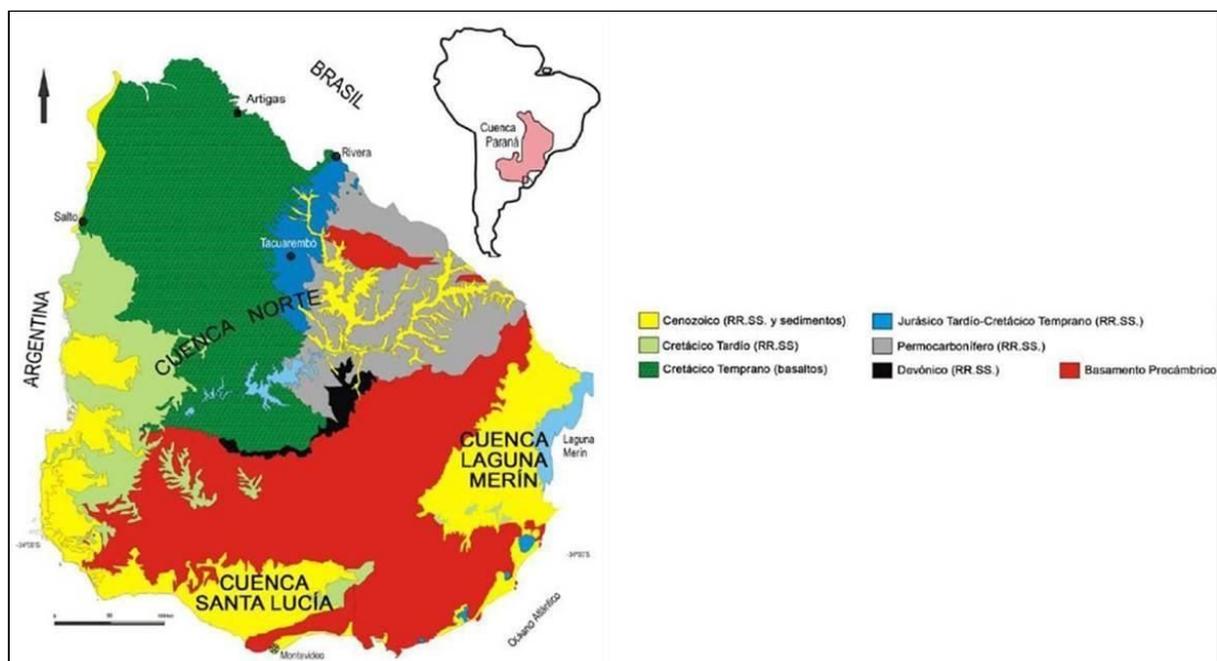


Fig. 5.2: Cuencas sedimentarias *onshore* de Uruguay. Tomado y modificado de Soto (2014).

La Cuenca Norte presenta espesores acumulados aproximados a los 2.400 m y un relleno constituido por rocas sedimentarias y volcánicas de edades comprendidas entre el Devónico temprano y el Cretácico tardío, las cuales están agrupadas en diferentes secuencias (De Santa Ana 2004; De Santa Ana & Ucha 1994; Goso & De Santa Ana 1994).

De acuerdo a De Santa Ana (2004) la estratigrafía de la Cuenca Norte está constituida por cuatro secuencias de primer orden, separadas por discordancias regionales, denominadas: a)

Secuencia Devónica, b) Secuencia Permo-Carbonífera, c) Secuencia Juro-Eocretácica y d) Secuencia Neocretácica (Fig. 5.3).

Los registros del Carbonífero-Pérmico en la Cuenca Norte conforman, desde el punto de vista de la estratigrafía formal, el Grupo Cerro Largo (De Santa Ana *et al.* 2006; Goso *et al.* 1996; Goso 1995), el cual está integrado de base a tope por las formaciones: San Gregorio, Cerro Pelado, Tres Islas, Frayle Muerto, Mangrullo, Paso Aguiar, Yaguari y Buena Vista. Estos registros evidencian una paulatina continentalización del área ocupada por un amplio mar abierto hacia el Oeste que tenía como nivel de base al océano *Panthalassa* (De Santa Ana *et al.* 2006).

Los primeros registros de esta secuencia están íntimamente ligados a un importante evento glacial conocido como “Glaciación Gondwánica” y los últimos, de naturaleza continental, están asociados a la instalación de un borde activo situado en el margen sudoccidental del continente Gondwana (Milani *et al.* 2007; Veroslavsky *et al.* 2006; De Santa Ana *et al.* 2006; De Santa Ana 2004; Andreis *et al.* 1996 a; Bossi & Navarro 1991).

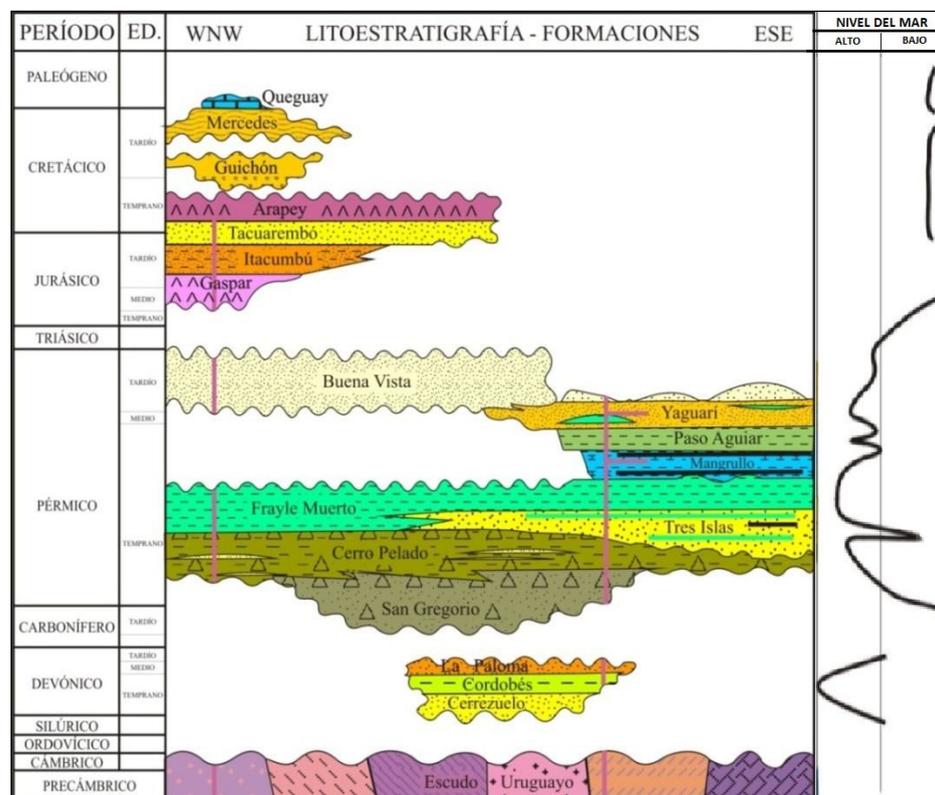


Fig. 5.3: Columna crono-litoestratigráfica de la Cuenca Norte, tomado de la propuesta de De Santa Ana (2004).

Los registros basales se acumularon por la acción glacial o bajo la fuerte influencia de éstos, habiéndose visto favorecidos los procesos de transporte con fuerte componente gravitacional, representando una importante contribución de masa detrítica (De Santa Ana 2004). La desglaciación y el alejamiento de Gondwana del Polo Sur sumado a las interconexiones con el

océano *Panthalassa*, representan un momento de transgresión marina correspondiente al extenso mar epicontinental denominado “Mar Frayle Muerto” en nuestro territorio, y “Mar Palermo” regionalmente (Chebli *et al.* 1999).

La continentalización para el Carbonífero Tardío-Pérmico fue controlada por un levantamiento de las áreas cratónicas como respuesta a la tectónica compresiva que se desarrolló en el margen occidental de Gondwana (Milani & Ramos 1998; Cobbold *et al.* 1986), representada en los levantamientos de las Islas Cristalinas de Rivera y Aceguá, hacia el Pérmico Superior-Triásico Inferior.

De acuerdo a De Santa Ana (2004) la secuencia Carbonífero-Pérmico constituye un ciclo Transgresivo-Regresivo de segundo orden (Superciclo - de acuerdo a la propuesta de Haq *et al.* 1988) por su ordenamiento espacio-temporal, siendo a su vez posible identificar en el mismo cuatro ciclos sedimentarios de tercer orden, denominados de base a techo: Ciclo glaciogénico, Ciclo deltaico-marino, Ciclo marino-transicional y Ciclo fluvio-eólico.

A continuación se detallan los ciclos según De Santa Ana *op cit*:

Ciclo glaciogénico: conformado por las formaciones San Gregorio y Cerro Pelado, siendo sus litologías más representativas diamictitas, tillitas, conglomerados, ritmitas con “*dropstones*”, arcillitas y lutitas; depositadas en el Carbonífero Superior a Pérmico Inferior.

Ciclo deltaico-marino: integrado por las formaciones Tres Islas y Frayle Muerto, siendo las litologías típicas: areniscas (finas, medias y gruesas) con algunos niveles carbonosos y pelíticos, y pelitas grises y negras. Representan una reactivación de la cuenca y generación de nuevo espacio de acomodación, con el avance paulatino hacia el continente del Mar “Frayle Muerto”. Ambas unidades son asignadas temporalmente de Pérmico Temprano.

Ciclo marino-transicional: conformado por las formaciones Mangrullo, Paso Aguiar y Yaguarí, siendo las litologías más representativas lutitas pirobituminosas, areniscas calcáreas y ritmitas finas grises y verdes recortadas por venas calcosilicatadas. En la Formación Yaguarí ocurren típicamente rocas arcillosas de colores abigarrados verdes y rojos, bentonitas y areniscas. Representan la continentalización del último mar epicontinental en la cuenca, asignándole una edad Pérmico Temprano a Pérmico Medio.

Ciclo fluvio-eólico: integrado por la Formación Buena Vista, típicamente representada por areniscas finas, medias a gruesas, pelitas y conglomerados. La edad asignada es Pérmico Tardío a Triásico.

5.2.1 Propuestas Litoestratigráficas para la secuencia Permo-Carbonífera

Las rocas pertenecientes a la secuencia Permo-Carbonífera han sido objeto de distintas propuestas litoestratigráficas a partir de la descripción, distinción y denominación inicial en el trabajo de Falconer (1931). Este autor plantea la presencia de rocas sedimentarias gondwánicas apoyadas en discordancia sobre rocas del basamento cristalino para el departamento de Cerro Largo, detallando además la columna estratigráfica compuesta, de

base a tope, por las unidades: Itararé, Rio Bonito, Palermo, Melo, Estrada Nova y Rio do Rastro.

Bossi (1966) en cambio plantea para la sedimentación gondwánica, a la que le asigna el rango de Supergrupo, la propuesta estratigráfica que luce en la figura (Tabla 2). En la misma, las litologías pertenecientes al Pérmico las agrupa con el nombre de Grupo Caraguatá, el cual incluye las formaciones Frayle Muerto, Mangrullo, Paso Aguiar y Yaguari. Quedando por fuera y sin rango temporal las litologías de la Formación San Gregorio-Tres Islas. Plantea además la problemática al separar la unidad Buena Vista como unidad independiente de la Formación Yaguari, por falta de identidad litológica.

Bossi & Navarro (1991) proponen que la columna litoestratigráfica para la secuencia Permo-Carbonífera, esté constituida, de base a tope, por las formaciones San Gregorio, Tres Islas, Melo y Yaguari (Tabla 2). De ese modo, las formaciones Frayle Muerto, Mangrullo y Paso Aguiar, pierden el rango de Formación y pasan a constituir miembros dentro de la Formación Melo.

La secuencia Permo-Carbonífera fue definida con el nombre de Grupo Cerro Largo por Goso *et al.* (1996) y Goso (1995). Es conformada de base a tope por las formaciones San Gregorio, Tres Islas, Frayle Muerto, Mangrullo, Paso Aguiar, Yaguari y Buena Vista (Tabla 2).

Tabla 2: Propuestas litoestratigráficas para la megasecuencia Permo-Carbonífera de la Cuenca Norte.

Bossi (1966)		Bossi & Navarro (1991)		Goso (1995); Goso <i>et al.</i> (1996)	
Gr. Caraguatá	Fm. Yaguari	Fm. Yaguari			Fm. Buena Vista
	Fm. Paso Aguiar	Fm. Melo	Mb. Paso Aguiar Mb. Mangrullo Mb. Frayle Muerto	Gr. Cerro Largo	Fm. Paso Aguiar
	Fm. Mangrullo	Fm. Tres Islas			Fm. Mangrullo
	Fm. Frayle Muerto	Fm. San Gregorio			Fm. Frayle Muerto
					Fm. Tres Islas
					Fm. San Gregorio

Por su parte, De Santa Ana *et al.* (2006) y De Santa Ana (2004) proponen para la secuencia Permo-Carbonífera la columna estratigráfica que luce en la tabla a continuación, integrando una nueva unidad litoestratigráfica, la Formación Cerro Pelado (Tabla 3).

Tabla 3: Columna litoestratigráfica del Permo-Carbonífero de la Cuenca Norte, tomado de De Santa Ana *et al.* (2006).

GRUPO	FORMACIÓN	MIEMBRO	EDAD
CERRO LARGO	Buena Vista	Cerro Conventos Colonia Orozco	Pérmico Tardío
	Yaguari	Superior Inferior	Pérmico Medio
	Paso Aguiar		Pérmico Temprano
	Mangrullo		
	Frayle Muerto		
	Tres Islas	Superior (Cerro La Valeriana) Inferior	
	Cerro Pelado		
	San Gregorio		Carbonífero Tardío– Pérmico Temprano bajo?

5.2.2 Antecedentes por unidad litoestratigráfica

A continuación, se detallan los principales antecedentes para cada una de las unidades (de base a tope) que integran el Grupo Cerro Largo según De Santa Ana *et al.* (2006), De Santa Ana (2004), Goso *et al.* (1996) y Goso (1995).

FORMACIÓN SAN GREGORIO

La Formación San Gregorio agrupa un conjunto de rocas sedimentarias, integradas por diamictitas, tillitas, areniscas, pelitas y ritmitas (De Santa Ana *et al.* 2006).

Los primeros reconocimientos de la unidad corresponden a White (1908), habiendo sido denominada como *Conglomerados de Orleans* por Guillemain (1911). Falconer (1931) refiere a estas litologías con la terminología estratigráfica utilizada en Brasil para la Cuenca Paraná, como *Estratos de Tubarão* o Serie Itararé.

Caorsi & Goñi (1958) en tanto, plantean la primera referencia a nuestro país, como *Conglomerados de San Gregorio*, en referencia a la localidad homónima ubicada en la margen derecha del Río Negro.

Bossi (1966) y Bossi *et al.* (1975) plantean una problemática al mapear la unidad San Gregorio en conjunto con la suprayacente unidad Tres Islas, planteando por tanto una única unidad estratigráfica, con rango de Formación, denominada San Gregorio-Tres Islas. Elizalde *et al.* (1970) se mantienen en esta línea, en su Carta Geológica del Uruguay a escala 1:100.000 del segmento Acegúa.

Preciozzi *et al.* (1985); sin embargo, cartografiaron por separado la Formación San Gregorio de la Formación Tres Islas, a escala 1:500.000.

Goso & De Santa Ana (1986) mediante geología de superficie y subsuelo plantean la distinción de dos ciclos depositacionales, uno inferior con predominio de diamictitas, conglomerados y areniscas y otro superior con mayor contenido pelítico.

Posteriormente, De Santa Ana (1989) y Andreis *et al.* (1993) plantean la posibilidad de separar la unidad en facies distales y proximales, correspondientes a unidades glacio-marinas y glacio-fluviales, respectivamente.

Goso (1995) en su tesis de maestría, plantea nuevos datos estratigráficos para la Formación San Gregorio, en base a la geología de afloramientos y más de 1.300 m de testigos de perforaciones exploratorias en el departamento de Cerro Largo, lo que posteriormente derivará en la propuesta de la Formación Cerro Pelado.

De Santa Ana (2004) tomó la propuesta de Goso (1995) y mantuvo el nombre original (Formación San Gregorio) para la unidad basal, integrada por litologías que se corresponden con su denominación histórica y denominó a la unidad superior, mayoritariamente pelítica, como Formación Cerro Pelado.

FORMACIÓN CERRO PELADO

La Formación Cerro Pelado agrupa rocas sedimentarias mayoritariamente pelitas y pelitas-arenosas (De Santa Ana *et al.* 2006 y De Santa Ana 2004).

Estas litologías fueron definidas como facies “distales” por De Santa Ana (1989), a las que posteriormente Andreis *et al.* (1993) separan dentro de la Formación San Gregorio como litologías pertenecientes a las secuencias glacio-marinas. Criterio que es adoptado por De Santa Ana & Ucha (1994) planteando dos eventos depositacionales, asignado estas litología de connotación glacio-marina al ciclo superior. Por su parte, Goso (1995) aporta un detallada y completa información faciológica en el área de la Cuchilla de Guazunambí (Cerro Largo).

Como se mencionó anteriormente fue De Santa Ana (2004) quien le otorga el rango de Formación a éstas litologías y las separa de la unidad infrayacente, utilizando los criterios establecidos por Goso (1995) y Goso *et al.* (1996).

FORMACIÓN TRES ISLAS

La Formación Tres Islas agrupa un conjunto de rocas sedimentarias integradas por areniscas medias y finas, con areniscas conglomerádicas intercaladas y pelitas (De Santa Ana *et al.* 2006).

Esta unidad fue caracterizada inicialmente por Falconer (1931), bajo la terminología utilizada en Brasil para la Cuenca Paraná, como *Areniscas y Esquistos de Rio Bonito*.

En tanto, Caorsi & Goñi (1958) denominan estas litologías con nombres locales, como *Areniscas de Tres Islas*, considerándola además sincrónica con el piso glacial de la Formación San Gregorio.

Por su parte, Bossi (1966) planteó la problemática del mapeo y separación con la unidad infrayacente, integrando éstas litologías en la Formación San Gregorio-Tres Islas. Adoptando estos criterios litoestratigráficos Elizalde *et al.* (1970), cartografiaron a escala 1:100.000 estas litologías como un miembro de la Formación San Gregorio-Tres Islas.

Preciozzi *et al.* (1985), en la cartografía del Uruguay a escala 1:500.000, definen una asociación litológica de areniscas con intercalaciones pelíticas, separando la Formación Tres Islas como unidad independiente de la Formación San Gregorio.

Ferrando & Andreis (1986) y Ferrando & Montaña (1987), mantienen el rango de formación (Formación Tres Islas) aportando nuevos datos faciológicos, de relaciones de contacto y estructurales con las demás unidades de la cuenca.

En tanto que, De Santa Ana *et al.* (1990) describieron secciones de superficie que las asociaron con flujos *turbidíticos* en el Cerro La Valeriana, margen Norte de la Cañada de los Burros, al Nordeste de la Ciudad de Melo.

De Santa Ana & Veroslavsky (1993) describieron la Formación Tres Islas, compuesta por areniscas conglomerádicas, areniscas medias y finas, pelitas y pelitas carbonosas. Vinculando estas facies con sistemas depositacionales fluvio-deltaicos.

De Santa Ana & Ucha (1994) caracterizaron a la Formación Tres Islas como un evento progradante dentro de la cuenca, con dos marcos transgresivos, el primero con sedimentos de naturaleza pro-deltaica y el segundo con sedimentos marinos.

En tanto, De Santa Ana (2004) con base en las propuestas anteriores propone la presencia de los miembros inferior y “Cerro La Valeriana” para las unidades inferior y superior respectivamente; siendo representados los términos carbonosos en el Miembro Superior.

FORMACIÓN FRAYLE MUERTO

La Formación Frayle Muerto agrupa un conjunto de litologías integradas por pelitas grises a negras, localmente bioturbadas, areniscas finas a muy finas, con laminación plano paralela y ondulada (De Santa Ana *et al.* 2006).

Falconer (1931) las denominó como unidad *Palermo*, con la terminología utilizada en Brasil, correlacionando estas litologías con la unidad superior de la serie Tubarão (White 1908).

Fueron Caorsi & Goñi (1958) quienes presentaron la primera mención al territorio nacional, bajo el nombre de *Lutitas arenosas y calizas de Frayle Muerto*.

Bossi (1966) les asignó el rango de formación (Formación Frayle Muerto), al describirla en perfiles de pozos y afloramientos.

Elizalde *et al.* (1970) en su trabajo cartográfico a escala 1:100.000 del segmento Aceguá sector XXX, agruparon estas litologías bajo la denominación informal de *Sedimentos Pelíticos Grises*. De esta manera, continuando la línea de trabajo, Ferrando & Andreis (1986), Bossi & Navarro (1988 y 1991) y Andreis *et al.* (1996 **b**), integraron estas litologías bajo la denominación formal de Formación Melo.

Por su parte, De Santa Ana *et al.* (1982) en el sector este de la Cuenca Norte, caracterizaron y separaron los límites estratigráficos a escala 1:20.000 con la suprayacente Formación Mangrullo.

Ferrando & Andreis (1990) y Andreis *et al.* (1996 **b**) describieron en el Arroyo Seco (Rivera) una sección que consideraron como paraestratotipo de la Formación Melo.

El contenido litológico y los límites estratigráficos fueron redefinidos por De Santa Ana (2004), y adoptados por De Santa Ana *et al.* (2006).

FORMACIÓN MANGRULLO

La Formación Mangrullo agrupa una sucesión de rocas sedimentarias integradas por calizas arenosas y dolomíticas, lutitas pirobituminosas y además, pelitas micáceas y fosilíferas (De Santa Ana *et al.* 2006).

Menciones a estas sedimentitas fueron planteadas por Falconer (1931 y 1937) y Caorsi & Goñi (1958). Siendo propuestas como unidad formal e independiente por Bossi (1966), separándolas de la infrayacente Formación Frayle Muerto y la suprayacente Formación Paso Aguiar, correlacionándolas con los niveles calcáreo-bituminosos de la Formación Iratí de la Cuenca Paraná (Brasil). Criterios que serían retomados en diversos trabajos posteriores.

Elizalde *et al.* (1970), integran estas litologías en el conjunto denominado informalmente *Sedimentos Pelíticos Grises*, criterio adoptado por Bossi *et al.* (1975); posteriormente, propuestos a ser denominados de manera formal, como Formación Melo por Ferrando & Andreis (1986).

De Santa Ana *et al.* (1982), caracterizan dos ciclos sedimentarios superpuestos, compuestos por calizas y lutitas pirobituminosas. En este sentido, posteriormente, Goso & De Santa Ana (1986), plantean mantener su individualización como unidad formal, debido a su particular contenido litológico y al interés económico que presenta la unidad; retomando los criterios estratigráficos planteados inicialmente por Bossi (1966).

Esa última propuesta es adoptada por De Santa Ana (1989), De Santa Ana & Veroslavsky (1993), Goso & De Santa Ana (1994), De Santa Ana & Ucha (1994) y De Santa Ana & Gutiérrez (2000).

FORMACIÓN PASO AGUIAR

La Formación Paso Aguiar agrupa una sucesión de rocas sedimentarias integradas por pelitas grises micáceas, con intercalaciones de areniscas calcáreas y venas calcosilicosas (De Santa Ana *et al.* 2006).

Caorsi & Goñi (1958) identificaron estas sedimentitas y plantearon la primera mención al territorio nacional, bajo la denominación de *Areniscas Arcillosas de Paso Aguiar*, en el cruce de la Ruta 26 con el Paso Aguiar sobre el Río Negro. En tanto, Bossi (1966) le otorga el rango de formación (Formación Paso Aguiar) criterio que posteriormente será retomado.

Como fue mencionado, Elizalde *et al.* (1970) incluyen estas litologías en el conjunto denominado informalmente *Sedimentos Pelíticos Grises*. Este Criterio litológico es adoptado por Ferrando & Andreis (1986), definiendo así desde el punto de vista formal a la Formación Melo.

Goso & De Santa Ana (1986), De Santa Ana & Veroslavsky (1993) y De Santa Ana & Ucha (1994) mantienen el rango de formación para estas litologías, en el sentido de Bossi (1966).

En cambio, Andreis *et al.* (1996 **b**) retoman el criterio adoptado en la denominada Formación Melo por Ferrando & Andreis (1986).

Por su parte, De Santa Ana (2004) y De Santa Ana *et al.* (2006), continúan con la propuesta de mantener como unidades independientes, tanto a la Formación Paso Aguiar, como a las infrayacentes Formación Frayle Muerto y Formación Mangrullo.

FORMACIÓN YAGUARÍ

La Formación Yaguarí agrupa una sucesión de areniscas y pelitas varicolores, con tonalidad muy vivas (De Santa Ana *et al.* 2006).

White (1908) hace referencia a estas litologías bajo las denominaciones *Camadas de Rio do Rastro*, *Calcáreos de Rosinha* y *Esquistos abigarrados de Estrada Nova*, las cuales fueron referidas a capas equivalentes de la Cuenca Paraná en Brasil.

Por su parte, Falconer (1937) denomina éstas litologías como Estrada Nova, siguiendo la terminología utilizada en Brasil, en tanto que Lamber (1941) plantea su correspondencia en criterios estratigráficos a esta línea de trabajo.

Caorsi & Goñi (1958) plantearon la primera referencia al territorio nacional, citando la zona del Arroyo Yaguarí (Rivera) y definiendo las rocas sedimentarias arcillosas de colores abigarrados.

Por su parte, Bossi (1966) las define como una unidad formal bajo el nombre de Formación Yaguarí, integrando arcillitas, lutitas y calizas. Además, incluye en esta unidad a las *Areniscas de Buena Vista*, considerándolas carentes de identidad litológica e imposible de separarlas

como unidad. En tanto Elizalde *et al.* (1970) realizan una detallada caracterización litofaciológica y litoestratigráfica para la unidad, en el sector de Acegúa.

Bossi & Navarro (1988), continuando la línea de criterios planteados por Ferrando & Andreis (1986), proponen los miembros San Diego y Villa Viñoles para las unidades inferior y superior respectivamente.

De Santa Ana (2004) define la unidad como un conjunto de litologías siliciclásticas, presentando como rasgo distintivo colores primarios de tonalidades muy vivas. Plantea en la línea de los autores mencionados la individualización de los miembros Superior e Inferior.

FORMACIÓN BUENA VISTA

La Formación Buena Vista agrupa un potente conjunto de rocas sedimentarias integradas por areniscas finas a medias, rojas y blanquecinas, intercaladas con pelitas rojas y niveles conglomerádicos (De Santa Ana *et al.* 2006).

Falconer (1931) describió estas litologías como *Areniscas de Buena Vista*, a las que incluyó en la denominación *Areniscas y Esquistos de Estrada Nova*.

Caorsi & Goñi (1958), en su cartografía la denominan como *Areniscas rojas de Buena Vista* y las separan de las *Areniscas de Tacuarembó* y de las pelitas abigarradas de la Formación Yaguarí.

Por su parte, Bossi (1966) como ya fuera mencionado, agrupó estas litologías en la Formación Yaguarí, a las que consideró como carentes de identidad propia e imposible de ser separadas como unidad independiente. Continuando en esa línea, Elizalde *et al.* (1970) integra estas areniscas de Buena Vista a la unidad superior de la Formación Yaguarí.

Goso & De Santa Ana (1986) consideraron estas litologías como una unidad estratigráfica independiente de la Formación Yaguarí y de la Formación Tacuarembó, otorgándole el rango de Formación Buena Vista.

Ferrando & Andreis (1986), la restringen a la localidad de Buena Vista, sin poder reconocerla en el resto de la cuenca. En cambio De Santa Ana (1989) y De Santa Ana & Ucha (1994) redefinieron a la Formación Buena Vista para todo el ámbito de la Cuenca Norte, criterio adoptado por De Santa Ana (2004) y De Santa Ana *et al.* (2006). En la cual proponen la presencia de los miembros Inferior y “Colonia Orozco”, para las unidades inferior y superior respectivamente.

6. Materiales y Métodos

6.1 Materiales

Para alcanzar los objetivos del presente trabajo se dispuso de la totalidad de los registros de testigo corona de las perforaciones Yaguarón Chico E1 y Soto Goro E2, resguardados en la litoteca de ANCAP (Planta Capurro). Entre ambas perforaciones totalizan 761 m de testigo corona, almacenados en 132 cajas para la perforación Yaguarón Chico E1 y en 127 cajas para la perforación Soto Goro E2.

En la etapa descriptiva, se contó con una lupa binocular y demás instrumentos de laboratorio, tales como ácido clorhídrico (HCl) y cinta métrica. Se utilizó también una lupa de mano y comparadores visuales de granulometría, selección, redondez y esfericidad.

El libro *Sedimentary Rocks in the Field - A color guide* - Dorrik A.V. Stow (cuarta edición 2010), se utilizó como guía práctica de reconocimiento de rocas sedimentarias. En tanto, para la caracterización del color de las unidades estudiadas se utilizó la tabla de color Munsell o “*Munsell Rock Color Book*”.

La información recabada fue almacenada en archivos Excel para cada una de las perforaciones, ordenadas de acuerdo al número de caja.

En cuanto a la representación del perfil estratigráfico, para cada una de las perforaciones, en primera instancia se utilizó el software *Sedlog 3.1*, y posteriormente los perfiles resultantes fueron editados en *CorelDraw* para la presentación final.

6.2 Métodos

La ejecución del presente trabajo se realizó conforme a las siguientes fases.

6.2.1 Fase Preliminar

En esta instancia se efectuó una revisión bibliográfica de los antecedentes de las unidades que integran la secuencia Carbonífero-Pérmico de la cuenca.

Del análisis de los antecedentes bibliográficos y teniendo en cuenta las diferentes propuestas estratigráficas para la secuencia, se optó como referencia para la realización de este trabajo, la propuesta de De Santa Ana (2004).

Entorno a la localidad de Isidoro Noblía (lugar donde se realizaron las perforaciones), se destacan los trabajos de Elizalde *et al.* (1970), sector XXX, Segmento Aceguá a escala 1/100.000, De Santa Ana (2004) y De Santa Ana *et al.* (2006), en los que se presentan mapas de isopacas y de los principales afloramientos de las unidades Carbonífero-Pérmicas.

6.2.2 Fase Descriptiva

Esta fase se realizó en la Litoteca de ANCAP (Planta Capurro), donde fueron desplegados la totalidad de los testigos continuos de los pozos Yaguarón Chico E1 y Soto Goro E2.

El abordaje de las perforaciones fue realizado de la siguiente forma:

a) En una primera etapa se realizó un análisis y descripción general de cada perforación, destacando el tipo de roca y las principales estructuras sedimentarias y teniendo presente la propuesta estratigráfica de De Santa Ana *et al.* (2006) para reconocer las unidades pertenecientes al denominado Grupo Cerro Largo (Goso 1995; Goso *et al.* 1996) y situar los pases formacionales.

b) En una segunda etapa se realizó una minuciosa descripción litofaciológica, además del pertinente registro fotográfico, de las litofacies identificadas en las perforaciones de estudio. Algunos de los pases formacionales inicialmente propuestos fueron ajustados en esta etapa.

La descripción se efectuó de base a tope, en dos planillas (una para cada perforación), en las que se registró datos como el nombre de la perforación, la ubicación en coordenadas UTM, la cota topográfica, profundidad de inicio y profundidad total alcanzada, la fecha de perforación y sobre la unidad en que comienzan.

La información recabada incluye la litología, estructuras sedimentarias, composición, granulometría, contactos, geometría, color, presencia de fallas/diaclasas o venillas, la nomenclatura de facies utilizada y una breve descripción para cada caja.

El modelo de planilla fue confeccionado en base a modelos clásicos de la literatura y la referencia de símbolos de igual manera.

Para caracterizar las principales características de las rocas sedimentarias, se utilizó la guía *Sedimentary Rocks in the Field*, que incluye tablas y diagramas de clasificación, de composición, morfometría, de valores porcentuales, escalas granulométricas, estructuras sedimentarias, selección, empaquetamiento y demás.

Cuando se refiere a términos de composición para cada facies, se tuvo en cuenta la clasificación en cuanto a composición de los clastos para areniscas, propuesta por Pettijohn *et al.* (1987). La misma considera porcentajes de cuarzo (Q), feldespatos (F) y fragmentos líticos (L) para referir a la composición de una roca.

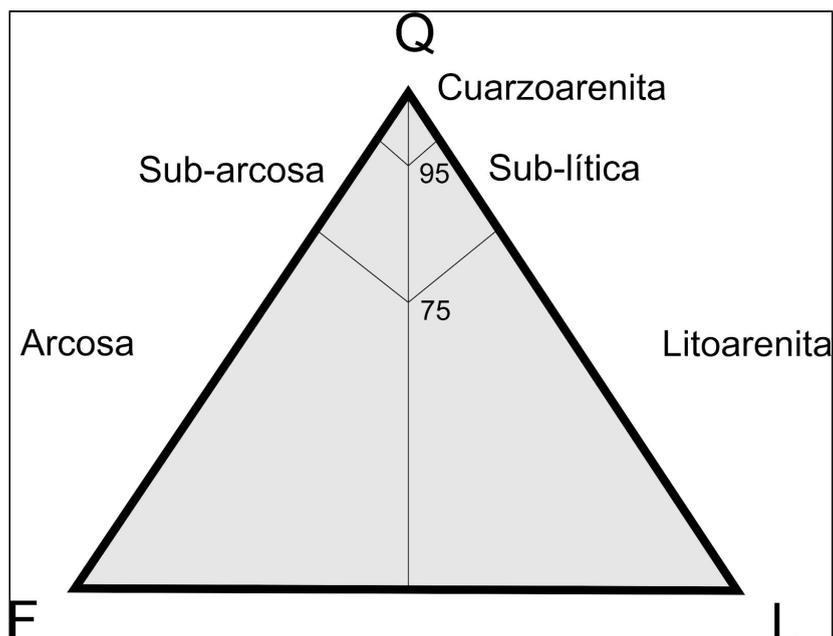


Fig. 6.1: Diagrama para la clasificación de composición en areniscas, tomado y modificado de la propuesta de Pettijohn *et al.* (1987).

Como criterio de manejo para la tabla de color Munsell, se asignó el color correspondiente a cada litología con la muestra de testigo en *seco*.

6.2.3 Fase de Gabinete

Esta fase reúne el trabajo posterior a la fase práctica, e incluye el procesamiento y exposición de los resultados obtenidos, su interpretación en base a trabajos modelo en la literatura para facies sedimentarias y asociación de facies. Además de comparar con las propuestas expuestas en los antecedentes, que presentan esta metodología de trabajo y sus resultados.

A continuación se describe la metodología utilizada para la descripción de las facies sedimentarias, parte medular de este trabajo.

FACIES DESCRIPTIVAS

El término facies es ampliamente utilizado en geología, particularmente en el estudio de la sedimentología. Facies sedimentaria refiere a la suma de las características de una unidad sedimentaria (Middleton 1973). Tiene dos acepciones, una puramente descriptiva y objetiva y otra de carácter interpretativo y por tanto con una subjetividad implícita.

Gressly (1838) fue el primero en emplear el término para referirse a un conjunto de características litológicas y faunísticas de una unidad estratigráfica que permite distinguirlas de las adyacentes. Selley (1970) define facies sedimentaria como un conjunto de rocas sedimentarias que puede ser definido y separado de las adyacentes por sus rasgos geométricos y litológicos, estructuras sedimentarias, distribución de paleocorrientes y fósiles.

Las relaciones temporales y espaciales entre las facies observadas en la actualidad y registradas en las rocas sedimentarias son descritas por la “ley de Walther” (Walther 1894), la cual establece que las facies que se encuentran superpuestas en la vertical, sin una interrupción en el registro estratigráfico, habrían sido depositadas en ambientes adyacentes entre sí.

Por otro lado, una asociación de facies representa a un conjunto de facies que se encuentran juntas en el registro y además tienen una génesis común. Al realizar un estudio detallado litológico, las asociaciones de facies en su expresión vertical se definen como secuencia de facies (Vera Torres 1994).

Una sucesión de facies sedimentarias, “reiterada de manera rítmica”, se define como ciclo (Arche 2010) o bien es el producto de una sedimentación transgresiva-regresiva, sea cual sea su escala (Mutti 1981). En particular Mutti plantea la siguiente clasificación en base a órdenes jerárquicos.

-Ciclo de primer orden: puede tener centenares de metros a kilómetros de expresión, con gran variación lateral, estando limitado en base y techo por discordancias de carácter regional. Son generados por efectos tectónicos regionales o variaciones eustáticas del nivel del mar.

-Ciclo de segundo orden: pueden entenderse como una asociación sedimentaria correspondiente a varios ambientes depositacionales o a la evolución de los mismos.

-Ciclo de tercer orden: corresponden a los registros litológicos con una génesis común, es decir un ambiente característico y los subambientes separables internamente se toman como ciclos de cuarto orden.

La unidad básica para el análisis de facies es el ciclo de tercer orden o sistema depositacional, definido por Fisher & McGowen (1976) como una unidad de gran escala, caracterizada por facies o asociaciones de facies específicas relacionadas genéticamente y limitadas por discordancias o sus superficies conformes equivalentes.

FACIES INTERPRETATIVAS

Como criterio para el análisis de facies, una vez establecida la ciclicidad o no en una serie y la distinción de los elementos que la componen, comienza el trabajo de interpretación del paleoambiente y los procesos que las generaron (Arche 2010). Las características de un ambiente se determinan por la combinación de procesos que se producen en el mismo (Collinson 1969; Reading & Level 1996).

Por lo tanto, el procedimiento de análisis de facies puede considerarse como un proceso en dos etapas. Primero, el reconocimiento de las facies que puedan ser interpretadas en términos de procesos. En segundo lugar, las facies se agrupan en asociaciones de facies que reflejan combinaciones de procesos y por lo tanto paleoambientes de depositación.

NOMENCLATURA

La nomenclatura utilizada para la descripción de las facies identificadas en este trabajo, se basa en los códigos propuestos por Eyles *et al.* (1983), Miall (1978) y Ghibaudo (1992).

La letra mayúscula describe el tipo de rocas y la o las letras minúsculas refieren a atributos tales como estructuras sedimentarias o composición.

En la propuesta de Eyles *et al.* (1983), se propone la nomenclatura para una asociación de facies en un ambiente glacial, para diamictitas, pelitas, psamitas y psefitas. De este trabajo se tomó y modificó parte del código planteado, según luce en la tabla 4.

Tabla 4: Código de facies, adaptado de la propuesta de Eyles *et al.* (1983).

Código	Descripción
Dm	Diamictitas masivas
Ds	Diamictitas estratificadas
Dd	Diamictitas con estratificación distorsionada
Sl	Areniscas con estratificación cruzada de bajo ángulo (10°)
Sr	Areniscas con <i>ripples</i>
Sd	Areniscas con estratificación deformada o distorsionada

En la propuesta de Miall (1978), se plantea una descripción y asociación de facies fluviales, en las que se genera una nomenclatura para pelitas, psamitas y psefitas, de la cual en el presente trabajo se tomó el código para facies de psamitas, y se adaptó para psefitas y pelitas (Tabla 5, 6).

Para facies de areniscas-conglomerádicas, se utilizó la siguiente tabla:

Tabla 5: Código de facies, adaptado de la propuesta de Miall (1978).

Código	Descripción
SGm	Areniscas gravillosas masivas
SGn	Areniscas gravillosas con gradación normal

Para facies de areniscas, se utilizó la siguiente tabla:

Tabla 6: Código de facies para areniscas, adaptado de las propuestas de Eyles *et al.* (1983) y Miall (1978).

Código	Descripción
Sh	Areniscas con estratificación/laminación horizontal
St	Areniscas con estratificación/laminación cruzada
Sr	Arenisca con estratificación cruzada tipo <i>ripple</i>
Sl	Arenisca con estratificación/ laminación cruzada de bajo ángulo (menor a 10°)
Sd	Arenisca con estratificación distorsionada

Para facies que presentan una alternancia de areniscas y pelitas, se tomó parte de la propuesta de Ghibaudo (1992), adaptando el código propuesto para las facies (Tabla 7).

Tabla 7: Código de facies, adaptado de la propuesta de Ghibaudo (1992).

Código	Litologías
S	Arena
MS	Alternancia de lutitas y arenas

Para las unidades que exhiben una intercalación de areniscas y pelitas, ya sea conformando estructuras de tipo heterolíticas o manteniendo una clara ritmicidad, se planteó el siguiente código (Tabla 8).

Tabla 8: En la tabla se reúnen las facies, en base al contenido de psamitas y pelitas y las estructuras que conforman.

Código	Descripción
Ht	Unidades heterolíticas
Ht_f	de tipo <i>flaser</i>
Ht_w	de tipo <i>wavy</i>
Ht_l	de tipo <i>lenticular</i>
Ht_wl	de tipo <i>wavy</i> y <i>lenticular</i>
Ht_b	con bioturbación
R	Ritmitas

Para el caso de facies de granulometría tamaño arcilla y limo se adaptaron las propuestas de Miall (1978) y Eyles *et al.* (1983), conforme se puede observar en la siguiente tabla (Tabla 9):

Tabla 9: En la tabla se agrupan las pelitas, haciendo distinción en la granulometría y estructuras presentes.

Código	Descripción
Fl	Limo-arcillitas laminadas
F	Limolitas
Mm	Calizas de estructura masiva
L	Lutitas
C	Lutitas carbonosas
Lh_k	Lutitas con alto contenido de materia orgánica (kerógeno)
Lh_c	Lutitas calcáreas o calcilutitas

7. Resultados

En este capítulo son expuestos los resultados de la descripción y el análisis de facies sedimentarias realizado en los 761 metros de testigo continuo de las perforaciones Yaguarón Chico E1 y Soto Goro E2.

En el ítem 7.1 se presentan los perfiles estratigráficos para cada una de las perforaciones estudiadas. En tanto, en el ítem 7.2 son descritas las litofacies observadas en ambas perforaciones, agrupadas por unidad estratigráfica. Se describe para cada una de ellas su desarrollo y/o predominio en cada una de las perforaciones, sus características, espesores y contactos. El código utilizado en la individualización de cada facies sedimentaria fue explicado en el capítulo anterior.

En ambas perforaciones se encuentran representadas las unidades estratigráficas que conforman el Grupo Cerro Largo (De Santa Ana *et al.* 2006), con excepción de las formaciones Cerro Pelado y Buena Vista.

La perforación Yaguarón Chico E1 presenta una profundidad total de 383,5 metros, ubicándose el contacto entre las unidades sedimentarias y el basamento cristalino a los 374 metros. El basamento está constituido por meta-margas con fuerte diaclasado y presencia de venillas calcosilicosas con alto ángulo.

Por su parte, la perforación Soto Goro E2 alcanzó una profundidad total de 377,5 metros, ubicándose el contacto entre las unidades sedimentarias y el basamento cristalino a los 363,6 metros. El basamento está conformado por una cuarzo-sienita, de textura fanerítica, equigranular, con venillas de clorita, epidoto y carbonatos recristalizados en las fracturas.

7.1 Perfiles Estratigráficos

A continuación se presentan los perfiles estratigráficos generados en el presente trabajo para la perforación Yaguarón Chico E1 (Fig. 7.1) y Soto Goro E2 (Fig.7.2), a partir de la descripción detallada de las facies sedimentarias que las integran.

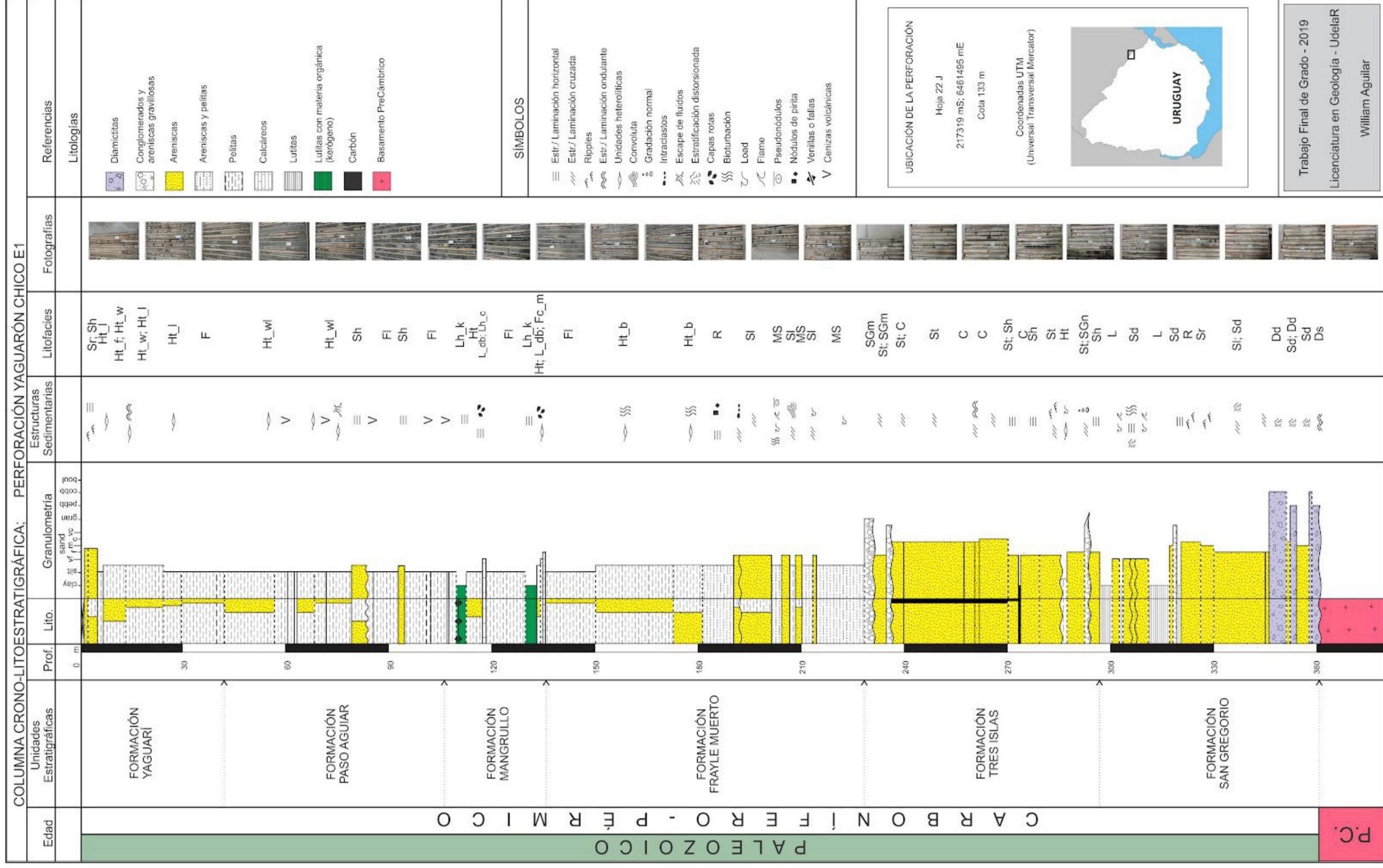


Fig. 7.1: Perfil estratigráfico de la perforación Yaguarón Chico E1.

7.2 Facies Sedimentarias

FORMACIÓN SAN GREGORIO

En la Formación San Gregorio fueron identificadas ocho facies sedimentarias, correspondientes a diamictitas masivas (*Dm*), diamictitas estratificadas (*Ds*), diamictitas con estratificación distorsionada (*Dd*), areniscas con estratificación distorsionada (*Sd*), areniscas con laminación cruzada de bajo ángulo (*Sl*), areniscas con laminación de tipo *ripple* (*Sr*), ritmitas (*R*) y lutitas (*L*).

Las facies de diamictitas son las más representativas de la unidad en la perforación Soto Goro E2, en tanto que las facies de areniscas son las más representativas en la perforación Yaguarón Chico E1. Las facies de areniscas con laminación cruzada de bajo ángulo y areniscas con estratificación de tipo *ripple* ocurren solamente en la perforación Yaguarón Chico E1. En tanto, las facies restantes de diamictitas, areniscas y pelitas se encuentran en ambas perforaciones.

El espesor de la unidad es de 63,7 m en la perforación Yaguarón Chico E1 y de 57,7 m en la perforación Soto Goro E2.

A continuación, se describen cada una de las facies identificadas.

Facies de diamictitas masivas (matriz soportada) (Dm)

Se trata de diamictitas con estructura masiva (Fig. 7.3) de coloración Gris Claro Medio (N6), Gris Oliva Claro (5Y 6/1) y Gris Azulado Medio (5B 5/1). Estas facies están presentes en ambas perforaciones, aunque con una potencia mayor en la perforación Soto Goro E2, en estratos con espesores de entre 0,5 y poco más de 1,5 m.

Las diamictitas están constituidas por clastos angulosos a sub-redondeados, de baja esfericidad y tamaño de grano entre algunos milímetros y 10 cm (sábulo a bloques), de composición lítica, incluyendo fragmentos del basamento metamórfico, inmersos en una matriz pelítica (Fig. 7.3). En la base de la unidad, la matriz de las diamictitas presenta tamaño de grano arena muy fina.

Se encuentran asociadas a litofacies *Ds*, *Dd* y *Sd* con contactos graduales.

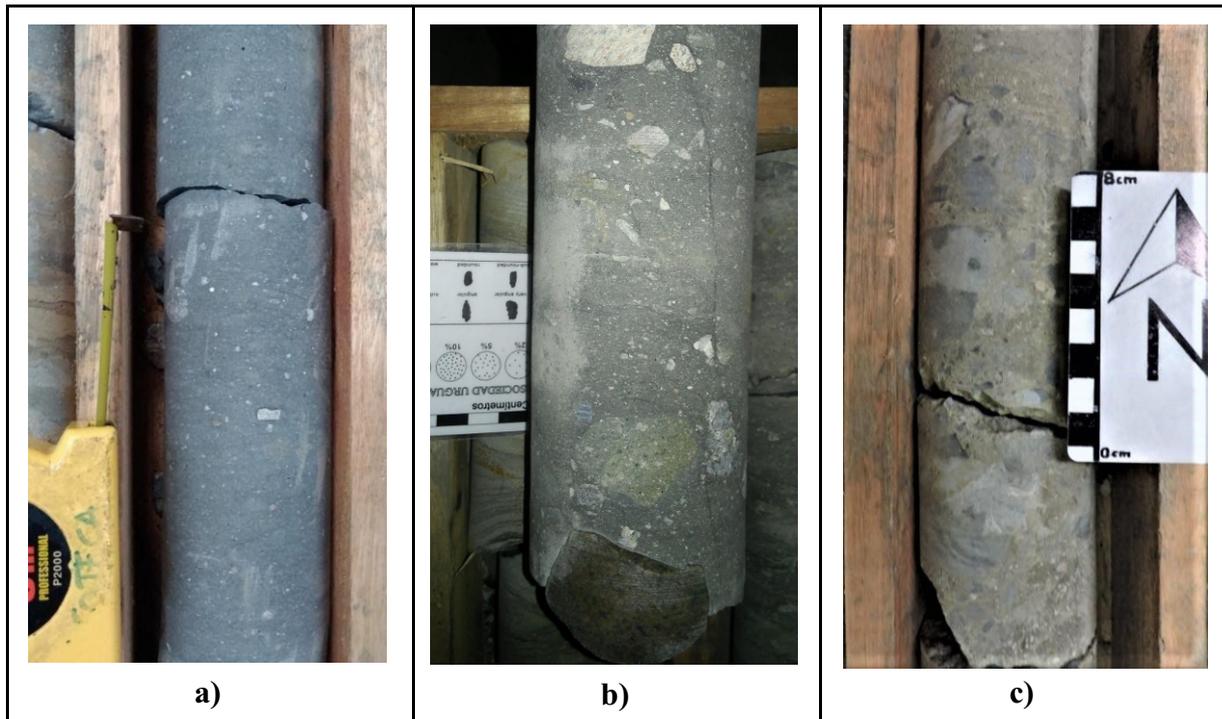


Fig. 7.3: Litofacies *Dm* – Formación San Gregorio.

- a)** Litofacies *Dm*, con clastos en general menores a 1 cm inmersos en matriz pelítica, en la perforación Soto Goro E2. **b)** Litofacies *Dm*, con clastos que muestran variaciones en el tamaño, la composición y la morfometría, en la perforación Soto Goro E2. **c)** Litofacies *Dm*, con clastos del basamento, inmersos en matriz pelítica, en la perforación Yaguarón Chico E1.

Facies de diamictitas estratificadas (Ds)

Se trata de diamictitas estratificadas (Fig. 7.4) de coloración Gris Medio (N5), Gris Oliva Claro (5Y 6/1) y Gris Amarillento (5Y 8/1). Estas facies se encuentran en ambas perforaciones, en estratos con espesores comprendidos entre 20 cm y 1m.

Constituidas por clastos de rocas ígneas y metamórficas, con tamaños de grano entre 2 mm y 5 cm y morfometría de baja a media esfericidad, angulosos a sub-redondeados. Presentan una estratificación suavemente definida por cambios en la coloración de la matriz y pequeñas diferencias granulométricas, desde pelitas a areniscas muy finas (tamaño de 65 a 250 μ).

Presentan contacto neto con las litofacies *Fh* en la perforación Soto Goro E2, contactos graduales con las litofacies *Dm* y *Dd* en ambas perforaciones y se apoyan en discordancia sobre las meta-margas que conforman el basamento en la perforación Yaguarón Chico E1.

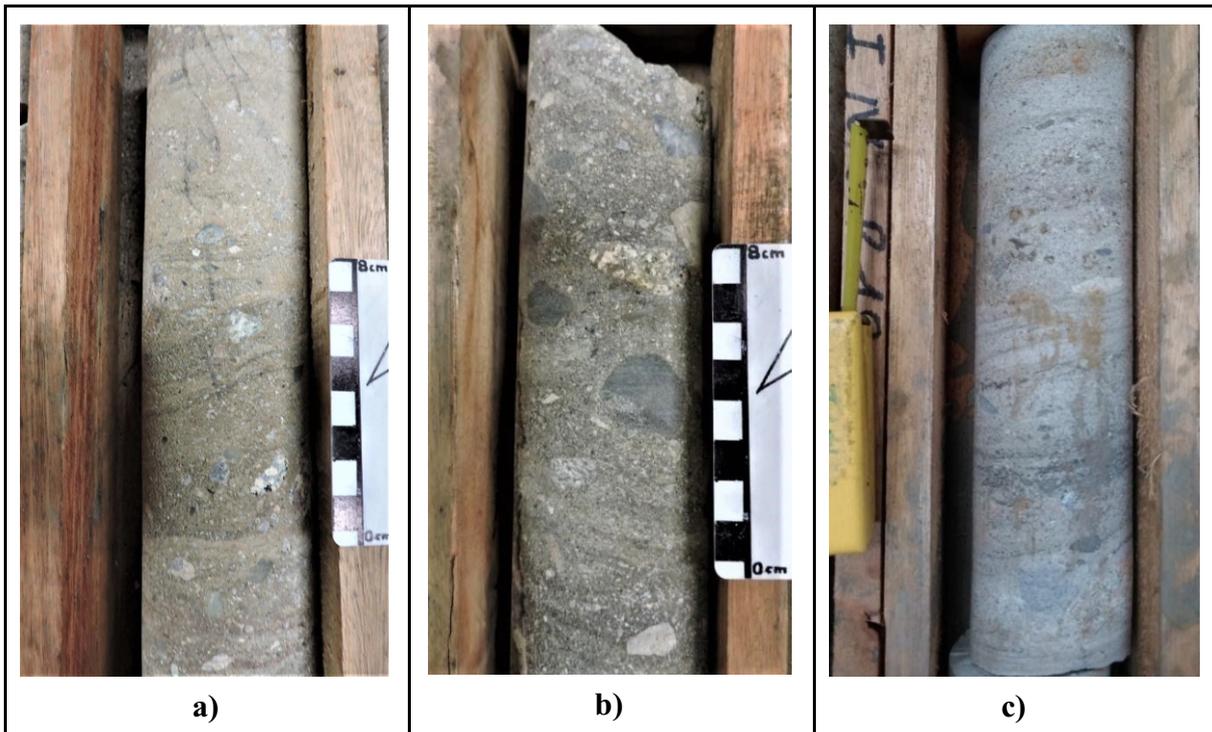


Fig. 7.4: Litofacies *Ds* – Formación San Gregorio.

a, b) Litofacies *Ds* en la perforación Yaguarón Chico E1. **c)** Litofacies *Ds* en la perforación Soto Goro E2.

Facies de diamictitas con estratificación distorsionada (Dd)

Se trata de diamictitas con estratificación distorsionada (Fig. 7.5) de coloración Gris Oscuro Medio (N4), Gris Claro Medio (N6) y Marrón Amarillento Pálido (10YR 6/2). Estas facies se encuentran en ambas perforaciones, en el tramo medio y hacia el tope de la unidad, en estratos con espesores métricos.

Presentan clastos de rocas ígneas y metamórficas, con tamaños de grano promedio de entre 6 y 10 cm, a excepción de un bloque de 45 cm que se ubica a 345,5 m de profundidad en la perforación Soto Goro E2. Los clastos son en general angulosos a sub-redondeados, aunque se observan variaciones puntuales en la angulosidad. Los clastos se encuentran inmersos en una matriz constituida por pelitas y areniscas muy finas de tonos oscuros y claros, respectivamente.

Entre 350 y 351 m de profundidad en la perforación Yaguarón Chico E1 se intercala con contactos graduales una facies de conglomerado con clastos redondeados y sub-esféricos de fragmentos líticos (rocas ígneas y metamórficas) inmersos en una matriz de tamaño de grano arena fina (Fig. 7.5: c).

Los contactos son graduales con las litofacies *Dm*, *Ds*, *Sd* y *Sl* en ambas perforaciones. En la perforación Soto Goro E2 el contacto con el basamento es por falla.

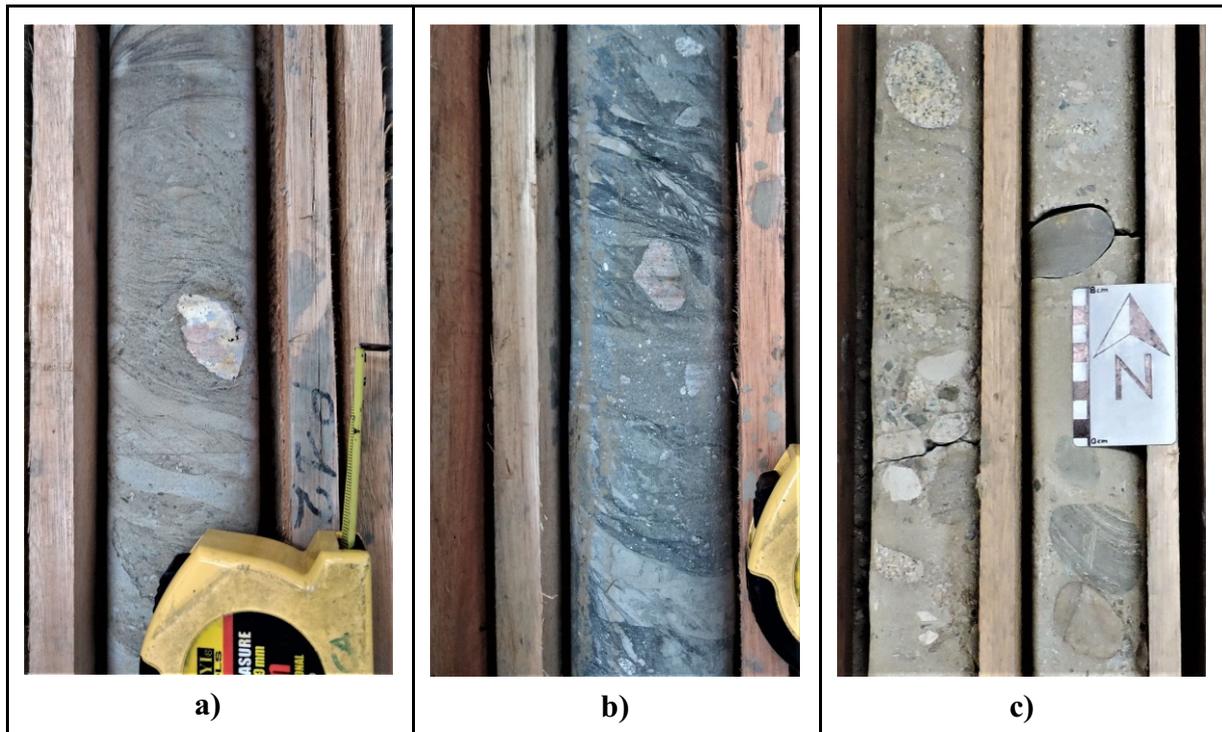


Fig. 7.5: Litofacies *Dd* – Formación San Gregorio.

a, b) Litofacies *Dd* en la perforación Soto Goro E2. **c)** Litofacies *Dd* en el tramo que se intercala facies de conglomerados.

Facies de areniscas con estratificación distorsionada (Sd)

Se trata de areniscas medias con estratificación distorsionada, que puntualmente exhiben importante deformación frágil (fracturas sinsedimentarias) (Fig. 7.6), de coloración Gris Muy Claro (N8), Gris Claro Medio (N6) y Gris Amarillento (5Y 8/1). Se presenta en estratos con espesores que oscilan entre 0,5 y 5 m y su desarrollo es a lo largo de toda la unidad en ambas perforaciones.

Se trata de areniscas con tamaño de grano predominante de arena media (375μ). Poseen composición mayormente cuarzosa, con contenido de feldespatos no superiores al 10 %, ocasionalmente presentan contenidos de micas de hasta 10 %. Con una morfometría de clastos sub-angulosos a sub-redondeados y sub-esféricos; siendo el cemento de tipo carbonático.

En el tramo medio de la unidad, en la perforación Soto Goro E2, se intercalan niveles finos de diamictitas (1 y 2 cm) con estratificación distorsionada (Fig. 7.6: c). Hacia el tope de la unidad se observan niveles puntuales de 5 a 15 cm con tamaño de grano arena muy gruesa (1.500μ), composición cuarzo-lítica, cemento carbonático y estructuras subordinadas de tipo *flame* y bioturbación.

Los contactos son graduales con las litofacies *Dm*, *Dd*, *Sl*, *Sr* y netos con litofacies *R*. En tanto con las litofacies *L*, presentan contactos graduales donde exhiben estructuras de carga y bioturbación (perforación Yaguarón Chico E1).

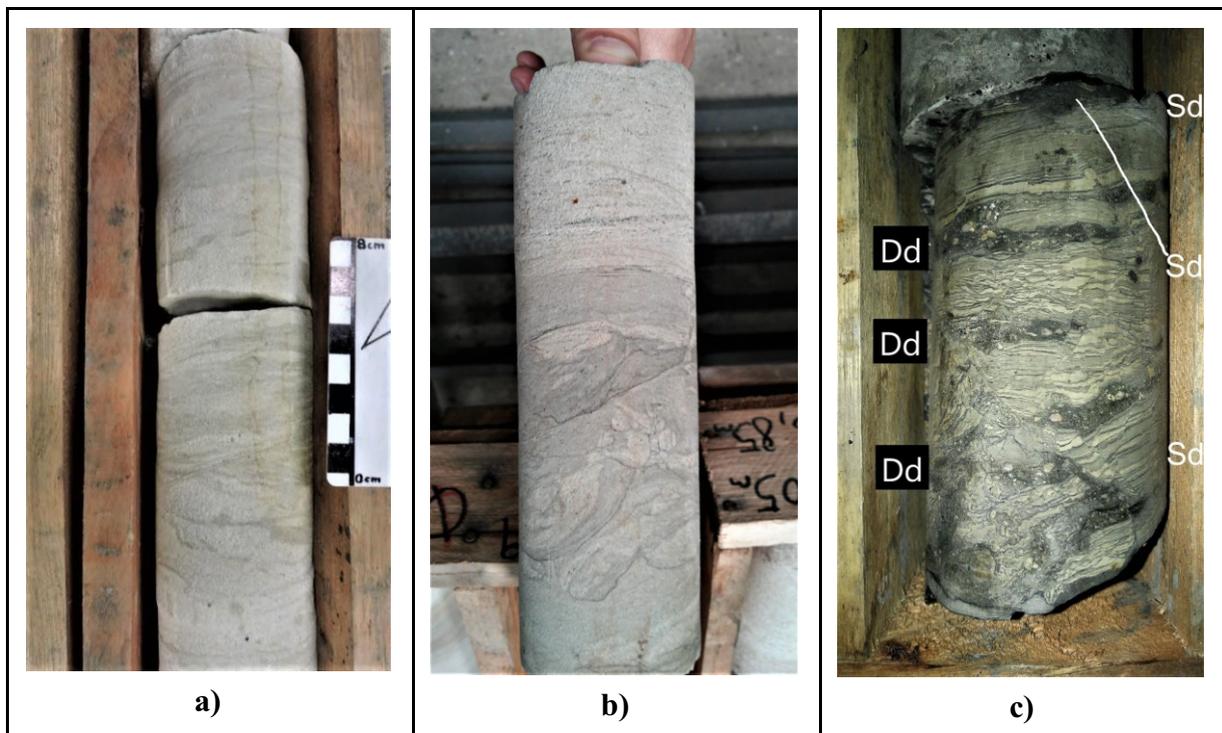


Fig. 7.6: Litofacies *Sd* – Formación San Gregorio.

a, b) Litofacies *Sd* en la perforación Yaguarón Chico E1. **c)** Litofacies *Sd* con niveles intercalados de facies de diamictitas que exhiben deformación frágil (fracturas), en la perforación Soto Goro E2.

Facies de areniscas con laminación cruzada de bajo ángulo (Sl)

Se trata de areniscas muy finas con laminación cruzada de bajo ángulo (Fig. 7.7). Se presenta hacia el tramo medio de la unidad, con espesores de 2 hasta 10 m, siendo observada únicamente en la perforación Yaguarón Chico E1.

La composición de las areniscas es cuarzo-micácea, con valores de micas (muscovita, biotita) del 10 % y feldespatos en el entorno al 5% y ocasionalmente feldespática. El tamaño de grano es predominantemente arena muy fina (65 μ) y la morfometría de los clastos sub-redondeados y sub-esféricos.

En general, estas facies son de coloración Gris Muy Claro (N8), aunque hacia la base son de coloración Gris Verdoso Claro (5GY 8/1) en un tramo de 2,5 m. Donde presenta estratos con espesores de entre 2 y 20 cm aproximadamente, entre los que se intercalan capas de hasta 2 cm de diamictitas finas con clastos angulosos (Fig. 7.7: a) y contactos netos.

Se intercalan puntualmente tramos de litofacies *Sr* y *Sd* cuyos espesores no superan 0,5 m con contactos graduales. El contacto en la base con litofacies *Dd* es neto.

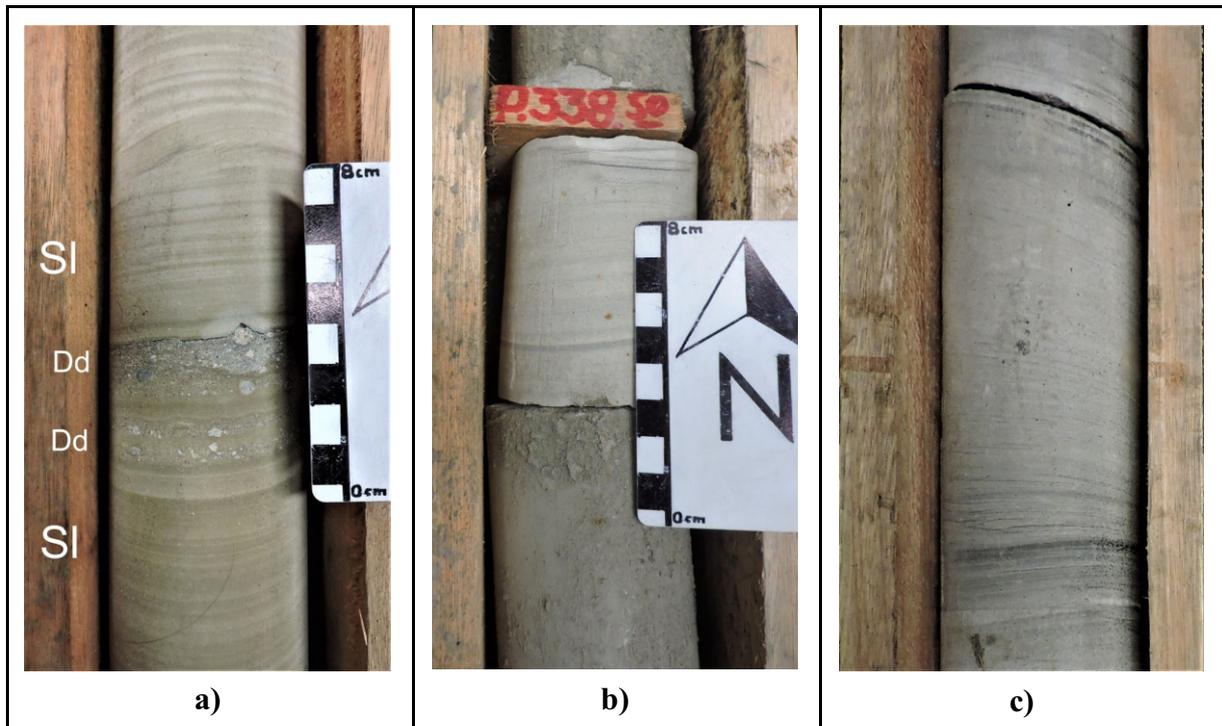


Fig. 7.7: Litofacies *Sl* – Formación San Gregorio.

- a)** Litofacies *Sl* con niveles intercalados de diamictitas, presente en la perforación Yaguarón Chico E1.
b y c) Litofacies *Sl* en la perforación Yaguarón Chico E1.

Facies de areniscas con laminación de tipo ripple (*Sr*)

Se trata de areniscas finas a medias con laminación de tipo *ripple*, fuertemente consolidadas y con cemento carbonático (Fig. 7.8). Esta facies se presenta con espesores de entre 3 y 6 m, hacia el tope de la unidad, siendo descrita únicamente en la perforación Yaguarón Chico E1.

Se trata de areniscas de coloración Gris Muy Claro (N8), de composición sub-arcósica con valores de feldespatos en el entorno el 15 %. Presenta una selección moderada, con tamaño de grano predominante arena media (375 y 500 μ) hacia la base y tamaño predominante arena fina (250 μ) hacia el tope. En cuanto a la morfometría de los clastos son sub-esféricos, y sub-angulosos a sub-redondeados.

Como particularidad presentan puntualmente deformación frágil (fracturas). A los 329,2 m se observa un nivel de areniscas muy gruesas (tamaño de grano 1.000 μ) cuyo espesor es de 10 cm, con límites erosivos (Fig. 7.8: c).

El contacto con litofacies *Sl* en la base es gradual y al tope el contacto es neto con litofacies *R*.

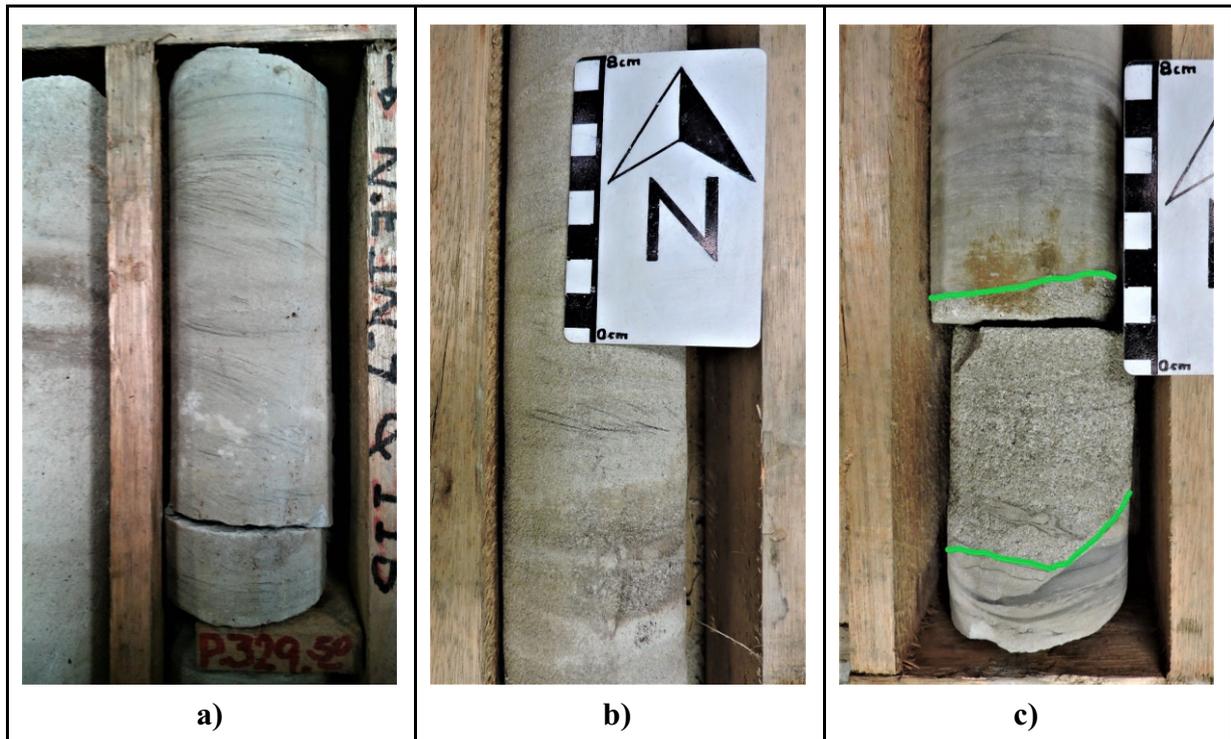


Fig. 7.8: Litofacies *Sr* – Formación San Gregorio.

a, b) Litofacies *Sr* en la perforación Yaguarón Chico E1. **c)** Tramo de litofacies *Sr* con tamaño de grano arena muy gruesa (indicado en verde), perforación Yaguarón Chico E1.

Facies de ritmitas (R)

Se trata de facies de ritmitas compuestas por la intercalación de láminas milimétricas de pelitas y areniscas, presentando clara ritmicidad, dispuestas horizontalmente (Fig. 7.9). Esta facies se presenta en ambas perforaciones en el tramo medio de la unidad, con espesores entre 0,5 y 5 m; siendo más representativa en la perforación Soto Goro E2 donde se da el espesor mayor.

La fracción pelítica presenta tonalidad Gris Oscuro (N3) y no es posible distinguir el tamaño de grano a ojo desnudo. La fracción arenosa es predominantemente cuarzosa, con tamaño de grano arena muy fina (65μ) y de coloración Gris Muy Claro (N8).

Como particularidad, en la perforación Yaguarón Chico E1, presenta marcada deformación frágil (fracturas sinsedimentarias) y un mayor contenido de los términos arenosos (Fig. 7.9: c).

Presenta contactos netos en la base con litofacies *Ds*, *Sd* y *Sr*. El contacto al tope con litofacies *Sd* es neto.

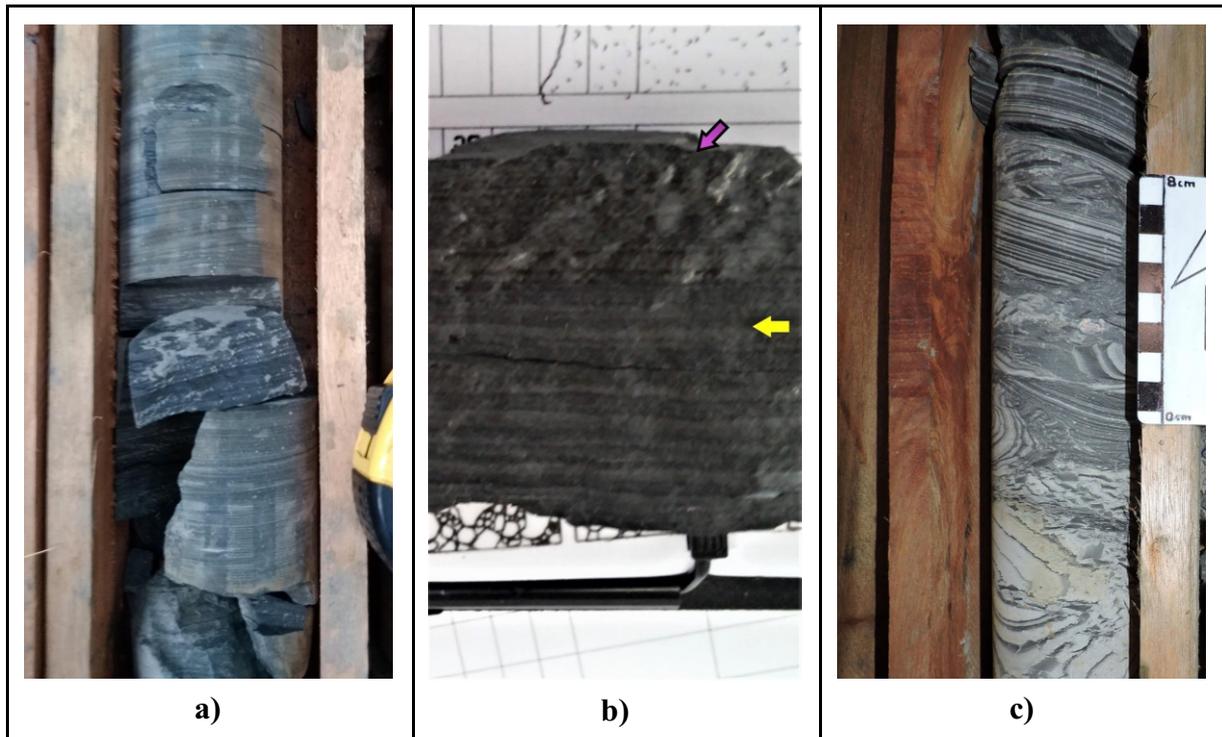


Fig. 7.9: Litofacies *R* – Formación San Gregorio.

a) Litofacies *R* en la perforación Soto Goro E2. **b)** Litofacies *R* (tramo del testigo de imagen a), muestra la fina laminación (indicado con flecha amarilla) y espejo de falla (flecha lila). **c)** Litofacies *R* en la perforación Yaguarón Chico E1, con marcada deformación frágil (fracturamiento).

Facies de lutitas (L)

Se trata de facies de lutitas, con laminación horizontal (Fig. 7.10). Se presentan al tope de la unidad en ambas perforaciones, en estratos con espesores entre 1 y 6 m, en la perforación Yaguarón Chico E1, y espesores de 3 m aproximadamente en la perforación Soto Goro E2.

Estas facies son de coloración Gris Oscuro (N3), composición arcillosa y laminación horizontal fina, presentan contenidos de micas de hasta 10 % y un tamaño de grano arena muy fina a limo (65μ o menor).

Como particularidad se intercalan de forma muy puntual, láminas de areniscas cuarzo-micáceas muy finas (tamaño 65μ), de coloraciones Gris Claro (N7), y Amarillo Grisáceo (5 Y 8/4), con azufre diseminado.

Los contactos son en general graduales con litofacies *Sd*, en base y tope, donde exhiben tonos amarillentos y estructuras de carga (Fig. 7.10: b). En la perforación Yaguarón Chico E1, el contacto del tope es neto con la litofacies *Sh* de la suprayacente Formación Tres Islas (Fig. 7.10: c). En tanto, en la perforación Soto Goro E2, el contacto del tope es erosivo con la litofacies *St* de la Formación Tres Islas.

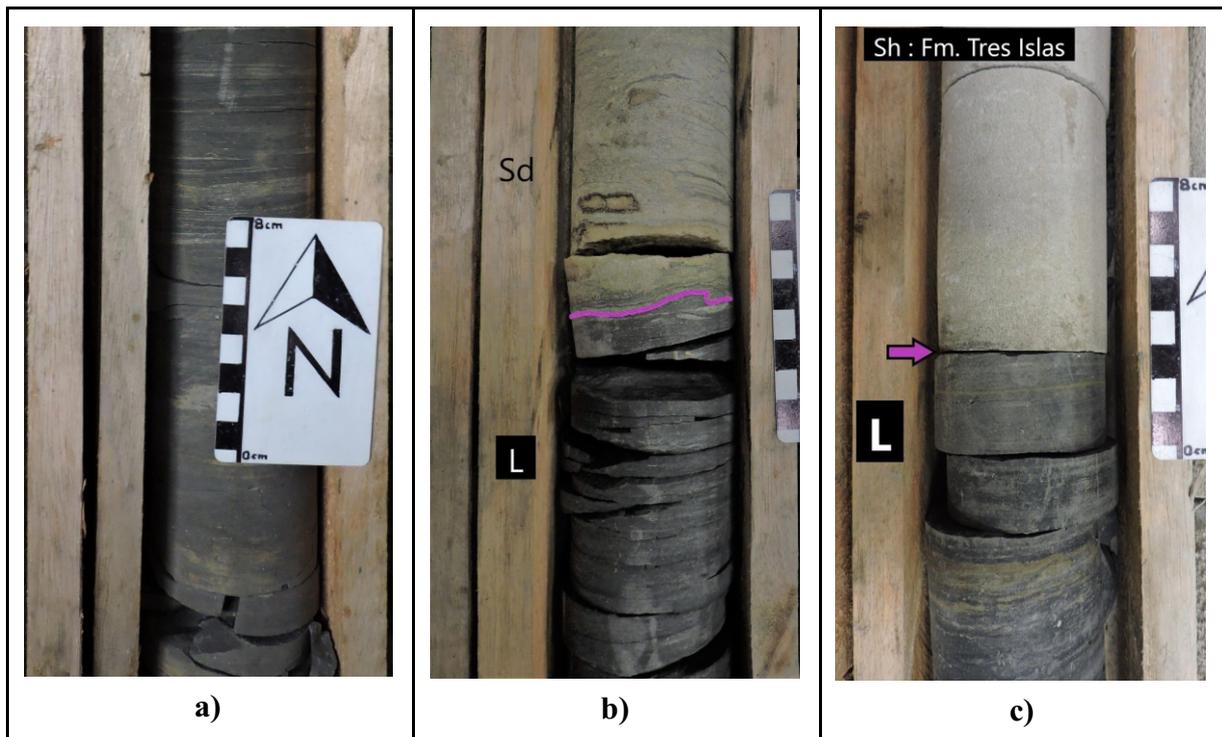


Fig. 7.10: Litofacies *L* – Formación San Gregorio.

a) Litofacies *L*, perforación Yaguarón Chico E1. **b)** Litofacies *L*, contacto al tope con litofacies *Sd*, la cual muestra estructuras *loads* (indicado en lila). **c)** Litofacies *L*, contacto neto al tope con litofacies *Sh* de la Formación Tres Islas (flecha lila), perforación Yaguarón Chico E1.

FORMACIÓN TRES ISLAS

En la Formación Tres Islas fueron identificadas seis facies sedimentarias, correspondientes a areniscas conglomerádicas masivas (*SGm*), areniscas conglomerádicas con gradación normal (*SGn*), areniscas con estratificación cruzada (*St*), areniscas con laminación horizontal (*Sh*), facies heterolíticas (*Ht*) y lutitas carbonosas (*C*).

Las facies de areniscas son las más representativas, correspondiendo a casi el 90 % del espesor total de la unidad. Las facies de lutitas carbonosas se desarrollan en la mitad superior de la unidad. En tanto, las facies de areniscas conglomerádicas con gradación normal fueron identificadas únicamente en la perforación Yaguarón Chico E1; las demás facies están presentes en ambas perforaciones. El espesor de la unidad es de 70 m en la perforación Yaguarón Chico E1 y de 60,7 m en la perforación Soto Goro E2.

A continuación, se describen cada una de las facies identificadas.

Facies de areniscas conglomerádicas (SGm)

Se trata de areniscas conglomerádicas masivas y bien consolidadas (Fig. 7.11). Se presentan en estratos con espesores desde 10 cm a 1 m en ambas perforaciones, cuya distribución es a lo largo de la unidad.

Estas facies son de coloración Amarillo Grisáceo (5Y 8/4). La población de mayor tamaño de grano varía entre arena muy gruesa (1.000 μ) y sábulo (4 mm). Está compuesta por fragmentos líticos (orto derivados) sub-angulosos, parcialmente caolinitizados, cuarzo y feldespato sub-redondeados a redondeados y sub-esféricos. La matriz es de tamaño de grano predominante de arena media (250 a 375 μ). La composición es cuarzosa, presentando ocasionalmente contenidos menores al 2% de micas y máficos. La morfometría de los clastos es sub-esférica y sub-redondeada. Presenta cemento carbonático.

En la perforación Soto Goro E2, en un tramo menor a 1 m, hacia la base de la unidad se observan intraclastos pelíticos y de areniscas, de varios centímetros, constituyendo litologías particularmente friables.

Los contactos son erosivos en la base con las litofacies *St*, *Sh*, *C*, y contactos graduales al tope con litofacies *Sh*, *St*, *C*. En la perforación Yaguarón Chico E1 el contacto es neto con litofacies *MS* de la unidad suprayacente (Formación Frayle Muerto) marcando el pase formacional.

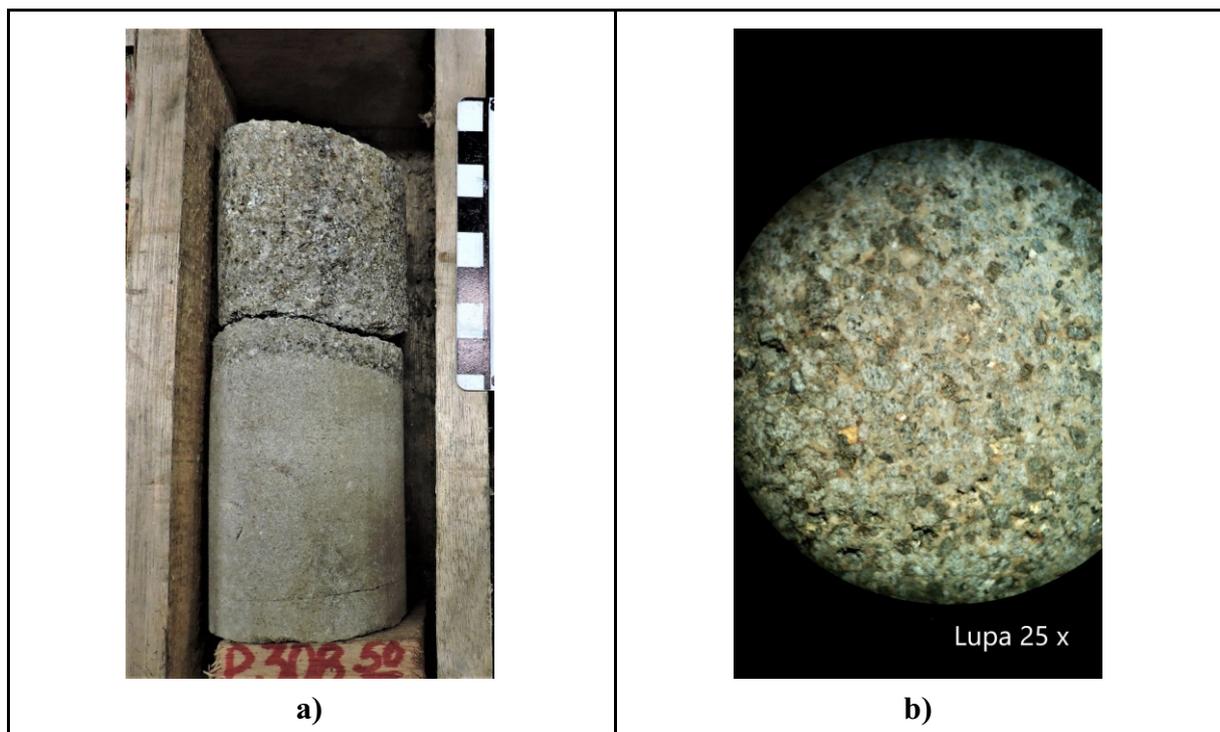


Fig. 7.11: Litofacies *SGm* – Formación Tres Islas.

a) Litofacies *SGm* en la perforación Yaguarón Chico E1. **b)** Litofacies *SGm* vista en lupa binocular (25X), tramo presente en perforación Yaguarón chico E1.

Facies de areniscas conglomerádicas con gradación normal (SGn)

Se trata de areniscas conglomerádicas con gradación normal, friables (Fig. 7.12). Se presenta únicamente en la perforación Yaguarón Chico E1, en la mitad inferior de la unidad, con un espesor de 2 m.

Esta facies es de coloración Gris Muy Claro (N8), conformada por estratos de 20 y 40 cm. Presenta un tamaño de grano de arena muy gruesa (1.000 μ) para la fracción granulométrica menor y tamaño gránulo (3 mm) para la población más gruesa. En cuanto a su composición son areniscas sub-arcósicas, con valores de cuarzo entorno al 85 %, feldespatos en un 10 % y líticos hasta un 5 %. En cuanto a la morfometría, los clastos son sub-redondeados a sub-angulosos y sub-discoidales a sub-esféricos.

Los contactos son graduales, en la base con litofacies *Sh* y al tope con litofacies *St*.

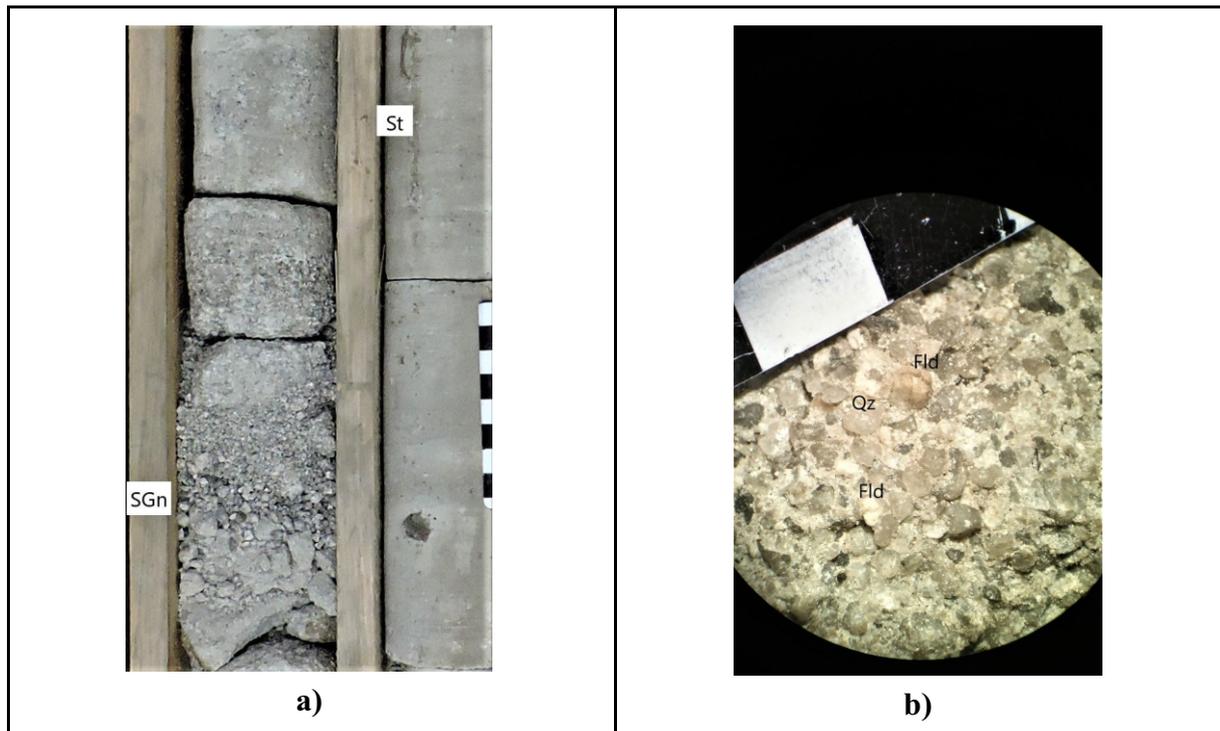


Fig. 7.12: Litofacies *SGn* – Formación Tres Islas.

a) Litofacies *SGn* en la perforación Yaguarón Chico E1. b) Litofacies *SGn* vista en lupa binocular.

Facies de areniscas con estratificación cruzada (St)

Se trata de areniscas medias a gruesas, con estratificación cruzada (Fig. 7.13). Se presentan a lo largo de la unidad en ambas perforaciones, en mayor medida hacia el tope de unidad, con espesores métricos. Estas facies de areniscas son de coloración Gris Muy Claro (N8) y puntualmente Naranja Amarillento Oscuro (10YR 6/6).

Presenta un predominio de tamaño de grano arena media (350 μ) y de manera subordinada arena gruesa a muy gruesa (1.000 y 1.500 μ). Se trata de areniscas sub-arcósicas (con contenido de feldespato próximos al 20%), cuarzosas y cuarzo-micáceas. En cuanto a la morfometría de los clastos son sub-redondeados a sub-angulosos y ocasionalmente angulosos, sub-esféricos a sub-discoidales.

Como particularidad, en la mitad superior de la unidad se intercalan láminas (milimétricas) de lutitas carbonosas. Asimismo, de manera puntual, hacia el tope de la unidad presenta tramos de 0,5 m con laminación cruzada de bajo ángulo u ondulante y estratificación de tipo *ripple*.

En la base de la unidad en la perforación Soto Goro E2, presenta cemento carbonático, deformación frágil con re-cristalización de carbonato en fracturas (Fig. 7.13: b). Hacia la base pero en ambas perforaciones se observa la presencia de nódulos de óxidos de hierro, cuyas dimensiones son de 0,5 hasta 3 cm.

Los contactos son en general netos con litofacies *C*, *Ht*, *Sh*, *SGm*. En la perforación Soto Goro E2 el contacto en la base es neto con litofacies *R* (Fig. 7.13: b) de la unidad infrayacente (Formación San Gregorio) marcando el pase formacional.

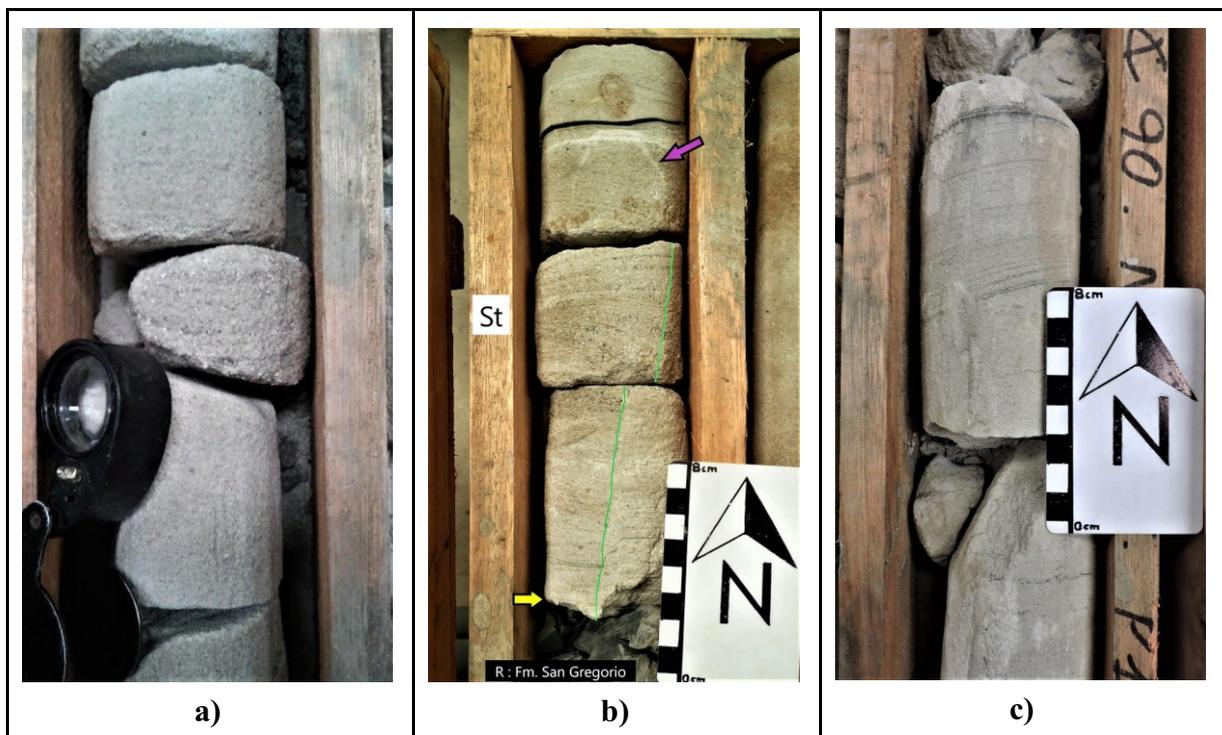


Fig. 7.13: Litofacies *St* – Formación Tres Islas.

- a) Litofacies *St* en la perforación Yaguarón Chico E1.
 b) Litofacies *St* exhibiendo fracturas (indicado en verde) y recristalización de carbonatos (flecha lila); en contacto con litofacies *R* de la Formación San Gregorio (flecha amarilla), perforación Soto Goro E2. c) Litofacies *St* en la perforación Soto Goro E2.

Facies de areniscas con estratificación horizontal (Sh)

Se trata de areniscas finas a medias con estratificación horizontal (Fig. 7.14). Se desarrollan en estratos con espesores desde pocos centímetros a pocos metros, presentes a lo largo de toda la unidad y en ambas perforaciones.

Estas facies muestran una coloración predominante de Gris Muy Claro (N8), con un tamaño de grano en general de arena fina (menor a $250\ \mu$) a arena media ($375\ \mu$). La composición es cuarzo-micácea (con contenidos de micas próximos al 10 %), en los tramos basales de la unidad, y sub-arcósicas (con contenidos de feldspatos del 10 %), en los tramos superiores de la unidad. Los clastos son sub-redondeados y sub-esféricos.

Como particularidad, en un estrato de 2 m ubicado en la mitad inferior de unidad en la perforación Yaguarón Chico E1 (Fig. 7.14: a), presenta: laminación horizontal, composición cuarzo-micácea (con valores de micas próximos al 25 %), y una coloración Rojo Grisáceo Púrpura (5RP 4/2).

Los contactos son netos en la base con las litofacies *C*, *Ht* (presentando estructuras de carga puntuales), *St*, *SGr*; y erosivos al tope con litofacies *St* y *SGr*. El contacto en la base con las litofacies *R* de la formación San Gregorio, es neto.

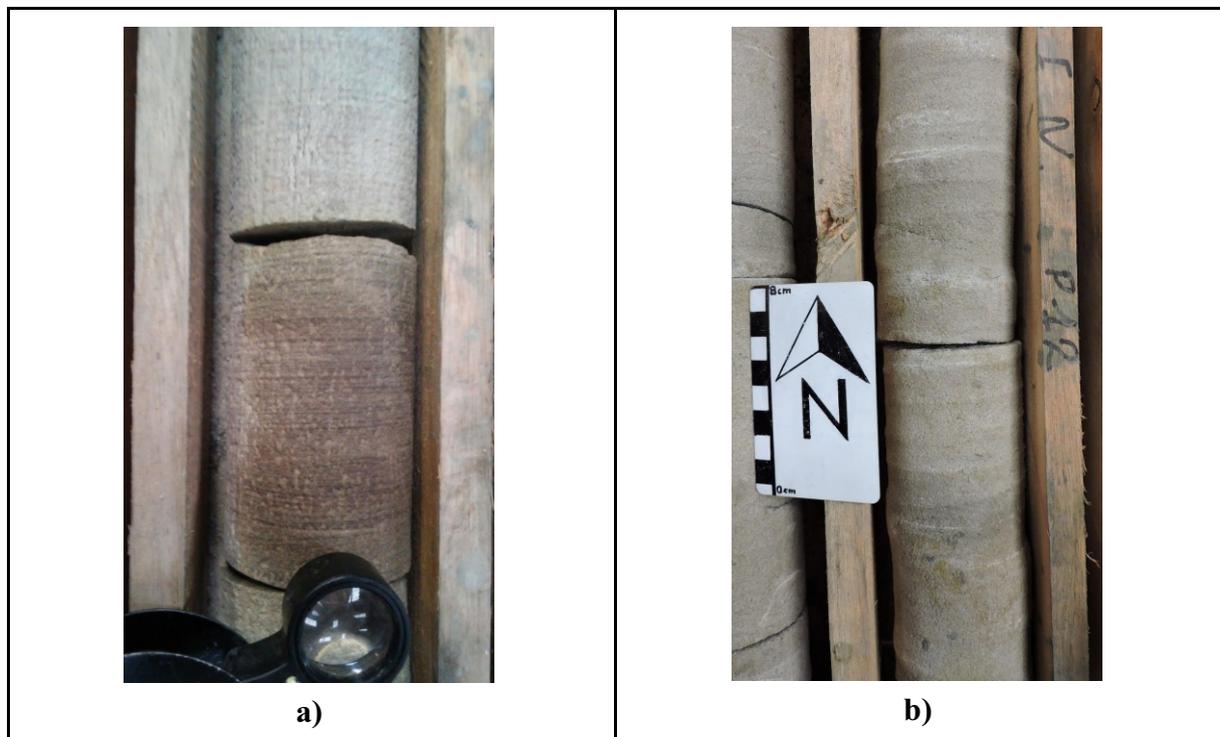


Fig. 7.14: Litofacies *Sh* – Formación Tres Islas.

a) Litofacies *Sh* en la perforación Yaguarón Chico E1. **b)** Litofacies *Sh* en la perforación Soto Goro E2.

Facies de heterolíticas (Ht)

Se trata de facies heterolíticas, en general con estructuras de carga (*loads casts*) (Fig. 7.15). Se presentan en estratos con espesores métricos, ubicadas en el tramo medio y hacia la base de la unidad, presentes en ambas perforaciones.

Estas facies están constituidas por la intercalación de areniscas y pelitas, en capas de menos de 1 cm de espesor y lentes discontinuos de pocos milímetros a centímetros.

Las areniscas son de composición cuarzo-micáceas (biotita y muscovita), con tamaño de grano arena fina (menor o igual a 250 μ), de coloración Gris Claro (N7) y Naranja Amarillento Oscuro (10YR 6/6). En tanto, las pelitas son algo micáceas (tamaño limo) y de coloración Gris Medio Oscuro (N4).

Las estructuras deformacionales, en general, son *loads*, aunque también pueden presentar estructuras *flame* y pseudonódulos (Fig. 7.15: c).

Los contactos son netos con litofacies *St*, *Sh*, *SGm* y puntualmente erosivos al tope con litofacies *St* y *SGm*.

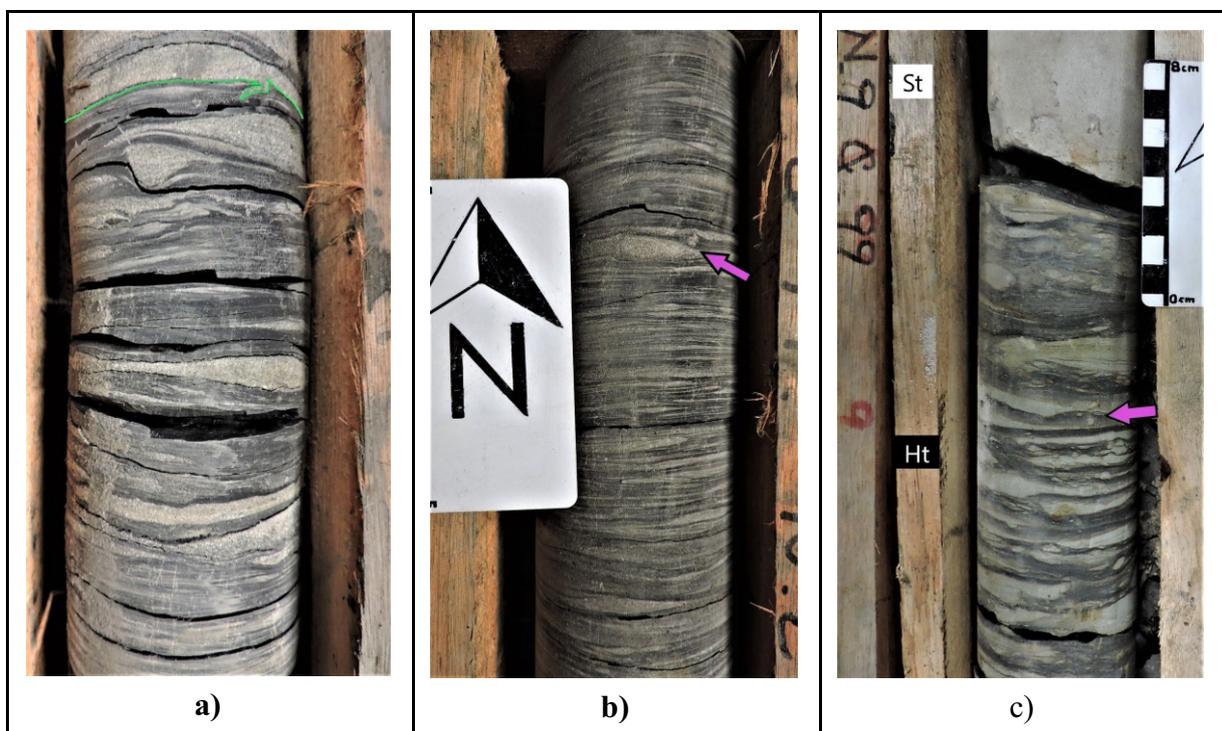


Fig. 7.15: Litofacies *Ht* – Formación Tres Islas.

a) Litofacies *Ht* con estructuras *loads* y *flame* (indicado en verde), perforación Soto Goro E2. **b)** Litofacies *Ht* con pseudonódulos (flecha lila), en la perforación Soto Goro E2. **c)** Litofacies *Ht* con estructuras *loads* y pseudonódulos (flecha lila).

Facies de lutitas carbonosas (C)

Se trata de lutitas carbonosas con laminación horizontal (Fig. 7.16), de coloración Negro Grisáceo (N2). Estas facies se presentan en general en estratos de pocos milímetros a centímetros, siendo la capa más potente de 60 cm. Se desarrollan en la mitad superior de la unidad en ambas perforaciones, aunque la mejor expresión se da en la perforación Yaguarón Chico E1.

Presenta laminación horizontal y composición detrítica micácea, con gran contenido de material carbonoso, el cual tiñe de negro al tacto.

Los contactos son netos en base y tope con litofacies *St*, *Sh*; puntualmente gradual con litofacies *St* (las cuales exhiben tonalidades amarillentas).

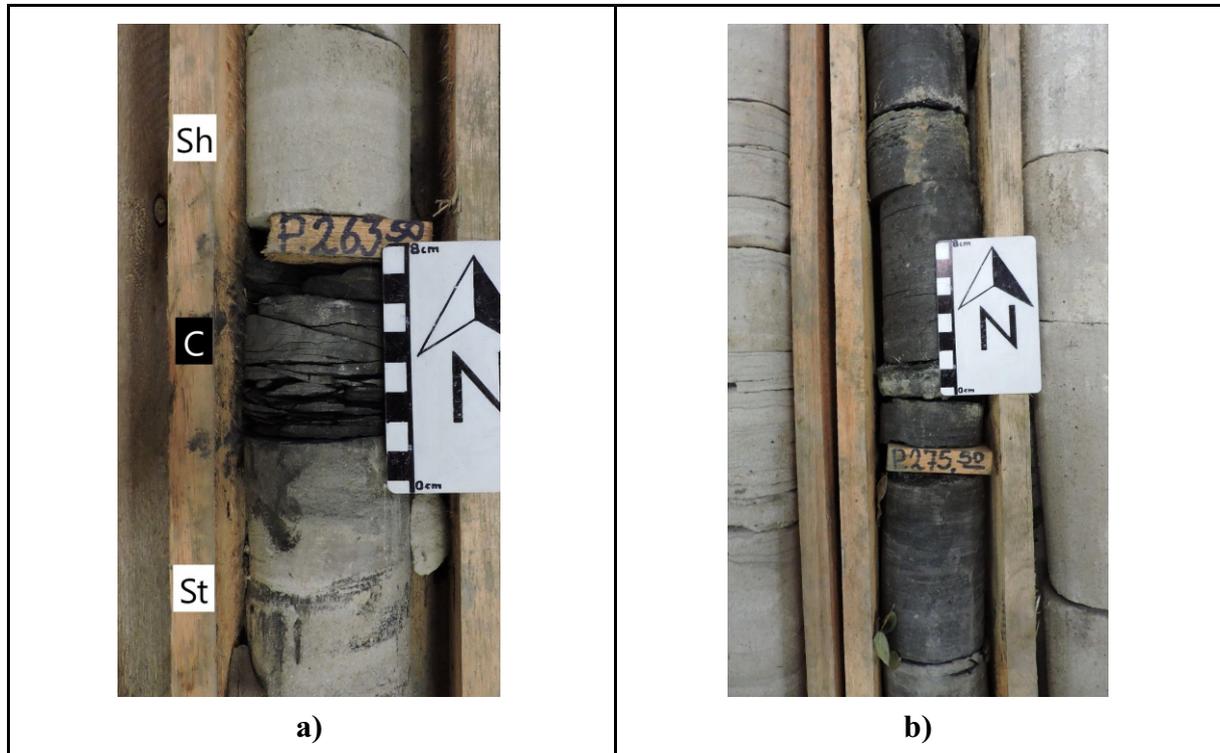


Fig. 7.16: Litofacies *C* – Formación Tres Islas.

a) Litofacies *C*, capa de 6 cm, en la perforación Yaguarón Chico E1. b) Litofacies *C*, capa de 60 cm, en la perforación Yaguarón Chico E1.

FORMACIÓN FRAYLE MUERTO

En la Formación Frayle Muerto fueron identificadas seis facies sedimentarias, correspondientes a areniscas con estratificación cruzada (*St*), areniscas con laminación cruzada de bajo ángulo (*Sl*), alternancia de areniscas y pelitas (*MS*), unidades heterolíticas con elevada bioturbación (*Ht_b*), ritmitas (*R*) y limo-arcillitas laminadas (*Fl*).

Las facies de areniscas con estratificación cruzada ocurren únicamente en la perforación Soto Goro E2. En tanto, las facies restantes de areniscas y pelitas se observan en ambas perforaciones con variaciones mínimas en el espesor y la distribución.

Las facies con elevada bioturbación son predominantes en el tramo superior de la unidad, los términos arenosos en el tramo medio y las facies constituidas por la alternancia de pelitas y areniscas en la base de la unidad.

El espesor de la unidad es de 91,5 m en la perforación Yaguarón Chico E1 y de 94,1 m en la perforación Soto Goro E2.

A continuación, se describen cada una de las facies observadas.

Facies de areniscas con estratificación cruzada (St)

Se trata de facies de areniscas gruesas con estratificación cruzada (Fig. 7.17). Se presenta en un único estrato en la perforación Soto Goro E2, hacia el tramo medio de la unidad, presentando un espesor de 1,8 m.

Esta facies de areniscas es de coloración Gris Amarillento (5Y 8/1), posee una composición cuarzosa, moderada a mala selección y tamaño de grano de arena gruesa a muy gruesa (entre 500 a 1.000 μ), bien consolidada y con cemento carbonático. Ocasionalmente se intercalan láminas de pelitas con espesores inferiores al centímetro.

El contacto en la base con la litofacies *R* es erosivo; en tanto, que al tope es neto con la litofacies *Ht_b*.



Fig. 7.17: Litofacies *St* – Formación Frayle Muerto.
a, b) Litofacies *St* con láminas de pelitas intercaladas, en la perforación Soto Goro E2.

Facies de areniscas con laminación cruzada de bajo ángulo (Sl)

Se trata de facies de areniscas muy finas a finas con laminación cruzada (Fig. 7.18). Se presentan en ambas perforaciones, con espesores de entre 2 y 11 m, en la mitad inferior de la unidad.

Conformadas por láminas milimétricas que exhiben cambios de coloración. En general son de coloración Gris Verdoso Claro (5GY 8/1) y Gris Amarillento (5Y 8/1), y puntualmente de Verde Azul Grisáceo (5BG 5/2).

Poseen un tamaño de grano de arena muy fina (65μ aproximado) con una selección buena. Composicionalmente se trata de areniscas cuarzosas y cuarzo-micáceas (biotita, clorita y muscovita con contenidos cercanos al 10 %), feldespatos en un 2 %, y cemento carbonático. En cuanto a la morfometría de los clastos, estos son sub-redondeados a redondeados y sub-esféricos.

Ocasionalmente se observa algún nivel puntual con intraclastos pelíticos y de arena fina, de tamaño entre pocos milímetros hasta a 3,5 cm y coloración marrón-rojiza (Fig. 7.18: c) inmersos en una matriz arenosa de arena fina (250μ).

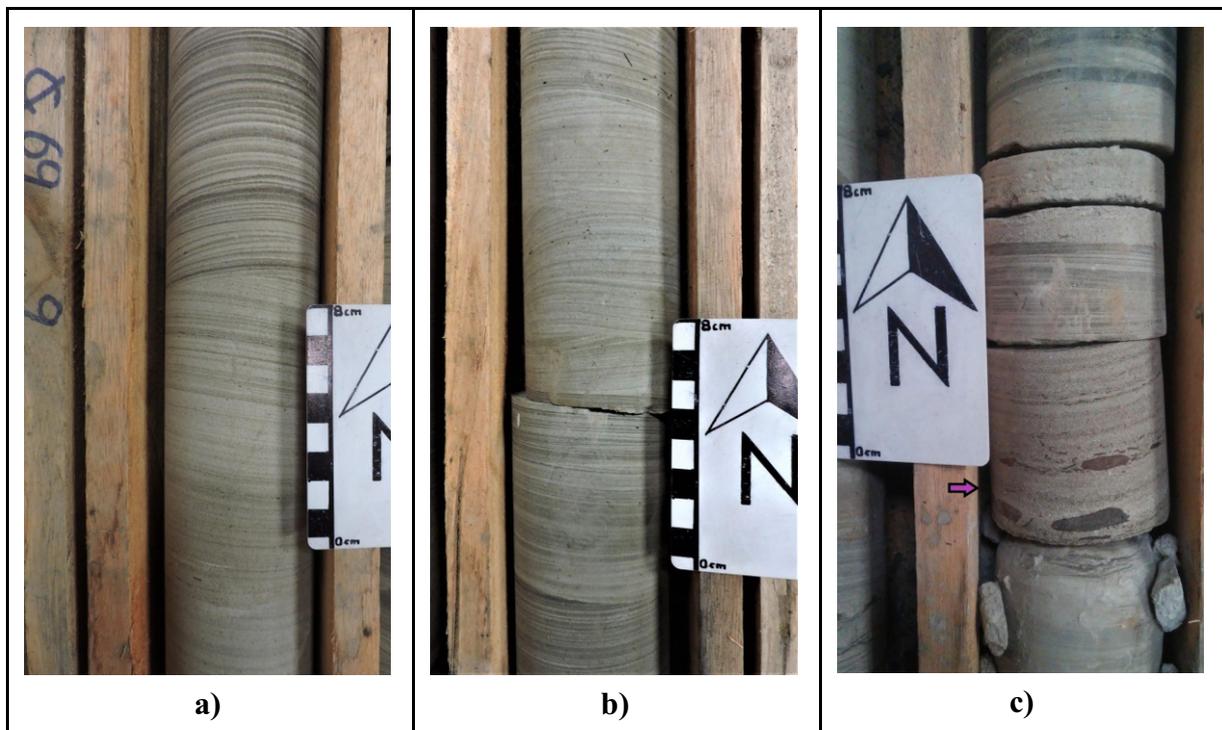


Fig. 7.18: Litofacies *Sl* – Formación Frayle Muerto.

a, b) Litofacies *Sl* en sets de laminación de bajo ángulo y planos truncados, perforación Yaguarón Chico E1. **c)** Litofacies *Sl* con intraclastos (indicado con flecha lila), perforación Yaguarón Chico E1.

Puntualmente se observan estructuras deformacionales de tipo convoluta y *slumps*, en capas con espesores de hasta 5 cm y nódulos pre-compactación de pocos milímetros (Fig. 7.19).

Las láminas de coloración Gris Oscuro (N3) presentan mayor contenido de micas, o son niveles pelíticos de litofacies *MS*.

En el tramo medio de la unidad se intercalan de forma gradual con las litofacies *MS*, aunque puntualmente los contactos son netos (Fig. 7.19: c), tanto en la base como al tope. El contacto con la litofacies *R* es neto al tope.

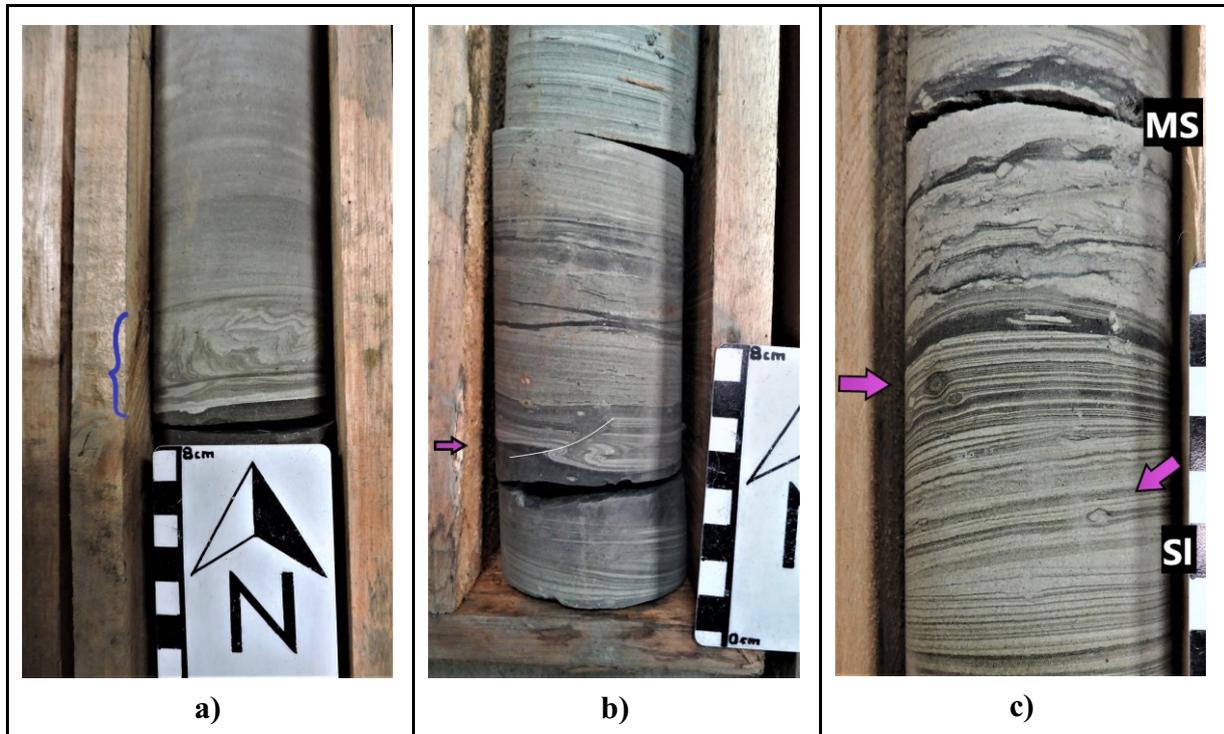


Fig. 7.19: Litofacies *SI* – Formación Frayle Muerto.

a) Litofacies *SI* con estructuras deformacionales de tipo convoluta (indicado en azul). **b)** Litofacies *SI*, con estructura de tipo *slump* (flecha lila). **c)** Litofacies *SI* con nódulos pre-compacción (flechas lilas), en contacto con litofacies *MS*, perforación Yaguarón Chico E1.

Facies con alternancia de areniscas y pelitas (MS)

Esta facies se trata de la alternancia de pelitas y areniscas en capas de entre 2 y 20 cm (Fig. 7.20). Se presenta en la mitad inferior de la unidad, hacia la base, con espesores métricos de hasta 24 m. De manera ocasional se desarrolla en capas de pocos centímetros; siendo descrita para ambas perforaciones.

Las areniscas son de composición cuarzo-micáceas, tamaño de grano fino a muy fino (poco más de 65 μ), coloración Gris Claro (N7) y ocasionalmente Gris Verdoso (5G 6/1). Presentan laminación horizontal fina y ocasionalmente cruzada. Las pelitas son de coloración Gris Oscuro (N3), masivas. Puntualmente se observan pelitas laminadas de coloración Gris Oscuro Medio (N4).

Los contactos entre ambas litologías son netos, siendo la superficie basal ligeramente irregular como consecuencia de deformación por carga debido a las capas de arena suprayacentes.

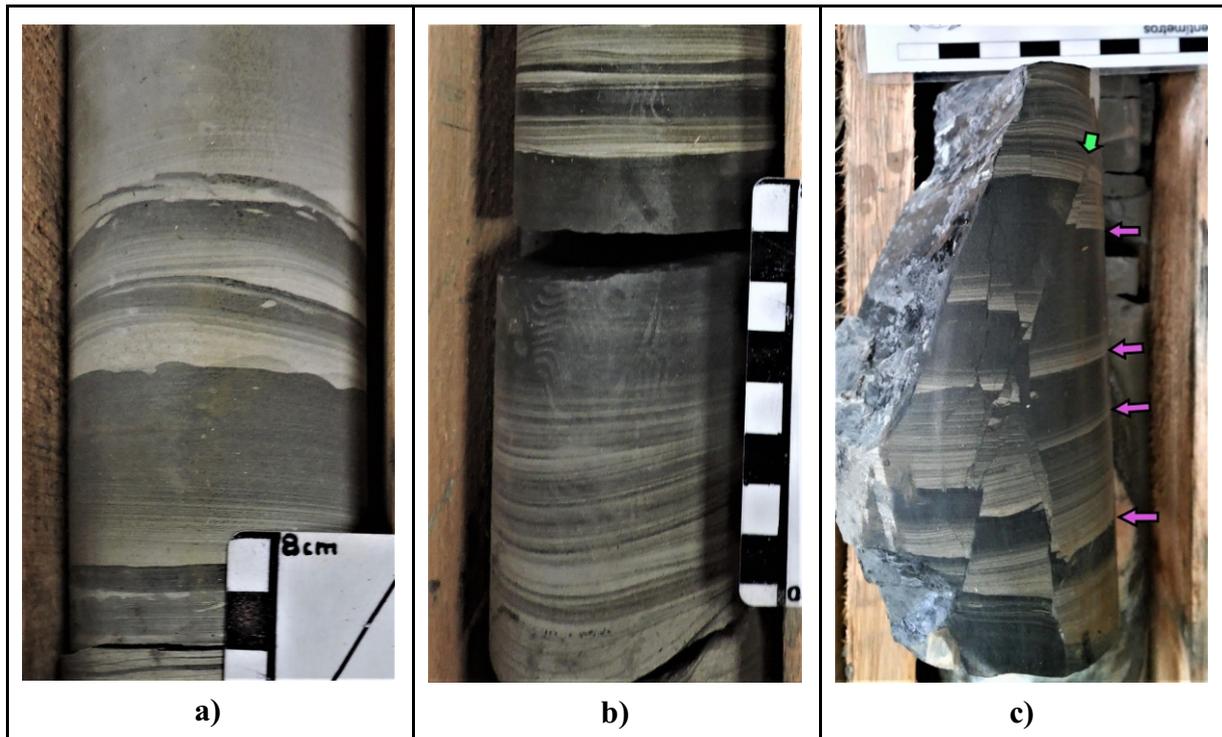


Fig. 7.20: Litofacies *MS* – Formación Frayle Muerto.

a) Litofacies *MS* en perforación Yaguarón Chico E1. **b)** Litofacies *MS* en perforación Yaguarón Chico E1. **c)** Litofacies *MS* (indicadas con flechas lilas), afectadas por fallas de alto ángulo (flecha verde), perforación Soto Goro E2.

Ocasionalmente, se intercalan areniscas muy gruesas (1.000μ), cuarzosas, masivas, en estratos de hasta 5 cm, con contactos netos (Fig. 7.21: a), presentando cemento carbonático.

En la perforación Soto Goro E2 a los 240,2 metros se observa un fuerte fallamiento (Fig. 7.20:c), y también recristalización de carbonatos.

Al tope de esta facies en un tramo de 3 m se observa bioturbación y un desarrollo mucho más importante de las estructuras de carga (Fig. 7.21: b,c).

Presenta contactos graduales al tope con las litofacies *SI*, con varios estratos intercalados; de manera puntual son erosivos. En la perforación Soto Goro E2 el contacto en la base es neto con litofacies *C* de la unidad infrayacente (Formación Tres Islas); en tanto, en la perforación Yaguarón Chico E1 es neto con las litofacies *SGm* de la mencionada unidad infrayacente, marcando los pases formacionales.

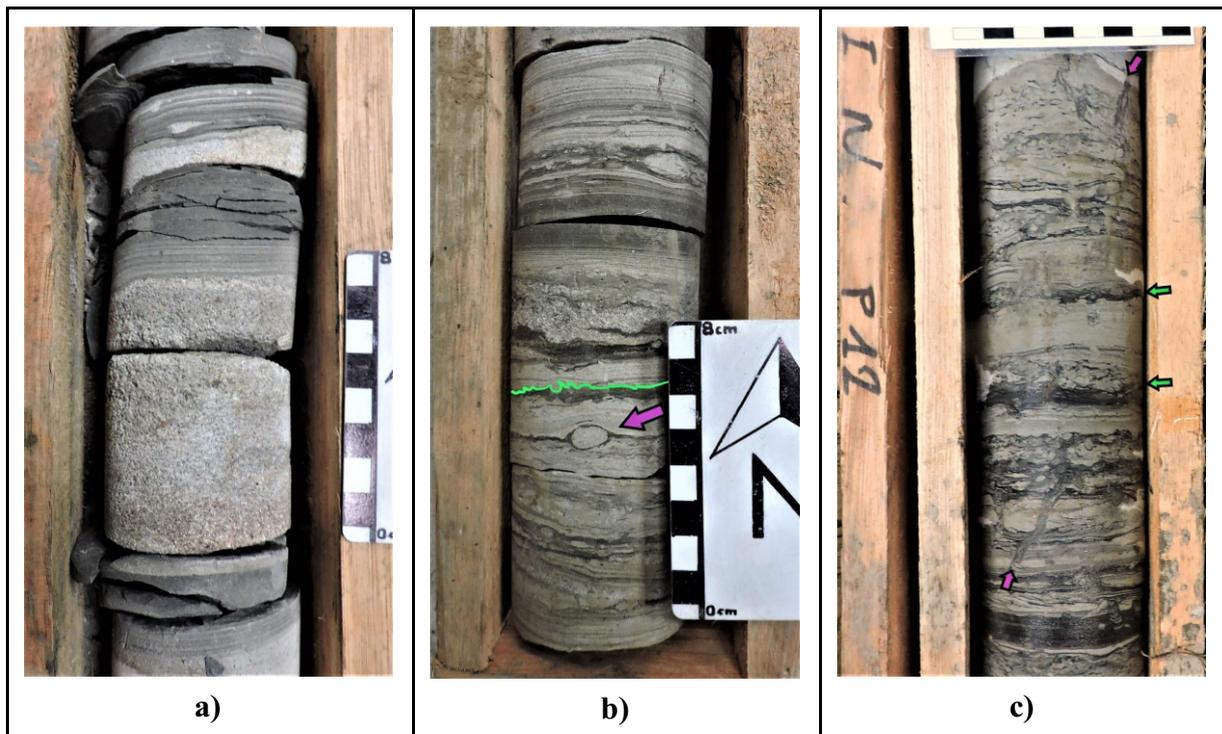


Fig. 7.21: Litofacies *MS* – Formación Frayle Muerto.

a) Intercalación de areniscas gruesas con Litofacies *MS*, perforación Yaguarón Chico E1. **b)** Litofacies *MS* con estructuras deformacionales (indicado en verde) y pseudonódulos (flecha lila), perforación Yaguarón Chico E1. **c)** Litofacies *MS* con estructuras deformacionales (flechas verdes) y bioturbación (flecha lila), perforación Soto Goro E2.

Facies heterolíticas bioturbadas (Ht_b)

Se trata de facies heterolíticas fuertemente bioturbadas (Fig. 7.22). Se presenta en ambas perforaciones en el tramo superior de la unidad, con espesores máximos de 23 m en la perforación Soto Goro E2 y de 30 m en la perforación Yaguarón Chico E1.

Como característica predominante, esta facies se presenta fuertemente bioturbadas. Está constituida por pelitas de tonalidades Gris Oliva (5Y 4/1) y Verde Azul Grisáceo (5BG 5/2), y areniscas muy finas (menor a 65 μ), de tonalidades Gris Claro Medio (N6) y Gris Oliva (5Y 4/1).

Las pelitas son micáceas, con contenidos variables de muscovita, biotita y clorita. En tanto, las areniscas son cuarzo micáceas, con contenidos de micas del 10 % y opacos muy subordinados, siendo los clastos sub-redondeados y sub-esféricos. Presenta cemento carbonático.

El contacto es gradual en la base con la litofacies *R* en la perforación Yaguarón Chico E1; en tanto que, en la perforación Soto Goro E2 el contacto de la base es neto con litofacies *St*.

Al tope presenta contactos graduales con litofacies *Fl*.

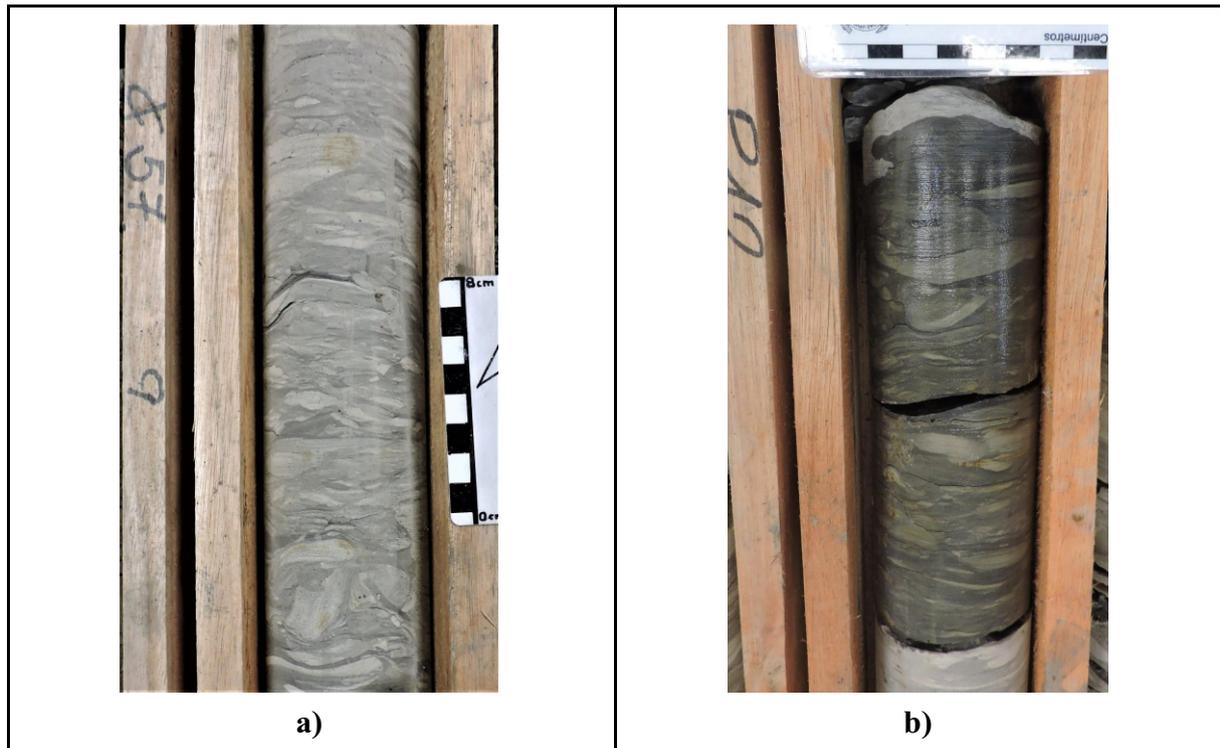


Fig. 7.22: Litofacies *Ht_b* – Formación Frayle Muerto.

a) Litofacies *Ht_b* en la perforación Yaguarón Chico E1. **b)** Litofacies *Ht_b*, tramo del testigo mojado, en perforación Soto Goro E2.

Facies de ritmitas (R)

Se trata de facies de ritmitas, conformadas por la intercalación rítmica de pelitas y areniscas, dispuestas horizontalmente en capas con espesores de 0,5 a 2 cm (Fig. 7.23). Se presenta hacia el tramo medio de la unidad, siendo el espesor de 4,5 m en la perforación Soto Goro E2 y de 9 m en la perforación Yaguarón Chico E1.

Las pelitas son levemente laminadas, de coloración Gris Medio (N5) y puntualmente Gris Verdoso (5GY 6/1). Las areniscas, en tanto, son de composición cuarzo-micáceas, tamaño de grano muy fino (65 μ) y algo limosas, con una coloración de Gris Claro (N7).

Como particularidad, a los 185,5 m perforación Yaguarón Chico E1 se observa un nódulo de pirita de 1 cm (Fig. 7.23: c).

Los contactos en la base son netos con litofacies *Sl*. El contacto al tope en la perforación Soto Goro E2 es erosivo con litofacies *St*. En la perforación Yaguarón Chico E1 el contacto al tope es gradual con litofacies *Ht_b*.

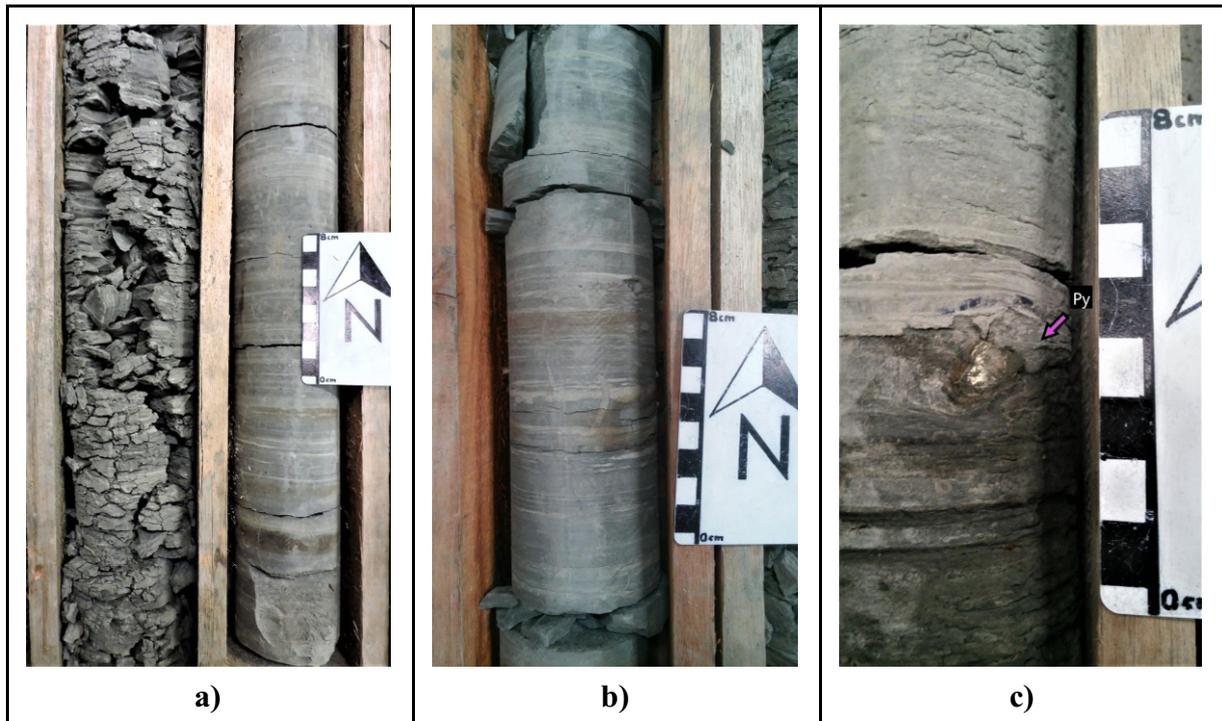


Fig. 7.23: Litofacies *R* – Formación Frayle Muerto.

a) Litofacies *R* en la perforación Yaguarón Chico E1. **b)** Litofacies *R* en la perforación Yaguarón Chico E1. **c)** Nódulo de pirita de 1 cm (indicado con flecha lila), presente en litofacies *R*, perforación Yaguarón Chico E1.

Facies de limo-arcillitas laminadas (F1)

Se trata de facies de limolitas algo arcillosas micáceas, con cierta laminación horizontal y lentes aislados de limo-areniscas (Fig. 7.24). Se presenta hacia el tope de la unidad, siendo su espesor de 14 m en la perforación Yaguarón Chico E1 y de 22 m en la perforación Soto Goro E2.

Esta facies es de coloración Gris Oscuro Medio (N4) y Gris Medio (N5). En cuanto a composición, muestran variaciones en el contenido de arcillas, siendo la fracción detrítica visible de un tamaño de grano menor a 250 μ (arena muy fina). Presenta lentes aislados (milimétricos), de limo-areniscas, cuarzo-micáceas, con cemento carbonático.

El contacto en la base es gradual con litofacies *Ht_b* (donde exhiben bioturbación). En tanto, al tope es gradual con litofacies *L_db*, en varios tramos decimétricos que se intercalan; marcando el pase formacional con la unidad suprayacente (Formación Mangrullo).

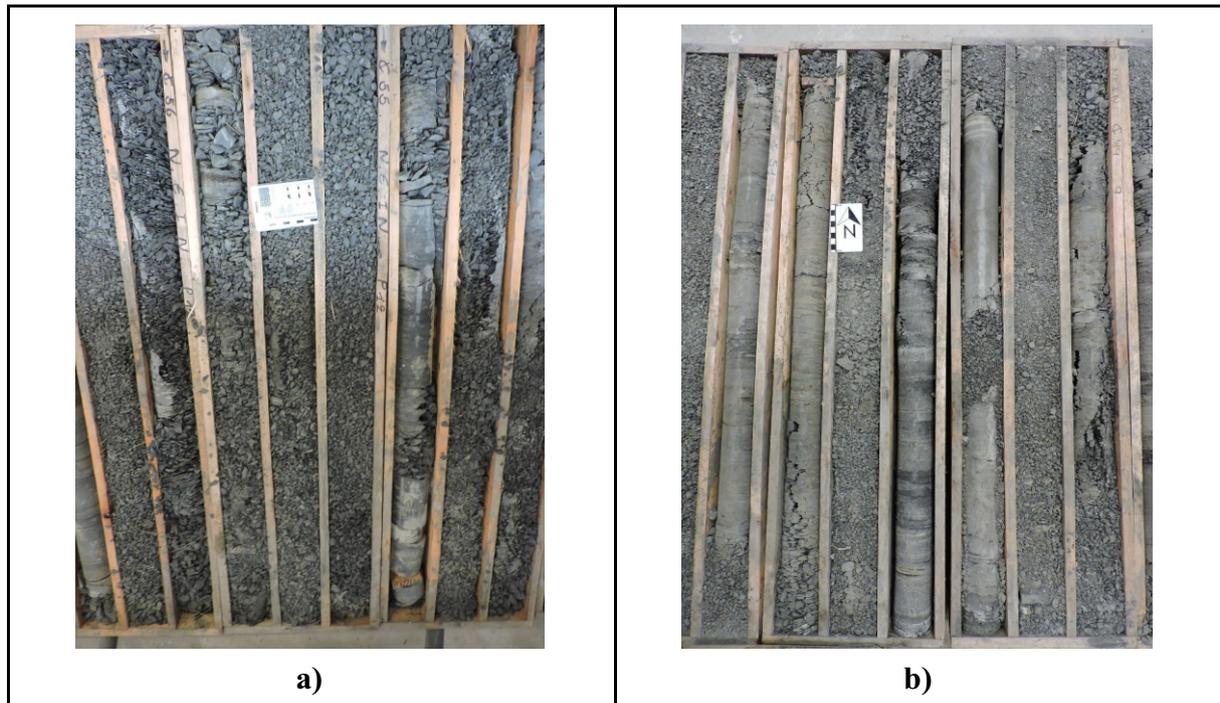


Fig. 7.24: Litofacies *Fl* – Formación Frayle Muerto.

a) Litofacies *Fl* en la perforación Soto Goro E2. **b)** Litofacies *Fl* en la perforación Yaguarón Chico E1.

FORMACIÓN MANGRULLO

En la Formación Mangrullo fueron identificadas seis facies sedimentarias, correspondientes a: calcilutitas con laminación horizontal (*Lh_c*), calizas masivas (*Mm*), calcilutitas con estructuras de capas rotas y bioturbadas (*L_db*), facies heterolíticas (*Ht*), limo-arcillitas laminadas (*Fl*) y lutitas pirobituminosas (*Lh_k*).

Las litofacies observadas se presentan en dos ciclos separados por las litofacies de limo-arcillitas laminadas. Los ciclos están conformados, de base a tope, por: calcilutitas con estructuras de capas rotas y bioturbadas, calizas masivas o calcilutitas con laminación horizontal, unidades heterolíticas y lutitas pirobituminosas.

El espesor de la unidad es de 27,5 m en la perforación Yaguarón Chico E1 y de 28,6 m en la perforación Soto Goro E2.

A continuación, se describen cada una de las litofacies observadas.

Facies de calcilutitas con laminación horizontal (*Lh_c*)

Se trata de facies de calcilutita con laminación horizontal (Fig. 7.25), cuya coloración es Gris Muy Claro (N8) y Gris Claro (N7). Esta facies aparece en la perforación Yaguarón Chico E1, en un único estrato cuya potencia es de 0,3 m. Ocurre asociada a las litofacies *L_db* hacia el tope de la Formación Mangrullo.

Puntualmente, se observa una capa de 3 mm de espesor de una arenisca calcárea fina (Fig. 7.25).

Esta facies se presenta asociada a la litofacies *L_db*.



Fig. 7.25: Litofacies *Lh_c* – Formación Mangrullo.
Capa de arenisca calcárea fina, 3 mm de espesor (indicado con flecha lila).

Facies de calizas masivas (Mm)

Se trata de una facies de caliza masiva (Fig. 7.26) de coloración Blanco (N9), presente en un único estrato de espesor 0,4 m. Ocurre hacia la base de la unidad en la perforación Yaguarón Chico E1.

El tamaño de grano es muy fino, no siendo posible su distinción a ojo desnudo.

Los contactos son netos, en la base con las litofacies *L_db* y al tope con las litofacies *Ht*.



Fig. 7.26: Litofacies *Mm* – Formación Mangrullo.

Facies de calcilutitas con estructuras de capas rotas y bioturbadas (L_db)

Se trata de facies de calcilutitas con estructuras de capas rotas y elevada bioturbación (Fig. 7.27), con una coloración predominante de Marrón Amarillento Pálido (10YR 6/2). Se presentan en ambas perforaciones, en dos capas, hacia la base y el tope de la unidad, con espesores de hasta 80 cm.

Se trata de facies con estructuras de capas rotas, en la cual los fragmentos de calcáreos se presentan en formas tabulares con bordes netos, asociados a material detrítico fino (pelítico) (Fig. 7.27: a, c). Presentan además importante cantidad de venillas carbonáticas, de espesores milimétricos, ocasionalmente dolomíticas (Fig. 7.27: b, c).

Los contactos en la base son graduales con litofacies *Fl* (para la capa superior); de igual manera graduales en la base pero con litofacies *Fl* de la unidad infrayacente (Formación Frayle Muerto) con varios tramos decimétricos intercalados. Los contactos del tope son graduales con las litofacies *Ht*, *Lh_c*, y de manera puntual presenta contacto neto al tope con la litofacies *Mm*.

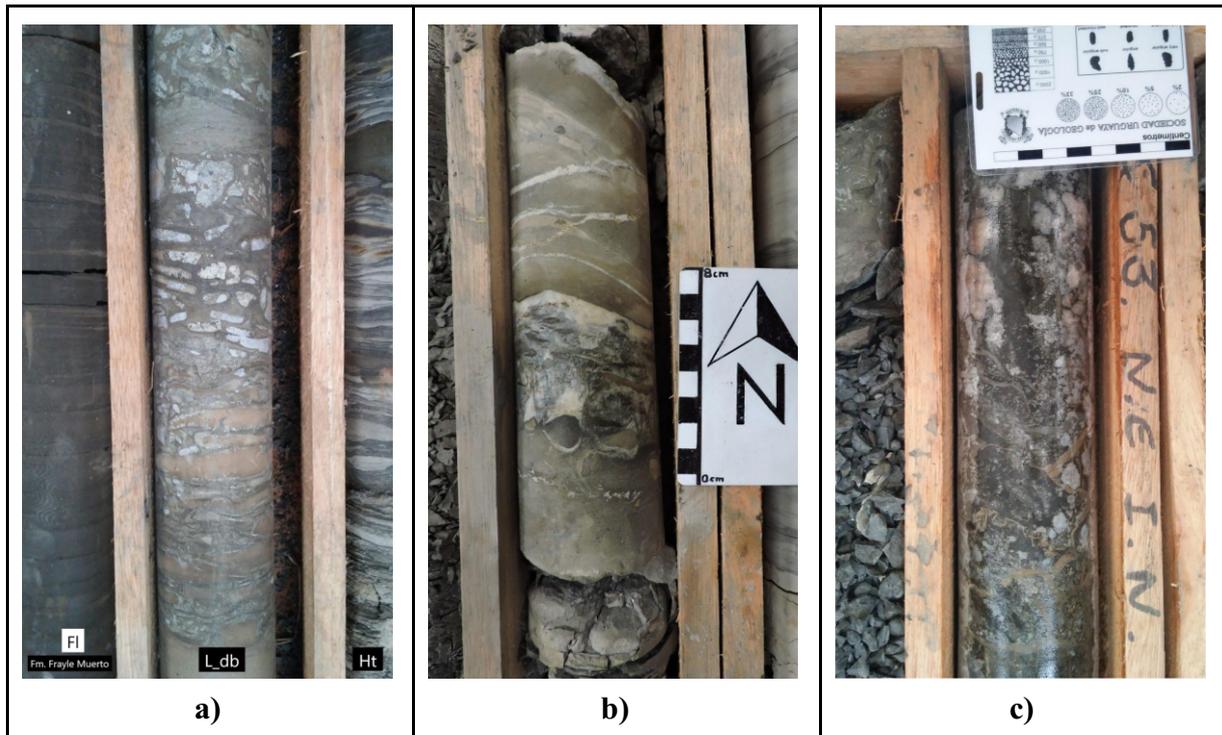


Fig. 7.27: Litofacies L_{db} – Formación Mangrullo.

a, b) Litofacies L_{db} , en perforación Yaguarón Chico E1. **c)** Litofacies L_{db} , en la perforación Soto Goro E2.

Facies heterolíticas (Ht)

Se trata de facies heterolíticas con estructura de tipo *wavy* predominante y lenticular en forma subordinada (Fig. 7.28). Se presentan en ambas perforaciones, hacia la base y el tope de la unidad, con espesores que oscilan entre 1,5 m en la base y de 4,7 m en el tope.

Conformadas por capas milimétricas de pelitas de coloración Gris Oscuro Medio (N4) y de limo-areniscas calcáreas muy finas (tamaño de grano 65μ) y coloración Gris Claro Medio (N6). Ocasionalmente, las areniscas presentan un tamaño de grano algo mayor y clastos de cuarzo.

Los contactos son graduales al tope con las litofacies Lh_k y también graduales en la base con las litofacies L_{db} y Mm . Puntualmente presenta contacto neto en la base con litofacies Mm .

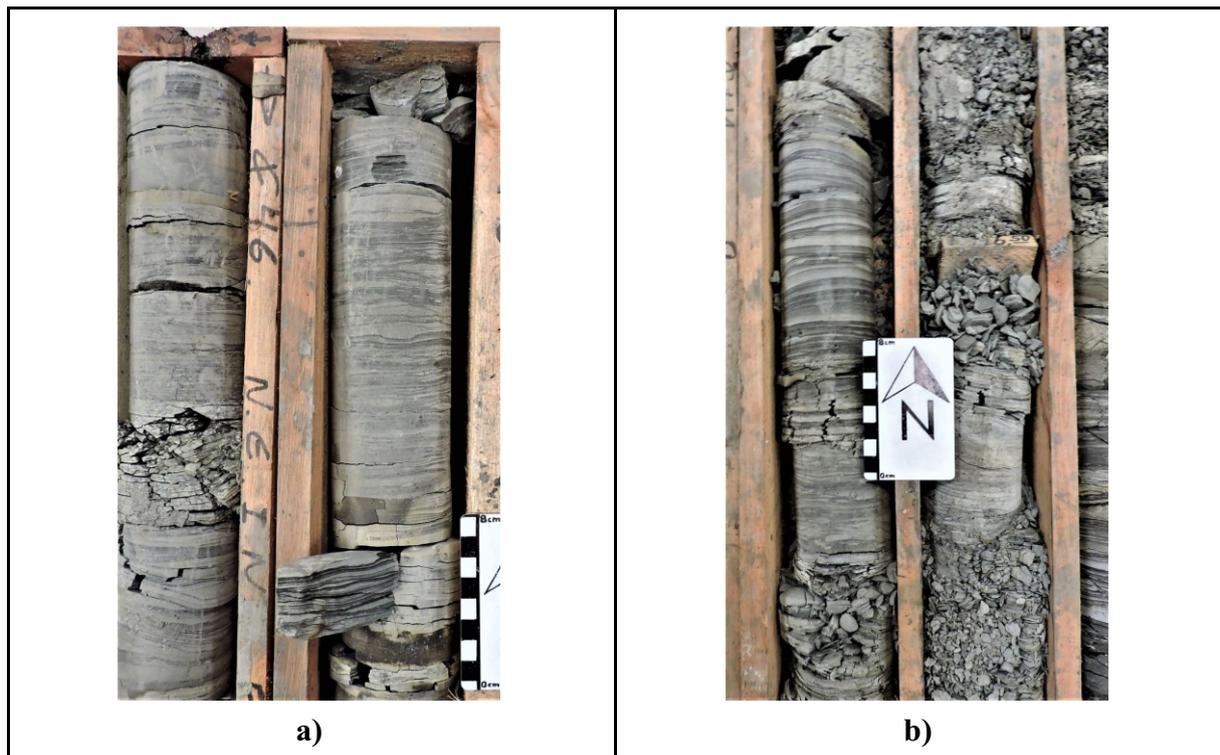


Fig. 7.28: Litofacies *Ht* – Formación Mangrullo.

a) Litofacies *Ht* en la perforación Soto Goro E2. b) Litofacies *Ht* en la perforación Yaguarón Chico E1.

Facies de limo-arcillitas laminadas (Fl)

Se trata de una facies de limolitas algo arcillosas, micáceas, con suave laminación horizontal (Fig. 7.29). Se presenta en el tramo medio de la unidad, en ambas perforaciones, separando los dos ciclos mencionados, con un espesor de 8 m en la perforación Soto Goro E2, y de 11 m en la perforación Yaguarón Chico E1.

Esta facies presenta coloración de Gris Oscuro (N2) y de Negro Grisáceo (N3), en cuanto a la composición muestra variaciones en el contenido de arcillas, observándose textura papirácea. La fracción detrítica visible presenta tamaños de arena muy fina (entre 65 a 250 μ), micácea (muscovita predominantemente). Ocasionalmente se intercalan de forma horizontal láminas milimétricas de areniscas muy finas. Asimismo, se observan, puntualmente, cristales de pirita de pocos milímetros.

Los contactos son graduales en la base con litofacies de *Lh_k*, y hacia el tope con litofacies *L_{db}*.

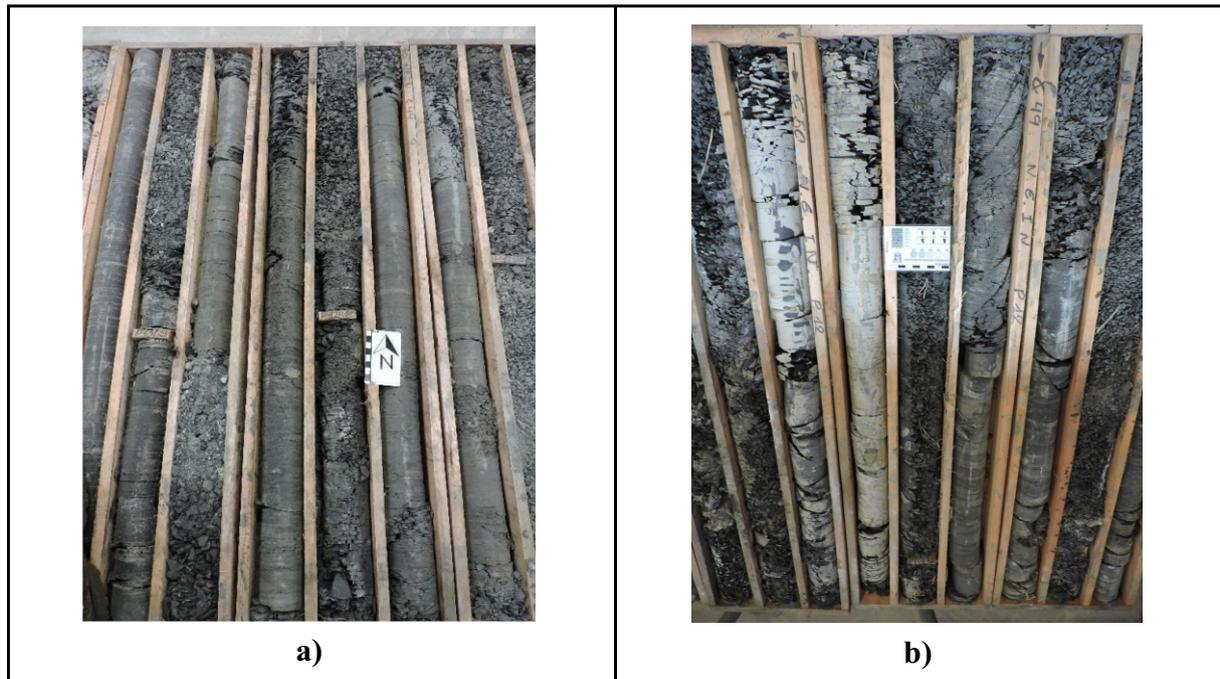


Fig. 7.29: Litofacies *Fl* – Formación Mangrullo.

a) Litofacies *Fl* en la perforación Yaguarón Chico E1. **b)** Litofacies *Fl* en la perforación Soto Goro E2.

Facies de lutitas pirobituminosas (Lh_k)

Se trata de pelitas arcillosas, de coloración Negro (N1) con fina laminación horizontal y alto contenido de materia orgánica de tipo kerógeno (Fig. 7.30). Ocurren en dos capas con espesores de 3 y 4 m, en ambas perforaciones, hacia el tope y la base de la unidad, respectivamente.

Ocasionalmente, se intercalan láminas milimétricas, horizontales y lentes muy pequeños, desconectados, de areniscas muy finas, de coloración de Gris Amarillento (5GY 8/1) y Amarillo Verdoso Moderado (10Y 7/4); con una composición cuarzo-micácea (biotita y muscovita).

Se observa la presencia de azufre diseminado en algunas láminas, lo que le otorga tonalidades amarillentas (Fig. 7.30: b). Esta facies se observa recortada por una venilla calcosilicosa de 1,5 cm (Fig. 7.30: c), en la perforación Yaguarón Chico E1.

En la base presenta contactos graduales con litofacies *Ht*. Los contactos hacia el tope son graduales con litofacies *Fl* (para la capa inferior); de igual manera graduales al tope pero con litofacies *Fl* de la unidad suprayacente (Formación Paso Aguiar) para la capa superior.

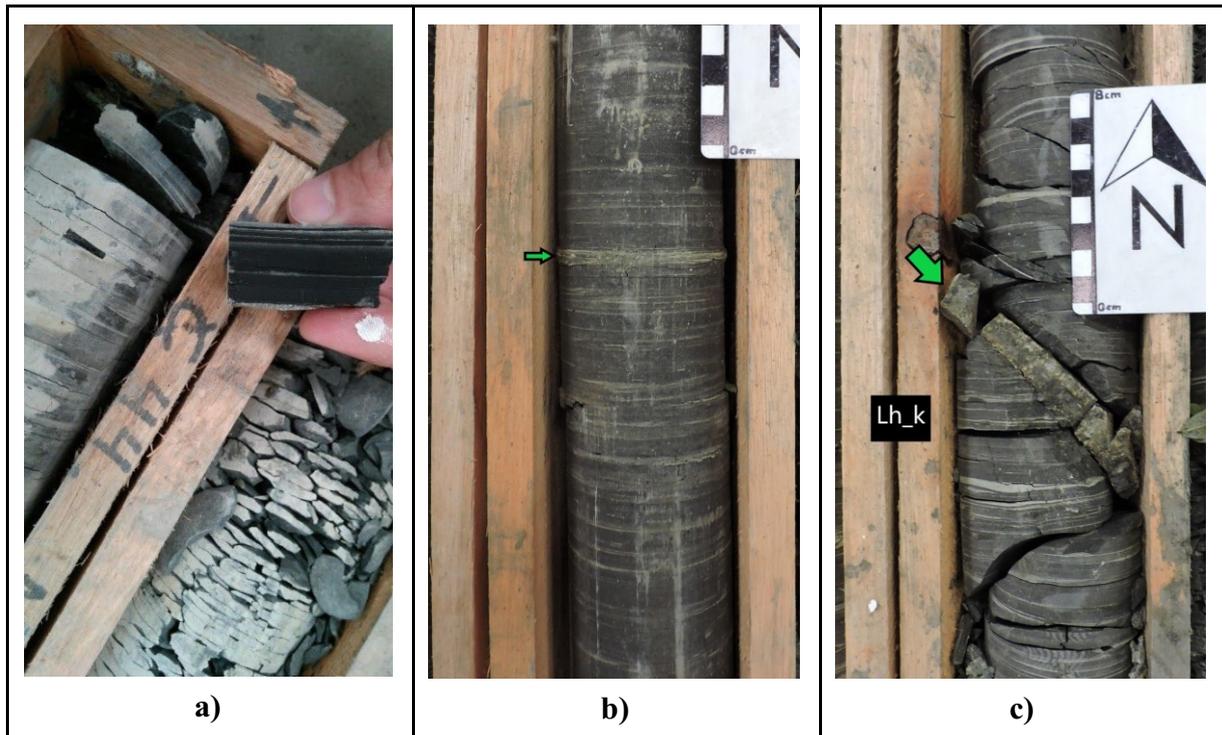


Fig. 7.30: Litofacies Lh_k – Formación Mangrullo.

a) Litofacies Lh_k , en la perforación Soto Goro E2. **b)** Litofacies Lh_k con nivel de cenizas volcánicas (indicado con flecha verde), en la perforación Yaguarón Chico E1. **c)** Litofacies Lh_k , recortada por venilla calcosilicosa de 1,5 cm de espesor (Flecha verde), presente en perforación Yaguarón Chico E1.

FORMACIÓN PASO AGUIAR

En la Formación Paso Aguiar fueron identificadas cuatro facies sedimentarias, denominadas: limo-areniscas con laminación horizontal (Sh), limo-arcillitas laminadas (Fl), unidades heterolíticas con estratificación *wavy* y lenticular (Ht_{wl}) y otras.

Todas las facies identificadas presentan buen desarrollo en las dos perforaciones analizadas, existiendo un aumento del contenido de arena hacia el tramo superior de la unidad. La facies predominante de la unidad son las unidades heterolíticas.

El espesor de la unidad es de 69 m en la perforación Yaguarón Chico E1 y de 83 m en la perforación Soto Goro E2.

A continuación, se describen cada una de las facies observadas.

Facies de limo-areniscas con laminación horizontal (Sh)

Se trata de limo-areniscas con laminación horizontal (Fig. 7.31). Se presentan en ambas perforaciones, principalmente en tramo medio de la unidad, en estratos centimétricos a decimétricos, de hasta 50 cm.

Estas facies son de coloración Gris Claro (N7), composición cuarzo-micácea (con contenidos de micas del 10 %) y un tamaño de grano menor e igual a 65μ . El cemento es carbonático.

En esta facies es frecuente observar niveles mayormente friables y con bioturbación incipiente a moderada (Fig. 7. 31: a, c).

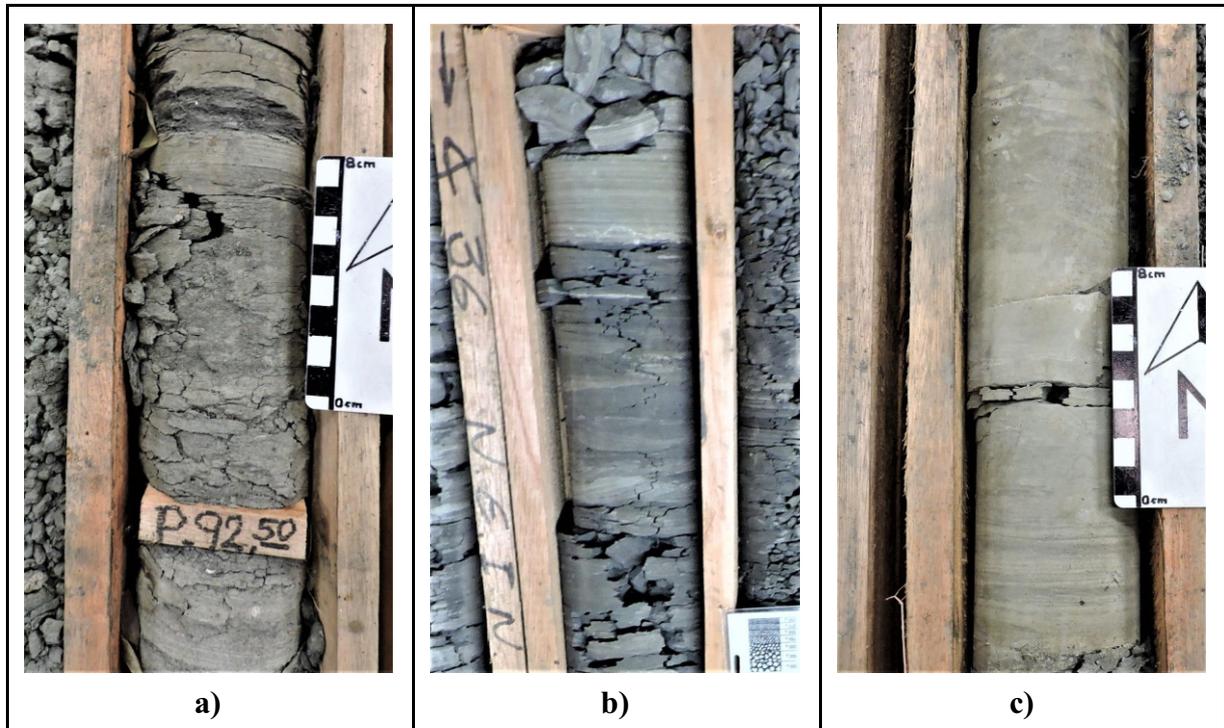


Fig. 7.31: Litofacies *Sh* – Formación Paso Aguilar.

a) Litofacies *Sh* en la perforación Yaguarón Chico E1. **b)** Litofacies *Sh* en la perforación Soto Goro E2. **c)** Litofacies *Sh*, afectada por bioturbación hacia la parte superior de la imagen, en la perforación Yaguarón Chico E1.

Presenta niveles con contribución de cenizas volcánicas (Fig. 7.32), con azufre diseminado, de coloraciones Amarillo Verdoso Moderado (10Y 7/4) y Verde Amarillo Grisáceo (5GY 7/2); con espesores de hasta 5 cm en la perforación Soto Goro E2, y de hasta 20 cm en la perforación Yaguarón Chico E1.

Los contactos son graduales con las litofacies *Ht_wl*.

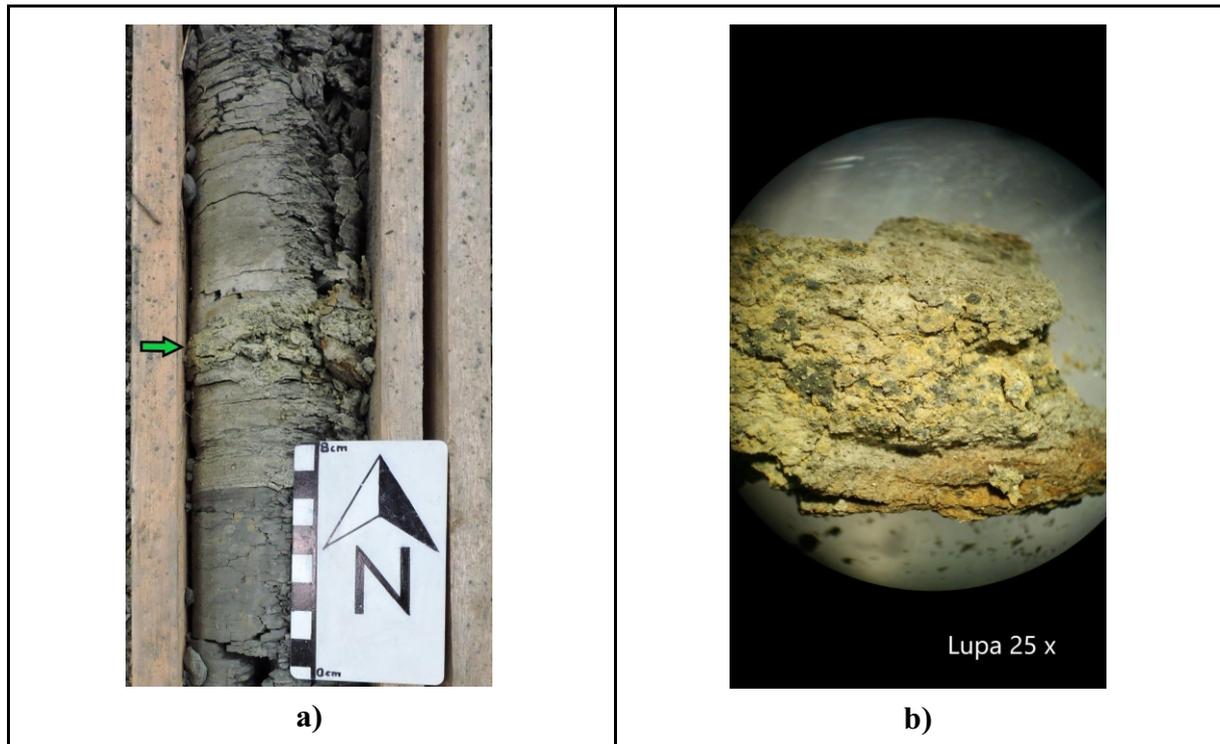


Fig. 7.32: Litofacies *Sh* – Formación Paso Aguiar.

a) Litofacies *Sh*, con intercalación de niveles conteniendo cenizas volcánicas (flecha verde), perforación Yaguarón Chico E1. **b)** Fotografía de niveles con contribución de cenizas volcánicas, vista en lupa binocular (25X).

Facies heterolíticas con estructuras wavy y lenticular (Ht_wl)

Se trata de facies heterolíticas con estructuras *wavy* predominantemente y lenticular en forma subordinada (fig. 7.33). Estas litofacies fueron observadas en ambas perforaciones, principalmente hacia el tramo superior de la unidad, presentando espesores métricos.

Están conformadas por la intercalación de pelitas y areniscas cuarzo-micáceas que ocasionalmente muestran cierta ritmicidad (Fig. 7.33: a, b). Las pelitas son de coloración Gris Verdoso (5G 6/1) y Azul Pálido (5B 6/2), con espesores desde milímetros a pocos centímetros, que ocasionalmente presentan pequeños cristales de pirita (menor a 1 mm). Las areniscas son de composición cuarzo-micácea con valores de mica (biotita) en torno al 10 y 25%, de grano muy fino (tamaño 65 μ), coloración Gris Claro (N7), laminación ondulada de tipo *wavy* y ocasionalmente estructura lenticular.

Presentan en general bioturbación incipiente, que en algún tramo puntual se vuelve importante.

Como particularidad presentan estructuras de carga incipientes, y de forma muy puntual presentan estructuras de escape de fluidos (Fig. 7.33: c). También se distinguen algunos niveles con contribución de cenizas volcánicas, de coloración Amarillo Verdoso Moderado (10Y 7/4).

Los contactos son graduales con litofacies *Fl* y *Sh*. El contacto en el tope es gradual con litofacies *Htw* de la unidad suprayacente (Formación Yaguarí), marcando el pase formacional.

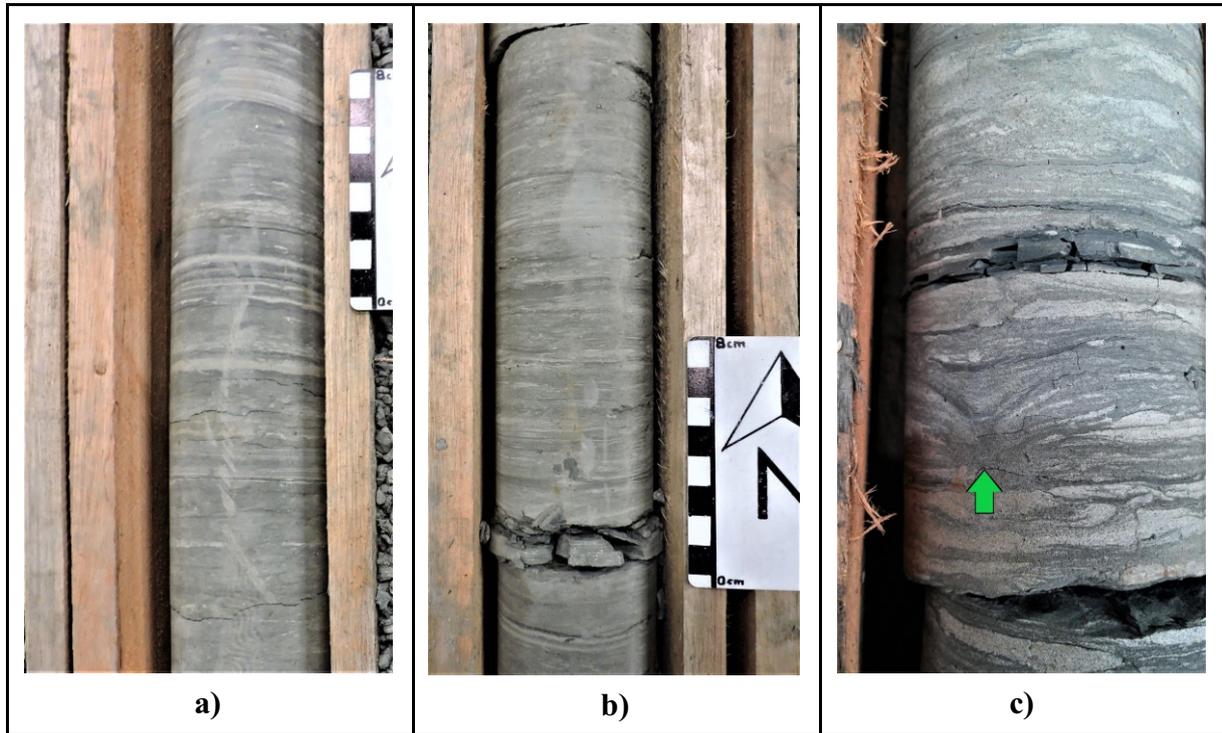


Fig. 7.33: Litofacies *Ht_wl* – Formación Paso Aguiar.

a, b) Litofacies *Ht_wl*, en la perforación Yaguarón Chico E1. **c)** Litofacies *Ht_wl*, con estructura de escape de fluidos (indicado con flecha verde), perforación Soto Goro E2.

Facies de limo-arcillitas laminadas (Fl)

Se trata de limo-arcillitas micáceas con laminación horizontal (Fig. 7.34). Se presenta en ambas perforaciones, principalmente en la base de la unidad, en la transición con la Formación Mangrullo y hacia el tramo medio de la misma, con espesores que oscilan entre 3 y 5 m.

Esta facies es de coloración de Gris Oscuro (N3) y Gris Oscuro Medio (N4), con una importante composición arcillosa, de tipo expansivas, con estructura papirácea, evidente por el estado de preservación del testigo.

En la perforación Soto Goro E2, en la base de la unidad, en la transición con la Formación Mangrullo, se observan venillas calcosilicosas, de entre 3 y 15 cm de espesor. Estas venillas contienen cristales de pirita, de hasta 1 mm y recortan la estratificación en un ángulo aproximado de 45° (Fig. 7.34: c).

También se presentan niveles con contribución de cenizas volcánicas (Fig. 7.34: b), con un espesor para la capa mayor de 20 cm, en la perforación Yaguarón Chico E1. Presentando las

mismas tonalidades de Amarillo Verdoso Moderado (10Y 7/4) y Verde Amarillo Grisáceo (5GY 7/2).

Los contactos son graduales con las litofacies *Ht_wl*. En tanto el contacto en la base es gradual con litofacies *Lh_k*, de la unidad infrayacente (Formación Mangrullo) marcando el pase formacional.

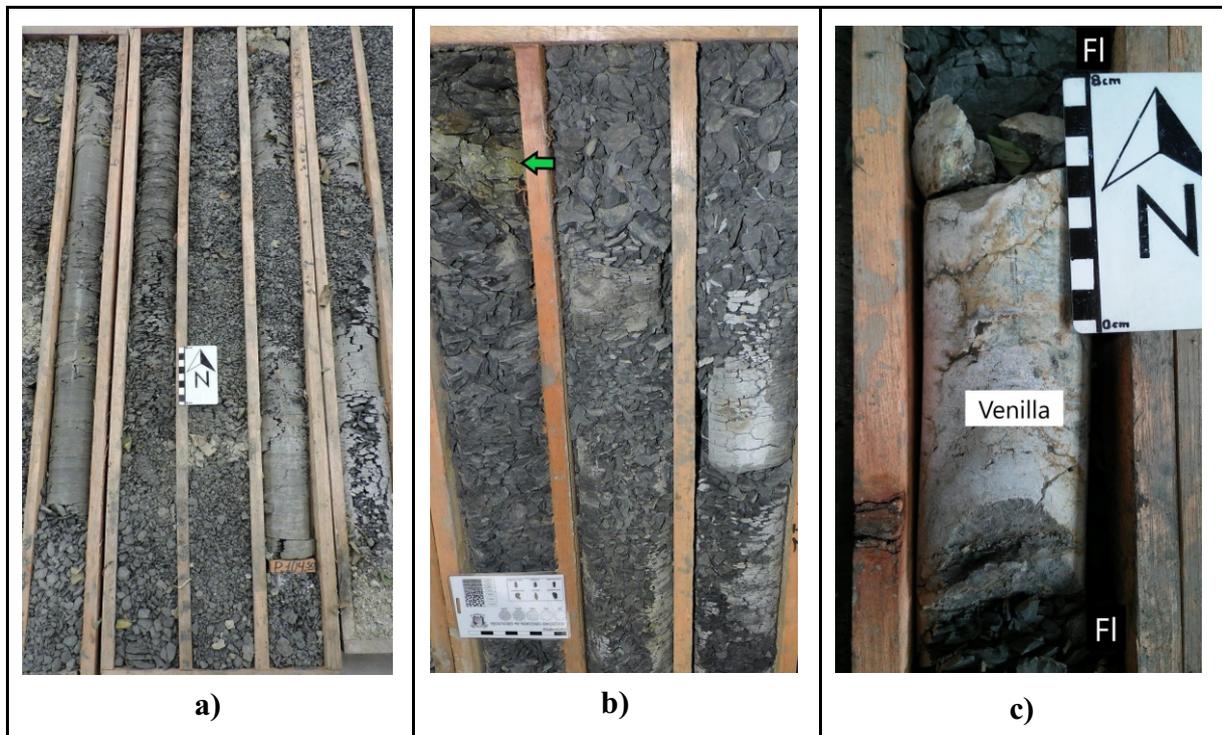


Fig. 7.34: Litofacies *Fl* – Formación Paso Aguilar.

a) Litofacies *Fl*, perforación Yaguarón Chico E1. **b)** Litofacies *Fl* exhibe nivel con contenido de cenizas volcánicas (indicado con flecha verde), perforación Soto Goro E2. **c)** Litofacies *Fl* recortada por una venilla clacosilicosa de 15 cm, perforación Soto Goro E2.

Otras

Intercalada con las facies heterolíticas, con contacto neto, a 83 m de profundidad en la perforación Yaguarón Chico E1, ocurre único nivel de 3 cm de potencia de areniscas calcáreas, de tamaño de grano fino a medio (375μ) y estructura masiva (Fig. 7.35).



Fig. 7.35: Litofacies *otras* – Formación Paso Aguiar.

Único nivel de areniscas calcáreas, con espesor de 3 cm (indicado con flecha lila), intercalado a litofacies *Ht_wl*, perforación Yaguarón Chico E1.

FORMACIÓN YAGUARÍ

En la Formación Yaguarí fueron identificadas seis facies sedimentarias, correspondientes a: areniscas con laminación de tipo *ripple* (*Sr*), areniscas con laminación horizontal (*Sh*), unidades heterolíticas con estructura *flaser* (*Ht_f*), unidades heterolíticas con estructura *wavy* (*Ht_w*), unidades heterolíticas con estructura lenticular (*Ht_l*) y limolitas (*F*).

Las facies heterolíticas son las más representativas de la unidad, presentando buen desarrollo a lo largo de toda la unidad en las dos perforaciones analizadas. En tanto, las facies arenosas tienen mayor presencia en el tope de la unidad. La facies de limolitas se desarrolla únicamente en la perforación Yaguarón Chico E1.

El espesor de la unidad es de 42 m en la perforación Yaguarón Chico E1, y de 50 m en la perforación Soto Goro E2.

A continuación, se describen cada una de las facies observadas.

Facies de areniscas con laminación de tipo ripple (Sr)

Se trata de areniscas finas con *ripples* asimétricos (Fig. 7.36), de coloración Rosa Anaranjado Gris (5YR 7/2) y de Marrón Rojizo Pálido (10R 5/4). Ocurre en ambas perforaciones, aunque presentan un mejor desarrollo en la perforación Yaguarón Chico E1. Presenta espesores

generales entre 30 cm y 1 m; aunque en la perforación Soto Goro E2 se observan algunos niveles con espesores entre 7 y 10 cm.

Se trata de areniscas con selección buena y tamaño de grano entre arena fina a media (250 y 375 μ). Composicionalmente, presenta contenido de cuarzo próximo al 60 %, micas de hasta el 20 % (en general biotita y muscovita), fragmentos líticos y feldespatos suman el 20 % restante. Los clastos son sub-redondeados y sub-esféricos a esféricos y el cemento es carbonático. Ocasionalmente presentan trazas fósiles (Fig. 7.36: b).

Los contactos en la base son netos con facies de unidades heterolíticas (*Ht_f*, *Ht_w*, *Ht_l*) y *Sh*; en tanto al tope suelen ser graduales con facies de unidades heterolíticas, y puntualmente netos con litofacies *Sh*.

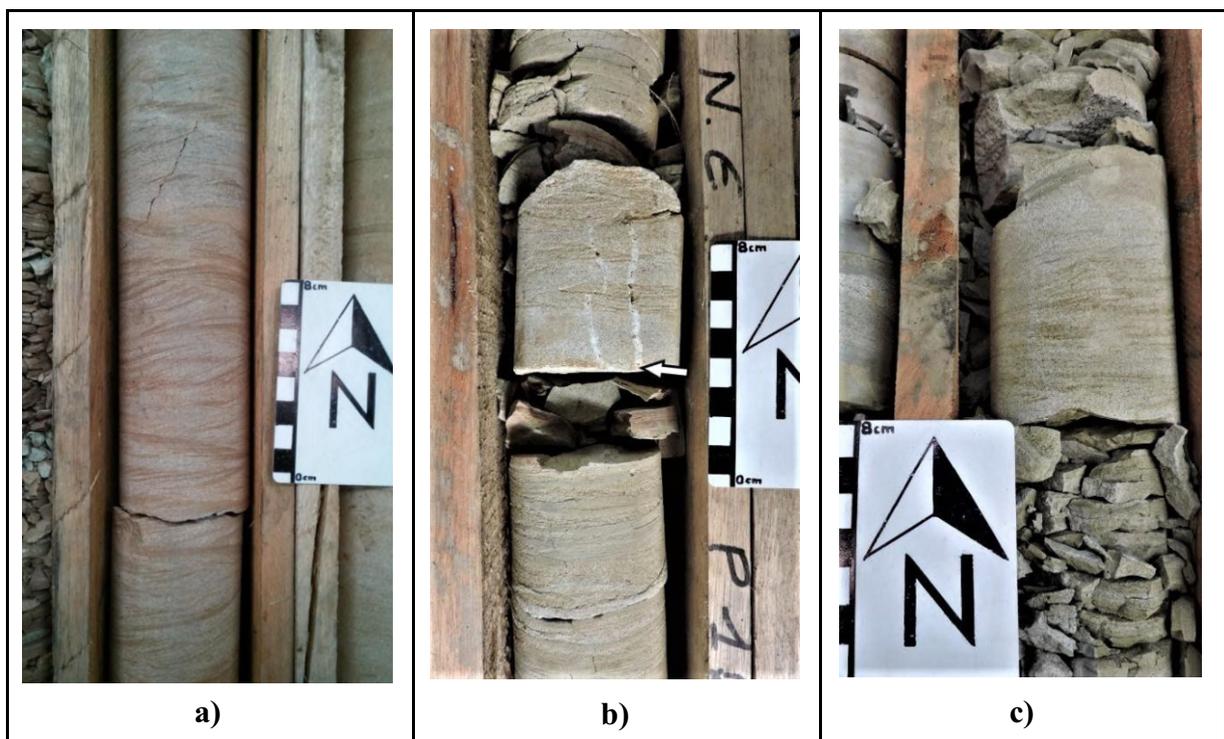


Fig. 7.36: Litofacies *Sr* – Formación Yaguari.

a) Litofacies *Sr* en la perforación Yaguarón Chico E1. **b)** Litofacies *Sr*, de 7 cm de espesor con trazas fósiles (indicado con flecha blanca), en la perforación Soto Goro E2. **c)** Litofacies *Sr* en la perforación Soto Goro E2.

Facies de areniscas con laminación horizontal (Sh)

Se trata de areniscas finas con laminación horizontal (Fig. 7.37), de coloración Rojo Pálido (10R 6/2). Esta facies ocurre en ambas perforaciones hacia el tramo superior de la unidad, aunque presentan un mejor desarrollo en la perforación Soto Goro E2, con espesores de entre 30 y 50 cm.

Se trata de areniscas con buena selección y tamaño de grano arena fina (250μ). La composición es sub-arcósica, con contenido de feldespatos de 15%, de manera subordinada poseen micas (biotita y muscovita) y fragmentos líticos que no alcanzan el 10 %. Los clastos son sub-redondeados y sub-esféricos a esféricos. De manera ocasional, presentan cemento carbonático, lo que le da una coloración de Gris Muy Claro (N8).

Presentan contactos netos en la base con litofacies *Sr* y facies de unidades heterolíticas; en tanto al tope suelen ser graduales con facies de unidades heterolíticas y netos con litofacies *Sr*.

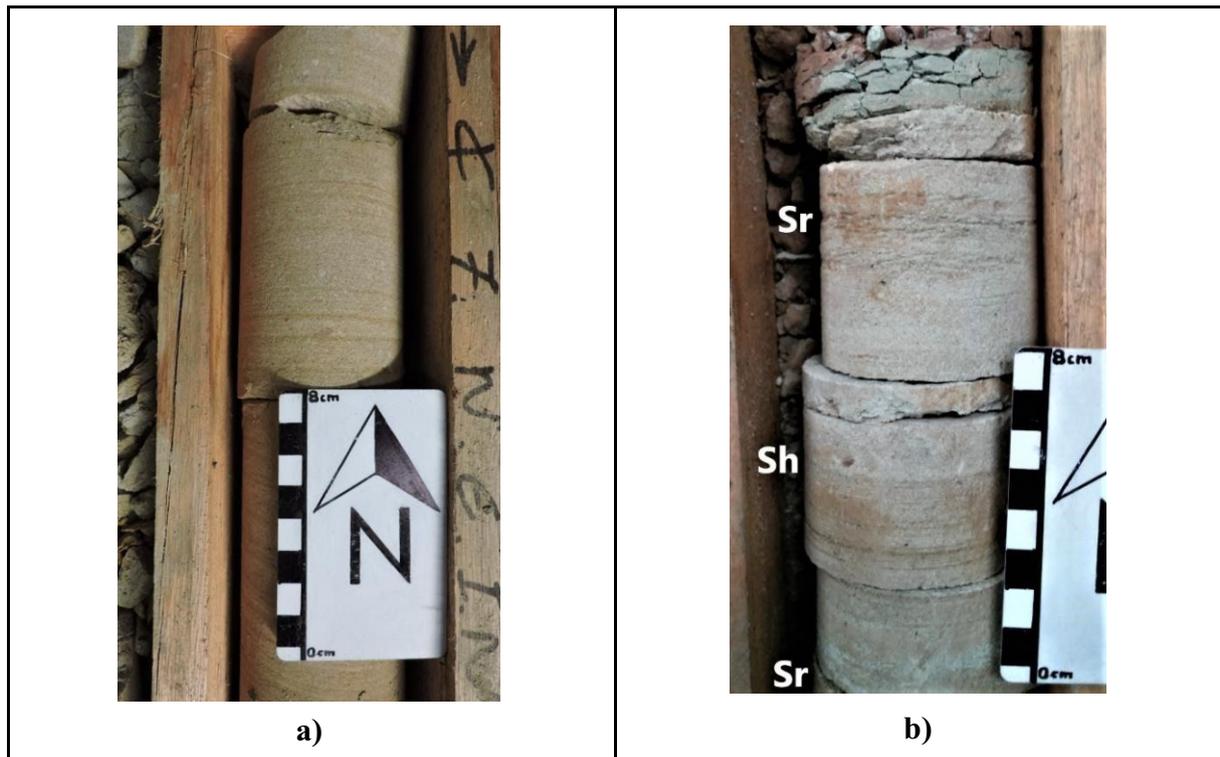


Fig. 7.37: Litofacies *Sh* – Formación Yaguari.

a) Litofacies *Sh* en la perforación Soto Goro E2. **b)** Litofacies *Sh*, 7 cm de espesor en contacto con facies *Sr* en tope y base, en la perforación Yaguaron Chico E1.

Facies heterolíticas con estructura flaser (Ht_f)

Se trata de facies heterolíticas con estructura *flaser* predominante (Fig. 7.38), de coloración Rosa Grisáceo (5R 8/2) y Anaranjado Muy Pálido (10YR 8/2). Esta facies se encuentra presente en ambas perforaciones con espesores entre 20 y 50 cm.

Conformada por la intercalación de areniscas y pelitas. Las areniscas poseen laminación cruzada, tamaño de grano arena muy fina a fina (65 a 250μ), composición sub-arcósica, con valores de feldespatos del 10 %, presentando micas (biotita y muscovita) en valores cercanos al 10 %. La morfometría de los clastos es sub-redondeada y sub-esférica. Las pelitas pueden presentar algunas micas de tamaño de grano limo (muscovita y biotita). Puntualmente presentan cemento carbonático y una coloración Gris Muy Claro (N8).

Esta facies se encuentra asociada a las demás unidades heterolíticas de forma gradual; los contactos con litofacies *Sr* y *Sh* cuando suceden, suelen ser erosivos al tope y graduales en la base.

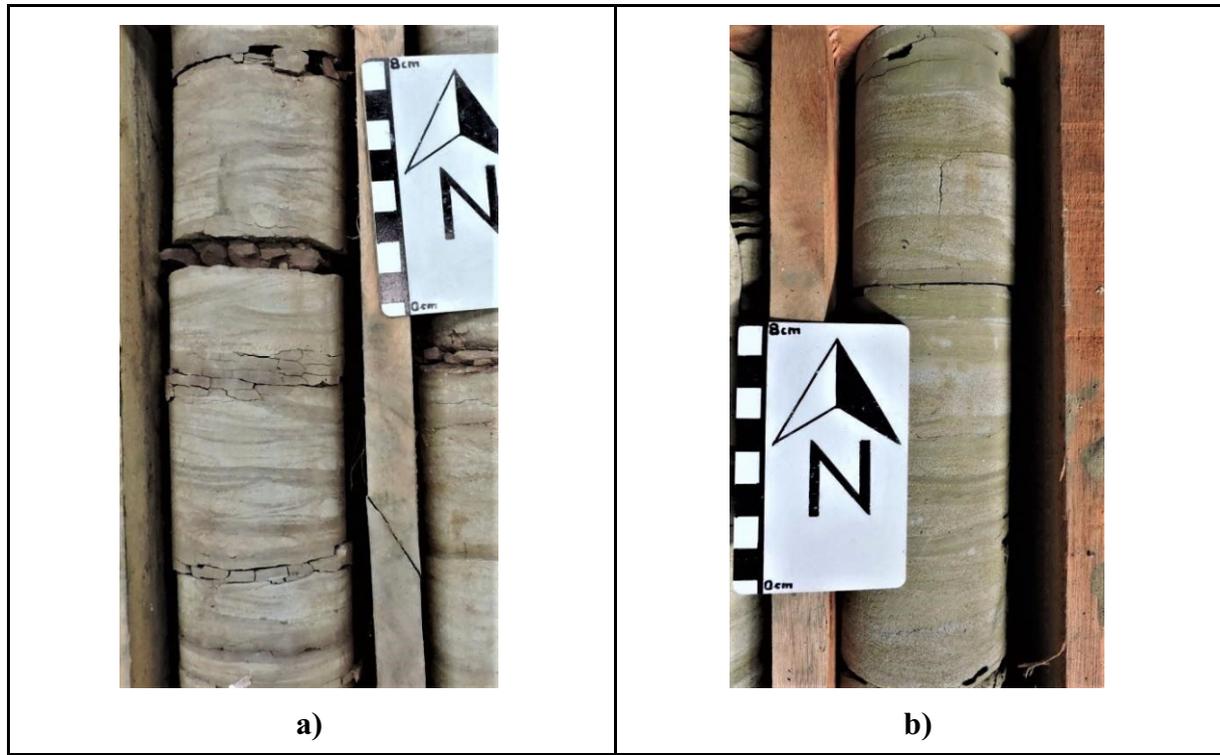


Fig. 7.38: Litofacies *Ht_f* – Formación Yaguarí.

a) Litofacies *Ht_f*, perforación Yaguarón Chico E1. **b)** Facies *Ht_f*, perforación Soto Goro E2.

Facies heterolíticas con estructura wavy (Ht_w)

Se trata de facies heterolíticas con estructura *wavy* predominante (Fig. 7.39). Esta facies se encuentra en ambas perforaciones, con predominio hacia la base de la unidad en la perforación Soto Goro E2, como transición con la unidad basal (Formación Paso Aguiar), con espesores decimétricos.

Está conformada por láminas o capas (de pocos milímetros a dos centímetros) intercaladas de areniscas y pelitas. Las areniscas presentan varias tonalidades, siendo Anaranjado Muy Pálido (10YR 8/2) y Rosa Grisáceo (5R 8/2) los predominantes. La composición es sub-lítica a micácea (biotita, muscovita), con un tamaño de grano arena muy fina (65 μ), y de estructura *wavy* predominante. Si presentan cemento, es carbonático y exhiben una coloración de Gris Claro (N7). Las pelitas, en tanto, son de coloración Gris Verdoso Claro (5GY 8/1) y Marrón Rojizo Pálido (10R 5/4), con micas cuyo tamaño de grano es de limo.

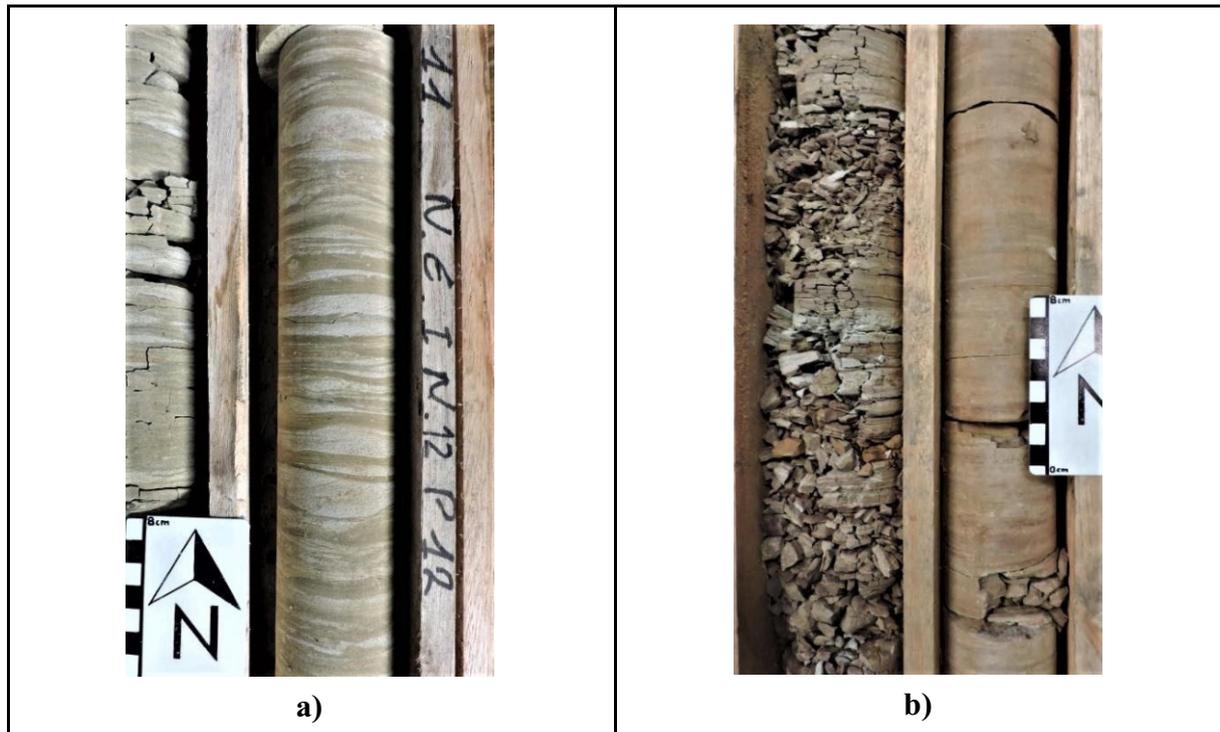


Fig. 7.39: Litofacies Ht_w – Formación Yaguari.

a) Facies Ht_w y Ht_l en la perforación Soto Goro E2. **b)** Facies Ht_w en la perforación Yaguaron Chico E1.

De manera puntual se da la intercalación de capas de pocos centímetros de espesor de arcillitas con fina laminación y tonalidades vivas, Rojo Oscuro (5R 3/4) y Naranja Amarillento Oscuro (10YR 6/6) (Fig. 7.40).

Esta facies se encuentra asociada de manera gradual con las demás unidades heterolíticas. Presentando contactos erosivos en el tope con litofacies Sr y Sh . En la perforación Soto Goro E2, el contacto en la base es gradual con litofacies Ht_{wl} de la unidad infrayacente (Formación Paso Aguiar), marcando el pasaje formacional.

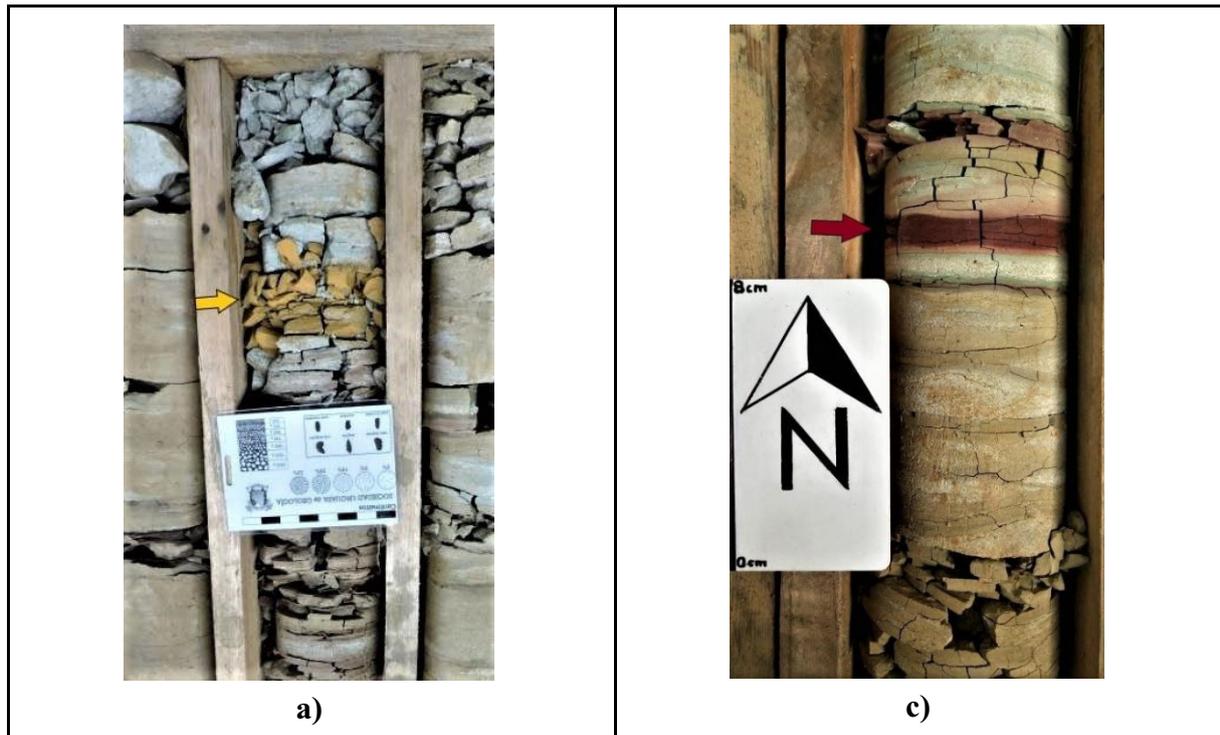


Fig. 7.40: Litofacies Ht_w – Formación Yaguarí.

a) Litofacies Ht_w , con capa de arcillita intercalada (indicado con flecha amarilla), perforación Soto Goro E2. **b)** Litofacies Ht_w , con capa de arcillita intercalada (flecha bordó), perforación Yaguarón Chico E1.

Facies heterolíticas con estructura lenticular (Ht_l)

Se trata de facies heterolíticas con estructura lenticular predominante (Fig. 7.41). Se presenta en ambas perforaciones a lo largo de la unidad, con espesores métricos.

Esta facies se constituye por pelitas de coloración Gris Verdoso Claro (5GY 8/1), con lentes de areniscas inmersos, de coloración Rosa Grisáceo (5R 8/2) y Marrón Rojizo Pálido (10R 5/4). Las pelitas poseen un alto contenido de micas (biotita y muscovita) de fracción limo (menor a 65μ), con lentes conectados y desconectados de areniscas muy finas (65μ), con laminación cruzada y espesores de pocos milímetros.

Esta facies se encuentra asociada a las demás unidades heterolíticas de forma gradual. Presentando contactos graduales en la base con litofacies F , Sh , Sr ; en tanto que al tope, si suceden, son erosivos con litofacies Sr , Sh .

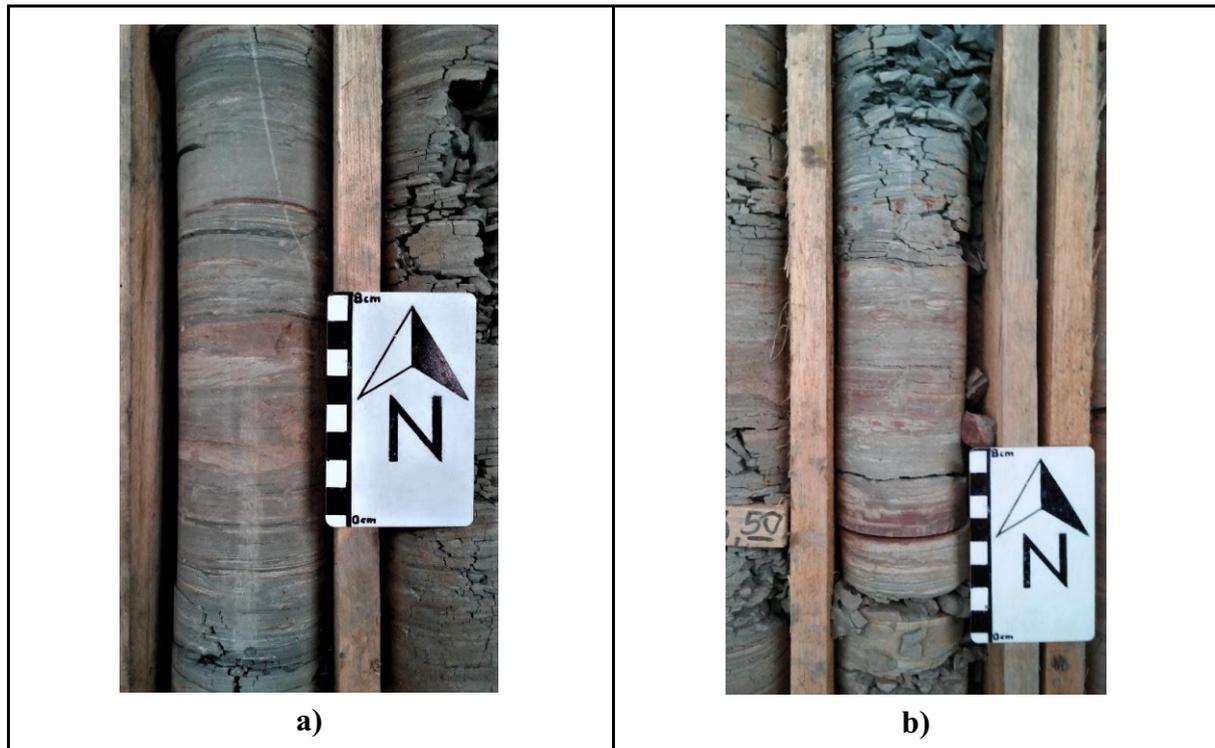


Fig. 7.41: Litofacies *Ht_l* – Formación Yaguarí.
a, b) Litofacies *Ht_l* en la perforación Yaguarón Chico E1.

Facies de limolitas (F)

Se trata de facies de limolitas masivas a laminadas finas (Fig. 7.42), a las que ocasionalmente se intercalan lentes milimétricos y discontinuos de limo-areniscas muy finas (65μ). Ocurren en la base de la unidad, con espesor métrico (11 m), en la perforación Yaguarón Chico E1.

Estas limolitas poseen coloración Marrón Amarillento Oscuro (10R 4/2) y Gris Verdoso (5G 6/1). Las limo-areniscas suelen tener tonos de Gris Claro (N7) y escaso cemento carbonático. Ocasionalmente, se observan nódulos de pre-compactación (Fig. 7.42: a).

El contacto en la base es gradual con litofacies *Ht_wl*, de la unidad infrayacente (Formación Paso Aguiar), marcando el pasaje transicional.

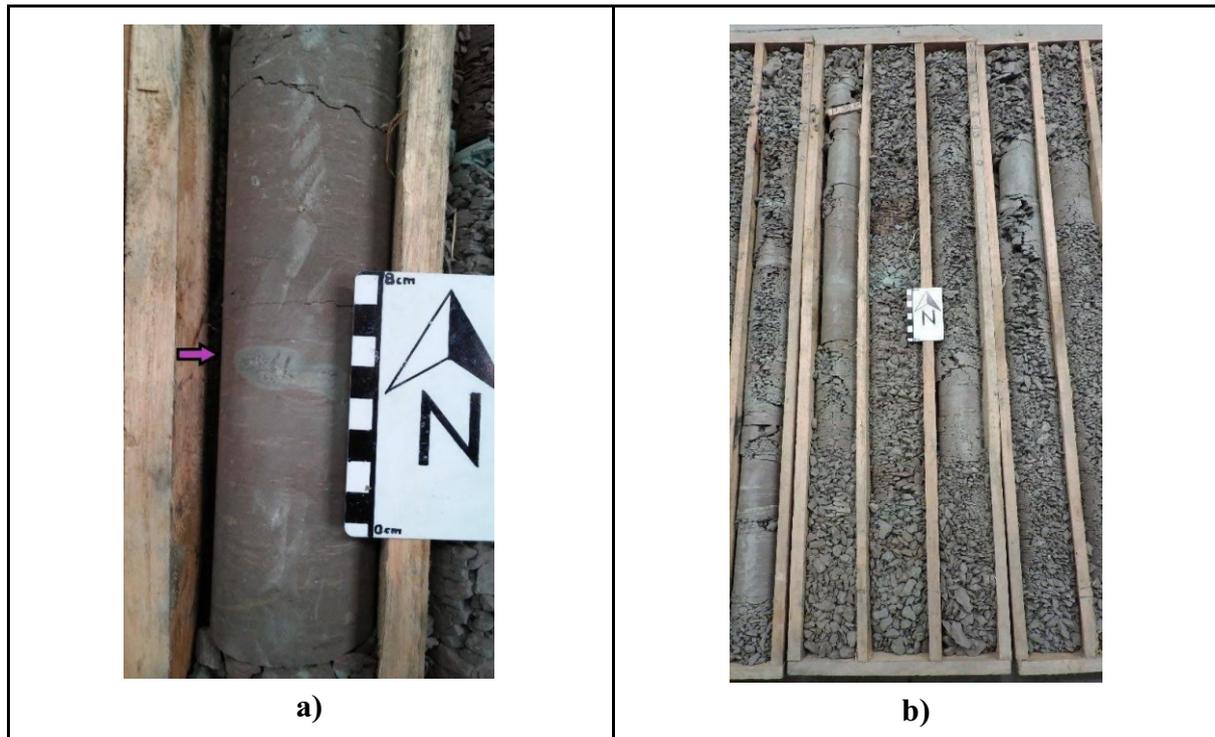


Fig. 7.42: Litofacies *FI* – Formación Yaguarí.

a) Litofacies *F*, Presenta nódulo Pre-compactación (indicado con flecha lila), perforación Yaguarón Chico E1. **b)** Litofacies *F*, perforación Yaguarón Chico E1.

8. Discusión

Las unidades estratigráficas presentes en las perforaciones analizadas conforman un ciclo transgresivo-regresivo (Fig. 7.1 y Fig. 7.2), indicando variaciones en la posición del nivel de base.

En este capítulo se realizará una breve contextualización de las facies sedimentarias identificadas en sistemas depositacionales tomando como base los cuatro ciclos sedimentarios propuestos por De Santa Ana *et al.* (2006) para los registros Carbonífero-Pérmicos de la Cuenca Norte, denominados de base a tope: ciclo glaciogénico, ciclo deltaico-marino, ciclo marino-transicional y ciclo fluvio-eólico.

CICLO GLACIOGÉNICO

En las perforaciones estudiadas el ciclo glaciogénico está representado por un conjunto heterogéneo de litologías (diamictitas, areniscas y pelitas) agrupadas en la Formación San Gregorio, no habiéndose identificado litologías asignables a la Formación Cerro Pelado.

De esta manera, la asociación de facies glacio-marina, definida en la Formación Cerro Pelado (*sensu* De Santa Ana *et al.* 2006), no se corresponden tan claro con lo observado en las perforaciones Yaguarón Chico E1 y Soto Goro E2.

Las litofacies reconocidas, se corresponden mejor con un paleoambiente glacio-lacustre, en los cuales el glaciar es el área fuente de sedimentos. Los avances y retrocesos del mismo son los encargados de generar procesos de movilización de sedimentos, causados por el balance de masas y la variabilidad del régimen térmico (Assine & Vesely 2008; Eyles *et al.* 1983).

Las facies de diamictitas, presentes en ambas perforaciones, son dominantes en la perforación Soto Goro E1, siendo estas las facies más representativas de ambientes glaciares, aunque no exclusiva de los mismos (Assine & Vesely 2008). En el presente trabajo fueron identificadas tres tipos de facies de diamictitas, siendo de matriz masiva (*Dm*), estratificada (*Ds*) y con estratificación distorsionada (*Dd*).

Las facies de diamictitas masivas pueden tener su génesis asociada a procesos tanto subaéreos como sub-acuáticos (Assine & Vesely 2008; Eyles *et al.* 1983). En ambos casos pueden resultar considerables espesores de diamictitas masivas como producto de la sedimentación de “flujos de detritos cohesivos” o “flujos de barro” (Assine & Vesely 2008; Eyles *et al.* 1983; Lowe 1982). Las litofacies de diamictitas masivas identificadas en este trabajo presentan la mayoría de las características descritas por Assine & Vesely (2008) para diamictitas sub-acuáticas.

Por su parte, la facies de diamictitas estratificadas, poseen una génesis sub-acuática (Assine & Vesely 2008; Eyles *et al.* 1983), pudiendo ser el resultado de procesos de decantación de finos

con gran presencia de clastos de *icebergs*, corrientes de fondo, resedimentación o una combinación de todos los anteriores.

Las diamictitas con estratificación deformada o distorsionadas tienen su génesis en ambientes sub-acuáticos, producto de la resedimentación talud abajo de depósitos preexistentes (flujos gravitacionales) (Assine & Vesely 2008). Según Assine & Vesely (2008) es bastante común la presencia de diamictitas con considerable deformación interna, en ambientes glacio-lacustres o glacio-marinos; correspondiéndose con una facies de escurrimiento, producto de movimientos de masa coherentes (*slumps*). En general, presentan una geometría irregular, que contienen cuerpos caóticos de areniscas, deformados y rotos.

Las facies de areniscas con estratificación distorsionada pueden ser el resultado de procesos de resedimentación talud abajo de depósitos preexistentes, siendo facies comunes en sucesiones glacio-lacustres y glacio-marinas (Assine & Vesely 2008).

Según Arab *et al.* (2009) y Eyles *et al.* (1983) las facies de areniscas con *ripples* pueden generarse en un régimen de bajo flujo de energía, por procesos de tracción, asociadas a procesos de resedimentación, como flujos turbidíticos de alta densidad (Assine & Vesely 2008). La facies de areniscas con estratificación cruzada de bajo ángulo (*Sl*) que presentan puntualmente estructuras convolutas y están asociadas a facies de areniscas con estratificación distorsionadas (*Sd*) pueden ser también resultado de estos flujos turbidíticos (Assine & Vesely 2008).

Las facies de lutitas (*L*) y de ritmitas (*R*) si presentan *dropstones*, son facies diagnósticas de ambientes glaciares (Assine & Vesely 2008). En las perforaciones de estudio no se reconoce la presencia bloques caídos, pero esa es una característica que presenta la Formación San Gregorio en la Cuenca Norte (Goso 1995; De Santa Ana 2004), como asimismo su unidad correlativa en la Cuenca Paraná (Arab *et al.* 2009; Rocha-Campos & Sundaram 1981).

Las facies de ritmitas (*R*) pueden generarse mediante corrientes de turbidez de baja densidad en ambientes glacio-marinos o glacio-lacustres, o bien por una sedimentación estacional en lagos glaciares (varves), siendo la distinción entre ambos procesos muy compleja (Assine & Vesely 2008). En el caso de corresponderse con depósitos turbidíticos, ambas capas son transportadas al sitio de depositación en el mismo tiempo (Smith & Ashley 1985). En tanto, en los varves, las capas de pelitas son producto de procesos de decantación constantes y las capas limo-arenosas puede variar el espesor de acuerdo al tiempo y energía de los flujos de fondo (Smith & Ashley 1985).

La Formación San Gregorio presenta una asociación de facies granodecreciente en ambas perforaciones, con la presencia de facies de diamictitas en la base de la unidad, intercalaciones de facies de areniscas y ritmitas en el tramo medio y facies finas en el tope. Según Assine & Vesely (2008) los ambientes fluvio-glaciales y glacio-lacustres presentan una distribución granodecreciente ascendente como resultado de los avances del glaciar y los retrocesos en períodos de desglaciación que resultan en planicies de *outwash*, con procesos de

flujos gravitacionales y/o sistemas fluviales asociados, culminando con facies lacustres por encima.

La sedimentación en un ambiente glacio-lacustre (Fig. 8.1), podría tomarse como un modelo más acertado para la contextualización de las facies descritas en este trabajo. Assine & Vesely (2008), plantean un modelo esquemático con dos situaciones para este ambiente: siendo un lago proximal en contacto con el glacial (Fig. 8.1: A), o bien un lago distal conectado por sistema fluvial (8.1: B), el cual es generado por una pluma de sedimentos en suspensión al ingresar al lago. Predominando los procesos de tracción-sedimentación y de resedimentación, que resultan en facies de diamictitas estratificadas y areniscas, con gran representatividad. Presentando en la región más distal del lago, facies de turbiditas de baja densidad, ritmitas y/o pelitas alternando procesos de resedimentación y tracción-decantación.

Para la perforación Yaguarón Chico E1, en el tramo medio de la unidad fue posible observar un arreglo granocreciente de las facies de areniscas (facies más representativas de la Formación San Gregorio, en la perforación), en la que fueron identificadas estructuras que pueden dar la pauta de un sistema fluvial que conecta un lago distal.

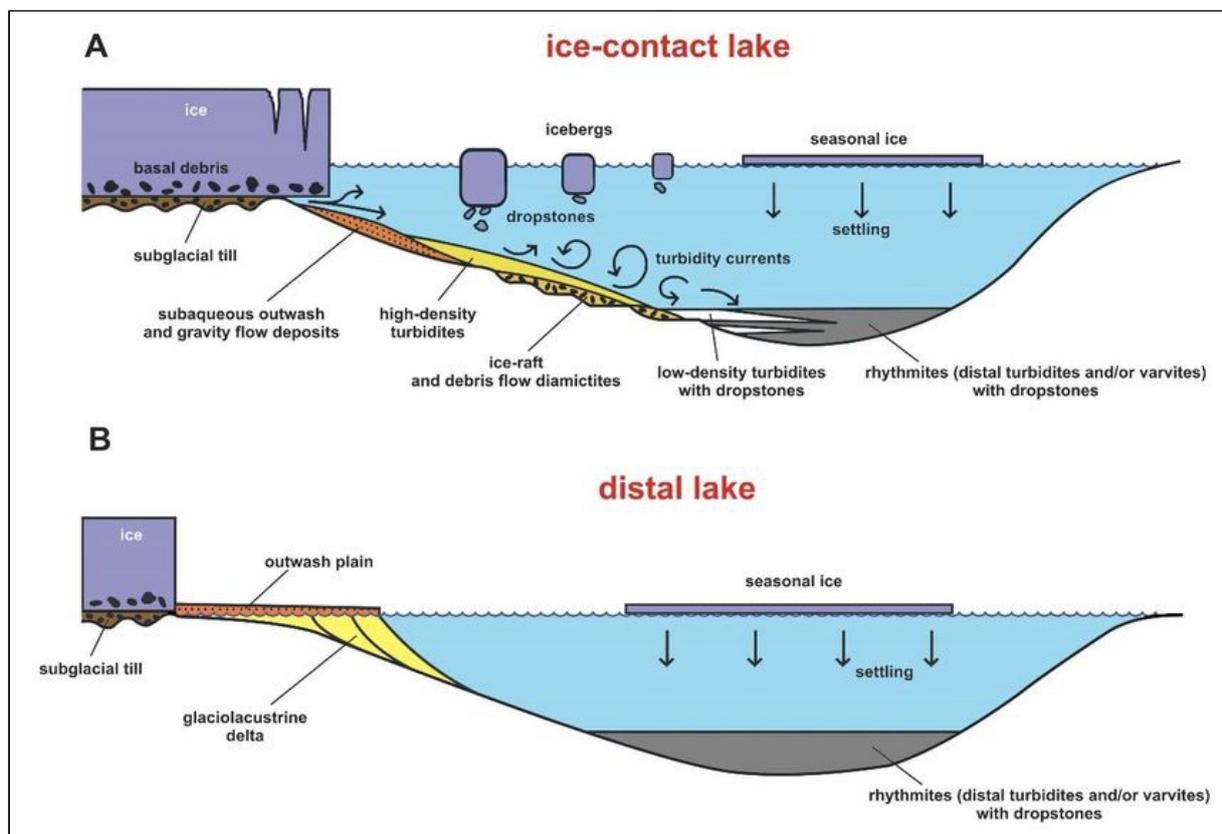


Fig. 8.1: Sedimentación en lagos glaciales. Tomado de Assine & Vesely (2008).

A: Lago proximal en contacto con el glaciar. **B:** Lago distal conectado por sistema fluvial.

Para la sedimentación de un ambiente glacio-marino en tanto (Fig. 8.2), predominan los procesos de tracción, de "rain out" (lluvia de detritos), y resedimentación talud abajo,

resultado en potentes paquetes de diamictitas masivas en la región subglacial producto del agua de deshielo. En tanto, en regiones proximales y distales resultan estructuras de flujos gravitacionales, con mayor presencia de finos sobre las facies de diamictitas y areniscas según el modelo Assine & Vesely (2008); lo cual no se ajusta tan claro con el predominio descrito de las facies de diamictitas estratificadas y las facies de areniscas, en ambas perforaciones para la unidad.

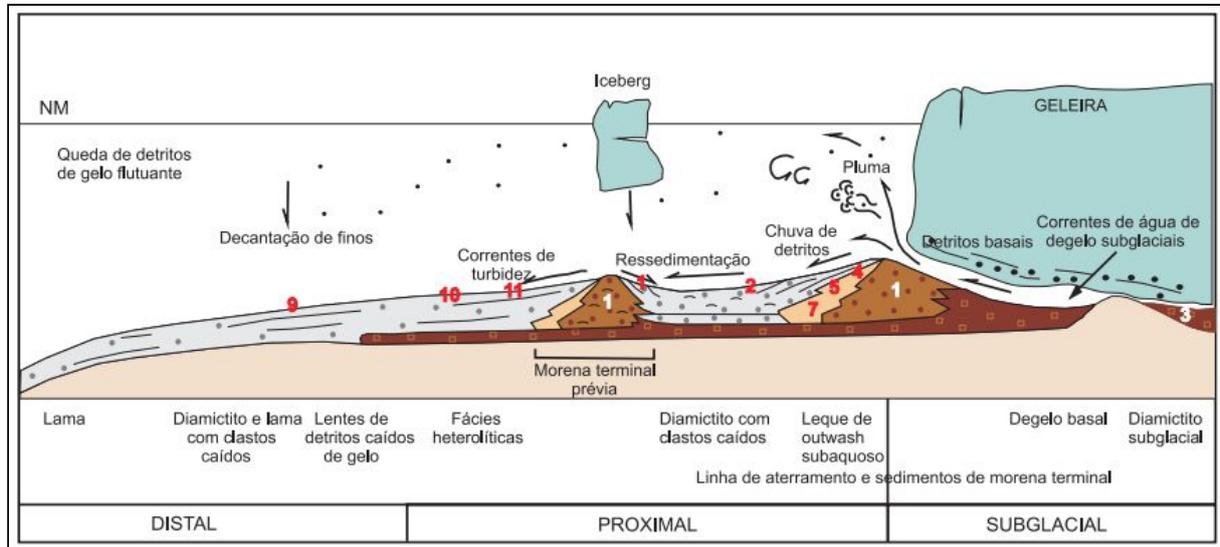


Fig. 8.2: Sedimentación en sistemas glacio-marinos. Tomado de Assine & Vesely (2008).

CICLO DELTAICO-MARINO

El ciclo deltaico-marino comprende las unidades formales Tres Islas y Frayle Muerto. La Formación Tres Islas presenta una asociación de facies esencialmente de areniscas y areniscas-conglomerádicas, con intercalaciones de pelitas y lutitas carbonosas, en las que el arreglo típicamente granocreciente de los sistemas deltaicos no es fácilmente reconocible, aunque algo más claro en la perforación Yaguarón Chico E1.

La complejidad de los sistemas deltaicos, con condiciones no uniformes, en los que se pueden encontrar sedimentos diferentes y secuencias verticales variables, es ampliamente analizada por Arche (2010), Törnqvist *et al.* (2008) y Porebski & Steel (2006). Estos autores resaltan que el abordaje de los sistemas deltaicos antiguos, en base al actualismo, se ha convertido en un ejercicio simplificado que no contempla la variabilidad espacio-temporal de los procesos que controlan la evolución de los mismos. En general, el resultado final suele ser una sucesión compleja con numerosas secuencias granocrecientes individuales con aumento en el contenido de arena hacia el tope, donde se reconocen estructuras de tipo *ripple*, laminación paralela y estructuras *cut-and-fill* (Arche 2010).

Las facies sedimentarias de areniscas con laminación cruzada son interpretadas como depósitos de carga de fondo arenoso, resultado de la migración de dunas 3D y/o migración de

barras transversales, originadas por flujos diluidos traccionales, newtonianos y turbulentos (Collinson *et al.* 2006; Leeder 1999; Collinson & Thompson 1989; Miall 1978).

Por su parte, según Collinson *et al.* (2006) y Miall (1978) los *ripples* representan condiciones de bajo régimen de flujo y procesos de tracción; las facies de areniscas con laminación horizontal (*Sh*) representan condiciones de alto régimen de flujo y lecho plano, producto de la disminución de la lámina de agua; las facies de areniscas-gravillosas son resultado de flujos sub-acuáticos traccionales, newtonianos y turbulentos; y las unidades heterolíticas representan la alternancia de procesos de tracción y decantación en un medio subacuático.

En ambas perforaciones, las facies sedimentarias de lutitas carbonosas (*C*) se ubican en la mitad superior de la unidad, con espesores en general centimétricos. Tradicionalmente, los deltas han sido propuestos como medios de acumulación de carbón; sin embargo, debe tenerse en cuenta que la realidad es mucho más compleja y la validez de muchos modelos aceptados es discutible (Arche 2010; McCabe 1984).

En general, la formación de carbón o de capas con alto contenido de materia orgánica suele asociarse con la acumulación de restos orgánicos en las partes abandonadas de un delta que son recubiertos por la lámina de agua durante pulsos transgresivos del nivel del mar, pudiendo por tanto ser utilizados como indicadores de la ubicación de la paleo-línea de costa (Arche 2010; McCabe 1984; McBride & Caffey 1979; Horne *et al.* 1978; Allen 1970) (Fig. 8.3). Para el caso de estudio, los eventos transgresivos se asocian a la ingresión del mar Palermo (Frayle Muerto).

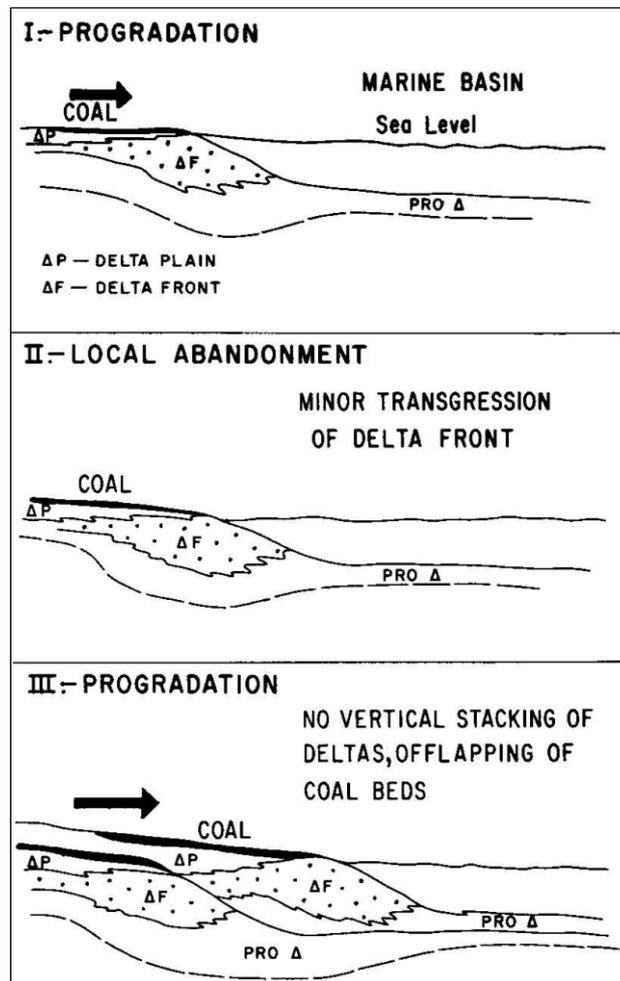


Fig. 8.3: Modelo de sedimentación de carbón en ambientes deltaicos, tomado de McBride & Caffey (1979).

Para los depósitos de carbón de la Formación Río Bonito (Cuenca Paraná), unidad correlativa a la Formación Tres Islas, la propuesta más tradicional se corresponde con un sistema deltaico altamente constructivo que avanza sobre un cuerpo de agua salada (Fig. 8.4), en el que existe una estrecha relación entre las condiciones paleogeográficas y tectónicas de la cuenca (Holz *et al.* 2000; Poop 1983; Daemon & Quadros 1969).

Estos depósitos de carbón, se asocian con pulsos transgresivos-regresivos del “*Mar Palermo*”, que se reiteran de manera cíclica, en un contexto tectono-estratigráfico de reactivación del espacio de acomodación y posterior transgresión marina (Holz *et al.* 2000) (Fig. 8.4).

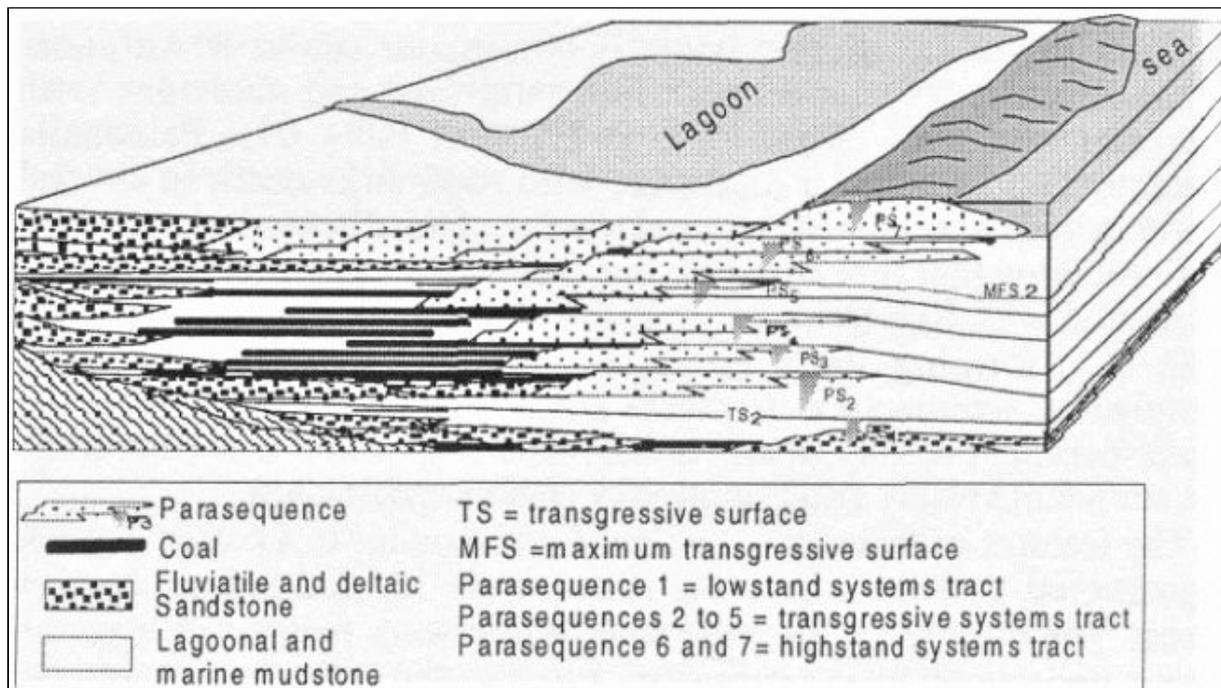


Fig. 8.4: Representación esquemática del modelo depositacional de carbón, región de Candiota, tomado de Holz *et al.* (2000).

En tanto, las litologías reunidas en la Formación Frayle Muerto se corresponden con una asociación de facies marinas asociadas al último evento transgresivo de la Cuenca Norte (mar Palermo en la Cuenca Paraná) (Fig. 8.4).

En ambas perforaciones, en la base de la unidad Frayle Muerto, ocurren espesos paquetes de litofacies constituidas por la alternancia de lutitas y areniscas (*MS*), las cuales según Ghibaudo (1992), son el resultado de bajas tasas de sedimentación, asociadas a procesos de tracción de arena muy fina a media y decantación de finos en condiciones de lecho ondulítico o plano y bajo régimen de flujo.

Las facies de areniscas con laminación de bajo ángulo (*St*) pueden ser producto de sucesivas corrientes de turbidez de alta densidad, que generan formas de lecho similares a dunas; pudiendo presentar guijarros por retrabajo y tracción de una capa subyacente (Ghibaudo, 1992).

Las facies sedimentarias de areniscas (*St*), pueden tener una génesis asociada a flujos canalizados profundos, producto de procesos de tracción que generan barras arenosas (Leeder 1999; Collinson & Thompson 1989; Miall 1978).

Las facies sedimentarias de ritmitas en ambientes marinos (*R*), pueden ser resultado de flujos turbidíticos de baja densidad (Mutti 1992; Smith & Ashley 1985; Lowe 1982), reflejando la presencia de nódulos de pirita condiciones de bajo contenido de oxígeno del ambiente.

Las facies de unidades heterolíticas con elevada bioturbación (*Ht_b*), en cuanto a procesos sedimentarios, marcan la influencia de procesos de tracción-decantación en ambientes de plataforma con una lámina de agua menos profunda que la que corresponde a las facies antes mencionadas (Ghibaudo 1992). Estas unidades con elevada bioturbación son un rasgo distintivo de la unidad, tanto en la Cuenca Norte como en la unidad correlativa, Formación Palermo, de la Cuenca Paraná (Milani *et al.* 2007). Las lutitas de color gris oscuro-negro constituyen un horizonte regional de correlación asociados a la máxima inundación de la supersecuencia Gondwana I (Milani 1997).

CICLO MARINO-TRANSICIONAL

El ciclo marino-transicional incluye las unidades formales Mangrullo, Paso Aguiar y Yaguari. Las facies sedimentarias identificadas en la Formación Mangrullo que se corresponden con una plataforma homoclinal, con sedimentación mixta de tipo siliciclástica y carbonática (Oishi *et al.* 2019; Araújo 2001; De Santa Ana & Gutiérrez 2000).

Las facies sedimentarias reconocidas en este trabajo para la Formación Mangrullo se presentan en dos ciclos (Tabla 10), de manera consistente con lo planteado por De Santa Ana & Gutiérrez (2000) (Fig. 8.5). Con relación a las unidades heterolíticas identificadas en este trabajo, si bien no aparecen en el cuadro resumen de De Santa Ana & Gutiérrez *op cit*, si son descritas en el trabajo, mencionando que ocurren en espesores métricos.

<i>capa</i>		<i>Litología</i>
<i>C</i>	<i>C2</i>	lutita pirobituminosa (1a)
	<i>C1</i>	Calcilutita y calizas dolomíticas
<i>B</i>		Pelitas grises y negras micáceas
<i>A</i>	<i>A2</i>	Lutitas pirobituminosas (2a)
	<i>A1</i>	Calcilutitas y calizas dolomíticas

Fig. 8.5: Propuesta para las litologías presentes en la Formación Mangrullo, tomado de De Santa Ana & Gutiérrez (2000).

Tabla 10: Facies sedimentarias identificadas en este trabajo para la Formación Mangrullo.

	FACIES SEDIMENTARIAS	CÓDIGO
Ciclo Superior	Lutitas con materia orgánica (tipo kerógeno)	<i>Lh_k</i>
	Facies Heterolíticas	<i>Ht</i>
	Calcilutitas con estructuras de capas rotas y bioturbadas; calcilutitas con laminación horizontal	<i>L_db;</i> <i>Lh_c</i>
	Limo-arcillitas laminadas	<i>Fl</i>
Ciclo Inferior	Lutitas con materia orgánica (tipo kerógeno)	<i>Lh_k</i>
	Facies Heterolíticas	<i>Ht</i>
	Calcilutitas con estructuras de capas rotas y bioturbadas; calizas masivas	<i>L_db;</i> <i>Mm</i>

Las facies carbonáticas (Tabla 10) se corresponden con momentos de mayor calidez en el ambiente y menor aporte siliciclástico, siendo el resultado de procesos de precipitación química (Oishi *et al.* 2019).

Las facies con bioturbación y estructuras de capas rotas (Tabla 10), reflejan las condiciones del ambiente en cuanto al sistema biótico, las diferencias de competencia de las capas debido al comportamiento hidro-plástico, y de sus interacciones (Noffke 2010).

Las facies heterolíticas (Tabla 10) pueden ser resultado de la sedimentación proximal en llanuras mareales, asociada a la parte distal de la *middle ramp* (fig. 8.6). Las corrientes o la acción de las olas generan ondulitas de corriente (arenas/limos), mientras que en momentos de quietud decantan los finos; estas condiciones alternantes se da en zonas intermareales y sub-mareales (Reineck & Wunderlich 1968).

Las facies de lutitas con contenido de materia orgánica de tipo kerógeno (Tabla 10) se corresponden con áreas de sedimentación orgánica en condiciones de restricción y baja energía, asociados a sistemas de lagoons, lagos o llanuras de marea (Oishi *et al.* 2019; Reineck & Wunderlich 1968). La presencia de azufre diseminado puede reflejar condiciones anóxicas del ambiente, como también pueda ser asociado a cenizas volcánicas (James & Dalrymple 2010). La presencia de cenizas volcánicas ha sido expuesta para la Formación Mangrullo en diversos trabajos (De Santa Ana *et al.* 2006; De Santa Ana & Gutiérrez 2000), y en la unidad correlativa de la Cuenca Paraná / Formación Iratí (Milani *et al.* 2007; Santos *et al.* 2006).

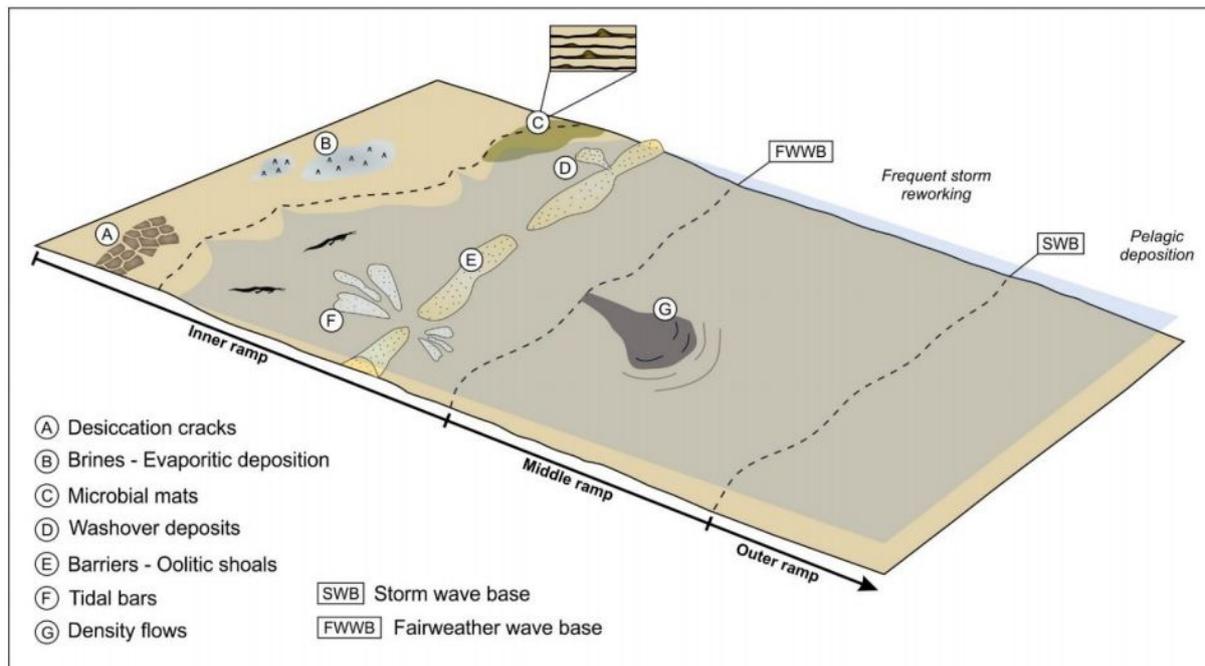


Fig. 8.6: Modelo geológico para la Formación Iratí en el sector norte de la Cuenca Paraná, tomado de Oishi *et al.* (2019).

Este mix de facies plataformales tanto siliciclásticas como carbonáticas son constantes a lo largo de la Cuenca Paraná en la Formación Iratí, unidad correlativa a la Formación Mangrullo (Oishi *et al.* 2019; Araujo 2001; De Santa Ana & Gutiérrez 2000). Estos depósitos se observan a lo largo de la Cuenca Paraná, con un predominio de las facies de carbonatos y evaporitas en el norte de la cuenca y de los “esquistos bituminosos” en el sur (Oishi *et al.* 2019; Milani *et al.* 2007; Araújo 2001).

Las facies sedimentarias reconocidas para la Formación Paso Aguiar se corresponden a grandes rasgos con la propuesta de De Santa Ana (2004), quien las agrupa como una asociación de facies de plataforma. Las unidades heterolíticas, tanto lenticulares como *wavy*, reflejan condiciones de bajo energía producto de procesos de tracción y decantación, con influencia mareal (Reineck & Wunderlich 1968). Por su parte, las facies de limo-areniscas con laminación horizontal, pueden ser el resultado de corrientes canalizadas en lecho plano bajo condiciones de régimen de flujo alto (Leeder 1999; Miall 1978). En ambas facies fue observada la presencia de pequeños nódulos de pirita (menor o igual a 1 mm), la cual refleja condiciones de bajo contenido de oxígeno en el ambiente.

La Formación Yaguarí representa el último subciclo identificado en las perforaciones analizadas, correspondiendo a un ambiente de llanura de mareas (De Santa Ana 2004). Las facies heterolíticas (*Ht_f*; *Ht_w*; *Ht_D*), son las más representativas de la unidad y como fuera expresado son el resultado de procesos alternantes de tracción y decantación (Reineck & Wunderlich 1968).

En ambos perfiles (Yaguarón Chico E1, Soto Goro E2), se puede observar un aumento en el contenido porcentual de arena hacia el tope, con el predominio de estructuras de tipo lenticular en la base y de tipo flaser hacia el tope, en un arreglo granocreciente para la unidad.

9. Conclusiones

Las facies sedimentarias presentes en las perforaciones Yaguarón Chico E1 y Soto Goro E2 (sector este de la Cuenca Norte, Uruguay) se corresponden con las unidades formales que integran el Grupo Cerro Largo, con excepción de las formaciones Cerro Pelado y Buena Vista. Las unidades estratigráficas en ambas perforaciones presentan espesores y facies sedimentarias consistentes entre ellas y con los antecedentes del área.

Un total de 36 facies sedimentarias, desde el punto de vista descriptivo, fueron reconocidas en las perforaciones analizadas. La Formación San Gregorio es la unidad estratigráfica que presenta la mayor diversidad de facies; en tanto, la Formación Paso Aguiar es la que presenta la menor diversidad faciología.

En la Formación San Gregorio fueron identificadas ocho facies sedimentarias, correspondientes a diamictitas masivas (*Dm*), diamictitas estratificadas (*Ds*), diamictitas con estratificación distorsionada (*Dd*), areniscas con estratificación distorsionada (*Sd*), areniscas con laminación cruzada de bajo ángulo (*Sl*), areniscas con laminación de tipo *ripple* (*Sr*), ritmitas (*R*) y Lutitas (*L*). Las facies de diamictitas son las más representativas de la unidad en la perforación Soto Goro E2; en tanto, las facies de areniscas con estructuras deformacionales son las más representativas en la perforación Yaguarón Chico E1. En ambas perforaciones el perfil de la unidad es granodecreciente. Esta gran diversidad de facies conforman el Ciclo glaciogénico; para las cuales, una asociación de facies dada en un paleoambiente glacio-lacustre es la más representativa.

En la Formación Tres Islas fueron identificadas seis facies sedimentarias, correspondientes a areniscas conglomerádicas masivas (*SGm*), areniscas conglomerádicas con gradación normal (*SGn*), areniscas con estratificación cruzada (*St*), areniscas con laminación horizontal (*Sh*), facies heterolíticas (*Ht*) y lutitas carbonosas (*C*). Las facies de areniscas son las más representativas, correspondiendo a casi el 90 % del espesor total de la unidad. Las facies de lutitas carbonosas se desarrollan en la mitad superior de la unidad. Estas facies conforman el Ciclo deltaico-marino; del cual las facies expuestas en ésta unidad representan un momento de generación de nuevo espacio de acomodación, siendo interpretadas en un paleoambiente deltaico.

En la Formación Frayle Muerto fueron identificadas seis facies sedimentarias, correspondientes a areniscas con estratificación cruzada (*St*), areniscas con laminación cruzada de bajo ángulo (*Sl*), alternancia de areniscas y pelitas (*MS*), unidades heterolíticas con elevada bioturbación (*Ht_b*), ritmitas (*R*) y limo-arcillitas laminadas (*Fl*). Las facies representadas por la alternancia de areniscas y pelitas se ubican en la base de la unidad; en tanto hacia el tramo medio predominan los términos arenosos y hacia el tope las facies heterolíticas con elevada bioturbación. Esta facies conforman el Ciclo deltaico-marino,

presentando una asociación de facies en un paleoambiente marino, las cuales se corresponden al momento de mayor lámina de agua para toda la Cuenca Paraná.

En la Formación Mangrullo fueron identificadas seis facies sedimentarias, correspondientes a: calcilutitas con laminación horizontal (*Lh_c*), calizas masivas (*Mm*), calcilutitas con estructuras de capas rotas y bioturbadas (*L_db*), facies heterolíticas (*Ht*), limo-arcillitas laminadas (*Fl*) y lutitas pirobituminosas (*Lh_k*). Las litofacies observadas se presentan en dos ciclos separados por las litofacies de limo-arcillitas laminadas. Los ciclos están conformados, de base a tope, por calcilutitas con estructuras de capas rotas y bioturbadas, calizas masivas o calcilutitas con laminación horizontal, unidades heterolíticas y lutitas pirobituminosas. Estas facies pertenecen al Ciclo marino-transicional; presentando un mix de facies plataformales siliciclásticas como carbonáticas, dadas en un contexto paleoambiental de plataforma homoclinal.

En la Formación Paso Aguiar fueron identificadas cuatro facies sedimentarias, denominadas: limo-areniscas con laminación horizontal (*Sh*), limo-arcillitas laminadas (*Fl*), unidades heterolíticas con estratificación *wavy* y lenticular (*Ht_wl*) y otras. En ambas perforaciones se observa un aumento en el contenido de arena hacia el tramo superior de la unidad. Estas facies pertenecen al Ciclo marino-transicional; con una asociación de facies dada en un paleoambiente plataformal somero.

En la Formación Yaguarí fueron identificadas seis facies sedimentarias, correspondientes a: areniscas con laminación de tipo *ripple* (*Sr*), areniscas con laminación horizontal (*Sh*), unidades heterolíticas con estructura *flaser* (*Ht_f*), unidades heterolíticas con estructura *wavy* (*Ht_w*), unidades heterolíticas con estructura lenticular (*Ht_l*) y limolitas (*F*). Las facies heterolíticas son las más representativas de la unidad, observándose un incremento en el contenido de arena hacia el tope de la misma. Estas facies pertenecen al Ciclo marino-transicional; siendo entendida su asociación en un paleoambiente de llanura mareal.

De esta manera, los perfiles estratigráficos de ambas perforaciones reflejan un arreglo transgresivo-regresivo, en el cual, de base a tope se reconocen tres ciclos: glaciogénico, deltaico-marino y marino-transicional; para los registros Carbonífero-Pérmicos de la Cuenca Norte.

Bibliografía

A

Allen J.R.L. (1970): *Sediments of the modern Niger Delta: a summary and review.* society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publications, 15, 138 - 151.

Alvarez W. & De Souza-Rocha R. (2010): Ficha temática 5. Material complementario Geografía. Serie Nuevamente. *Editorial Santillana.* pp. 3- 4.

Andreis R.R., Ferrando L., Montaña J. (1993): *Facies, paleoambientes y cronoestratigrafía no subsolo do setor nordeste da bacia gondwânica uruguaia.* Res. Exp. I SIMPOSIOS SOBRE CRONOESTRATIGRAFÍA DA BACIA DO PARANÁ, 39 - 40, Rio Claro.

Andreis R.R., Anzótegui L.M., Ferrando L.A., Herbst R., Mautino L.R. (1996 a): *Litofacies, paleoambientes y paleontología de la Formación Melo (Pérmico Inferior) en Arroyo Seco, Dpto. de Rivera, República Oriental del Uruguay: Partes I y II.* Ameghiniana 33 (3): pp 243- 264.

Andreis R.R., Ferrando L.A., Herbst R. (1996 b): *Terrenos carboníferos y pérmicos de la República Oriental del Uruguay.* pp. 309- 343 de Archangelsky S. (ed): *El Sistema Pérmico en la República Argentina y en la República Oriental del Uruguay.* Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.

Arab P., Perinotto A., Assine M. (2009): *Itararé Group (Permo-carboniferous of the Paraná basin), Limeira and Piracicaba regions, state of São Paulo, southeastern Brazil: Contribution to the lithofacies study.* Geociências. 28. 501-521.

Araújo L.M. (2001): Análise da expressão estratigráfica dos parâmetros de geoquímica orgânica e inorgânica nas Sequências deposicionais Irati. PhD Thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil, 307 p.

Arche A. (2010): *Sedimentología.* Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Assine M. & Vesely F. (2008): *AMBIENTES GLACIAIS.* In: Pedreira A.J., Aragão M.A.N.F., Magalhães A.J., Testa N.. *Ambientes de Sedimentação do Brasil.* Salvador. CPRM. pp. 1- 40.

B

Bossi J. (1966): *Geología del Uruguay.* Depto. Publ. Universidad de la República. Montevideo, 469 p.

Bossi J., Ferrando L., Elizalde G., Morales H., Ledesma J., Carballo E., Ford I., Montaña J. (1975): *Carta Geológica Del Uruguay a escala 1:1.000.000*. Dirección de Suelos y Fertilizantes (MGAP), Montevideo, 32 pp.

Bossi J. & Navarro R. (1988): *Geología del Uruguay*. Depto. Publ. Universidad de la República. Montevideo, 2 Tomos, 966 p.

Bossi J. & Navarro R. (1991): *Geología del Uruguay*. Depto. Publ. Universidad de la República. Montevideo, 970 p.

C

Caorsi J.H. & Goñi J.C. (1958): *Geología uruguaya*. Bol. Inst. Geol. Urug., n°37: pp 1-73.

Cobbold P.R., Massabie A.C., Rossello E.A. (1986): *Hercynian wrenching and thrusting in the Sierras Australes Foldbelt, Argentina*. *Journal of Structural Geology*, 13(7): 743-758.

Collinson J.D. (1969): The sedimentology of the Grindslow Shales and the Kinderscout Grit: a deltaic complex in the Namurian of northern England. *Journal of Sedimentary Petrology*, 39, 194–221.

Collinson J.D. & Thompson D.B. (1989): *Sedimentary Structures*, 207 pp. Allen & Unwin, London.

Collinson J., Mountney N., Thompson D.B. (2006): *Sedimentary Structures*. Terra Publishing, London.

Chebli G., Mozetic M.E., Rossello E.A., Buhler M. (1999): *Cuencas sedimentarias de la llanura Chaco-Paranaense. Geología Regional Argentina*. Secretaría de Minería de la Nación, Buenos Aires, Cap. 20: 627-644.

D

Daemon R.F. & Quadros L.P. (1969): *Bioestratigrafía e palinología do Paleozoico do Bacia do Paraná*. Relatório Interno Petrobrás/De-sul/Setex n°. 384.

De Santa Anta H., Ucha N., Couto H., Triunfo G. (1982): *Evaluación de Yacimientos de Lutitas Pirobituminosas del Uruguay*. ANCAP (inédito), 12 tomos, Montevideo.

De Santa Ana H. (1989): *Consideraciones tectónicas y deposicionales en la Cuenca Norte uruguaya*. Bol. Técnico ARPEL, 18 (4): 319 - 339.

De Santa Ana H., Veroslavsky G., Goso C. (1990): *Reconocimiento de depósitos turbidíticos asociados a la Formación Tres Islas en el área del Cerro de la Valeriana*.

Departamento de Cerro Largo. I Congreso Uruguayo de Geología. Resúmenes, Montevideo, 1:19-24.

De Santa Ana H. & Veroslavsky G. (1993): *Cronoestratigrafía de las secuencias paleozoicas de la Cuenca Norte Uruguaya (borde sureste de la Cuenca de Paraná).* Resúmenes Ampliados I SIMPOSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFÍA DA BACIA DO PARANÁ. P41-43. Rio Claro Brasil.

De Santa Ana H. & Ucha N. (1994): *Exploration perspectives and hydrocarbon potential of the Uruguayan sedimentary basins.* ANCAP. 90 p. (inédito).

De Santa Ana H. & Gutierrez L. (2000): *Formación Mangrullo (Cuenca Norte, Uruguay): estratigrafía y recursos minerales asociados.* Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología 7 p2-14. Montevideo.

De Santa Ana H. (2004): *Análise Tectono-estratigráfica das Sequências Permtriássica e Juro-cretácea da Bacia Chaco-paranaense Uruguiaia (“Cuenca Norte”).* Tese de Doutorado, IGCE-Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Brasil 274 pp.

De Santa Ana H., Goso C., Daners G. (2006): *Cuenca Norte: Estratigrafía del Carbonífero-Pérmico.* In: *Cuencas Sedimentarias de Uruguay.* Geología, Paleontología & Recursos Naturales. Veroslavsky G., Ubilla M. and Martínez S. Eds. D.I.R.A.C.. Montevideo, Uruguay.

E

Elizalde G., Eugi W., Verdesio J., Stapff M., Tellechea J. (1970): *Carta Geológica del Uruguay a escala 1:100.000.* 3 Segmento Acegúa sector XXX, Boletín N° 3, Departamento de Publicaciones Universidad de la República, Montevideo, 127 pp.

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

F

Falconer J.D. (1931): *Memoria Explicativa del mapa geológico de la región sedimentaria del Depto. De Cerro Largo.* Inst. Geol. Perf., Bol. N° 12, 22 pp. Montevideo.

Falconer J.D. (1937): *The Gondwana System of north eastern Uruguay with special reference to the Eo-gondwana beds.* Inst. Geol. Perf., Bol N° 23, 112 pp. Montevideo.

Ferrando L. & Andreis R.R. (1986): *Nueva estratigrafía en el Gondwana de Uruguay.* I Congreso Latinoamericano de Hidrocarburos - Arpel, Actas., Buenos Aires, VI: 295-322.

Fernando L. & Andreis R.R. (1990): *Una nueva localidad de la Formación Melo A° Seco (Dpto. de Rivera, Uruguay); litofacies e interpretación paleoambiental preliminar.* Annual Meeting of the Working Group Project N° 211, IUGS-UNESCO, pp 69-71.

Ferrando L. & Montaña J. (1987): *Hipótesis preliminar sobre la evolución paleogeográfica de la Cuenca de Paraná en Uruguay.* Atas III SIMPOSIO SULBRASILEIRO DE GEOLOGIA, vol. I, 393 - 400, Curitiba.

Fisher W.L. & McGowen J.H. (1976): *Depositional systems in the Wilcox Group of Texas and their relationships to occurrence of Oil and Gas.* Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc., 17, 105-125.

G

Ghibaudo G. (1992): Subaqueous sediment gravity flow deposits: Practical criteria for their field description and classification. *Sedimentology*. 39 (3): 423 - 454.

Goso H. & De Santa Ana H. (1986): *Evolución tectónica y sedimentaria de la Cuenca Norte uruguaya. Modelo preliminar.* LX RANE 1986, Presente y futuro de la exploración de hidrocarburos en las cuencas latinoamericanas, *ARPEL*, 30, Lima.

Goso C.A. & De Santa Ana H. (1994): *Exploration status of Uruguay sedimentary basins.* Oil and Gas Journal, 7: 66-68.

Goso C.A. (1995): *Análise estratigráfica da Formação São Gregorio na borda leste da Bacia Norte uruguiaia.* Dissertação de Mestrado, IGCE - Unesp, Rio Claro, SP, 214 p. (inédito).

Goso C.A., Veroslavsky G., De Santa Ana H. (1996): *Modelo estratigráfico seqüencial da Bacia Norte Uruguiaia.* XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, Salvador, pp. 159- 161.

Gressly A. (1838): *Observations géologiques sur le Jura Solenoid.* Neu Denkschr. all. schweiz. Ges. ges. Nature. 2, 1 - 112.

Guillemain C. (1911): *Zur Geologie Uruguays.* Zeitsch. Deutsh. Geol. Ges., Bd. 63: 203 -220. Berlin.

H

Haq B.U., Hardenbol J., Vail P.R. (1988): *Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphy and eustatic cycles*, pp. 71-108 de Wilgus C.K., Hasting B.S., Posamentier H., Wagoner J.V., Ross C.A. Kendall C.G. (eds): *Sea-level changes: an integrated approach.* Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publications, 42.

Holz M., Vieira P., Kalkreuth W. (2000): *The Early Permian coal-bearing succession of the Paraná Basin in southernmost Brazil: depositional model and sequence stratigraphy.* Revista Brasileira de Geociências. 30 (3), pp. 424- 426.

Horne J.C., Ferm J.C., Caruccio F.T., Baganz B.P. (1978): *Depositional Models in Coal Exploration and Mine Planning in Appalachian Region.* Bulletin AAPG: 62 (12): pp. 2379- 2411.

J

James N. & Dalrymple R. (2010): *Facies Models.* Newfoundland: Geological Association of Canada.

L

Lambert R. (1941): *Estado actual de nuestros conocimientos sobre la Geología de la República Oriental del Uruguay.* Inst. Geol. Urug. Bol. N° 28. 89 pp. Montevideo.

Leeder M.R. (1999): *Sedimentology and Sedimentary Basins: from Turbulence to Tectonics.* Blackwell Science, Oxford. U.K. Blackwell. 592 pp.

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, 52: 279-297.

M

Maahs R., Kuchle J., Scherer C.M.d.S., Alvarenga R.d.S. (2019): *Sequence stratigraphy of fluvial to shallow-marine deposits: The case of the early Permian Rio Bonito Formation, Paraná Basin, southernmost Brazil.* Brazilian Journal of Geology. v. 49, n. 4. pp. 1- 21.

McBride E.F. & Caffey K.C. (1979): *Geological report on Upper Cretaceous coal-bearing rocks.* Río Escondido Basin, Coahuila, Mexico. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. v. 40, n. 1 y 2, p. 21 - 47.

McCabe P.J. (1984): *Depositional environments of coal and coal-bearing strata.* In: *Sedimentology of Coal and Coal bearing Sequences* (Eds. Rahmani R.A. & Flores R.M.). Special Publication 7, International Association of Sedimentologists. Blackwell Scientific Publications, Oxford; 13 – 42.

Miall A.D. (1978): Lithofacies types and vertical profile models of braided river deposits, a summary. In: A.D. Miall (ed.), *Fluvial Sedimentology.* Canadian Society of Petroleum Geologists, Calgary, p. 597-604.

Middleton G.V. (1973): *Johannes Walter's Law of Correlations of Facies.* Bull. Geol. Soc. Am., 84, 979 - 988.

Milani E.J. (1997): *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental*. 2 v. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

Milani E.J. & Ramos V.A. (1998): *Orogenias Paleozóicas no Domínio Sul-ocidental do Gondwana e os Ciclos de Subsidência da Bacia do Paraná*. Revista Brasileira de Geociências, 28(4):473-484.

Milani E.J., Melo J.H.G., Souza P.A., Fernandes L.A., França A.B. (2007): *Bacia do Paraná*. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro 15 (2), 265–287.

Mutti E. (1981): *Analisi di facies*. En F. Ricchi-Lucchi (ed.), *Sedimentologia*. Cooperativa Libreria Universitaria Editrice, Bologna, 3, 22-29.

Mutti E. (1992): *Turbidite Sandstones*. Parma, Agip and Università di Parma 275 p.

N

Noffke N. (2010): *Geobiology. Microbial mats in sandy deposits from the Archean Era to today*. Elsevier. 194 pp.

O

Oishi A., Pereira E., Bastos L., Fragoso D. (2019): *Facies Analysis Applied To Irati Formation In The Northern Area Of The Paraná Basin, Goiás State-a Contribution For A Depositional Model*. 10.12957/jse.2019.39823.

P

Panario D. (1988): *Geomorfología del Uruguay*. Facultad de Humanidades y Ciencias, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.

Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R. (1987): *Sand and Sandstone*, 617 pp. Springer-Verlag, Berlin.

Popp J.H. (1983): *Fácies, Ambientes e Carvões na Formação Rio Bonito, no sul do Estado do Paraná: Uma Análise Estratigráfica*. Revista Brasileira de Geociências. (In): 13(1): 27-36.

Porębski S.J. & Steel R.J. (2006): *Deltas and Sea-Level Change*. Journal of Sedimentary Research. 76. 390-403. 10.2110 / jsr.2006.034.

Preciozzi F., Spoturno J., Heinzen W., Rossi P. (1985): *Carta geológica del Uruguay* (1:500.000). D.I.N.A.MI.GE.- M.I.E. Montevideo, 90 pp.

R

Reading H.G. & Levell B.K. (1996): Controls on the sedimentary record In: *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy* (Ed. Reading H.G.). Blackwell Science, Oxford; 5–36.

Reineck H.E. & Wunderlich F. (1968): *Classification and Origin of Flaser and Lenticular Bedding*. *Sedimentology*. 1968; 11(1-2): 99 - 104.

Rocha-Campos A.C. & Sundaram D. (1981): Geological and palynological observations on Late Paleozoic varvites from the Itararé Subgroup, Paraná Basin, Brazil. In: 2º Congresso Latino-americano de Paleontologia, Porto Alegre, 257-275.

S

Santos R.V., Souza P.A., Alvarenga C.J.S., Dantas E.L., Pimentel M.M., Oliveira C.G., Araújo L.M. (2006): *Shrimp U-Pb Zircon dating and palynology of bentonitic layers from the Permian Irati Formation, Paraná Basin, Brazil*. *Gondwana Research*, Osaka, v. 9, p. 456-463.

Selley R.C. (1970): *Ancient Sedimentary Environments*. Chapman & Hall 237 pp.

Smith N.D. & Ashley G.M. (1985): Proglacial lacustrine environments. In: Ashley G.M., Shaw J., Smith N.D. (ed.) *Glacial Sedimentary Environments*. Tulsa, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Short Course 16), 135-216.

Soto M., (2014): *Geología, geofísica y geoquímica de la región de Pepe Núñez Cuenca Norte (Uruguay)*. Tesis de Maestría. PEDECIBA Geociencias, Facultad de Ciencias, UdelaR.

Stow D.A.V. (2010): *Sedimentary Rocks In The Field*. Burlington, MA: Elsevier, Academic Press.

T

Törnqvist T.E., Wallace D.J., Storms J.E.A., Wallinga J., Van Dam R.L., Blaauw M., Dersen M.S., Klerks C.J.W., Meijneken C., Snijders E.M.A. (2008): *Mississippi Delta subsidence primarily caused by compactation of Holocene strata*. *Nature Geoscience*, 1, 173 - 176.

V

Vail P. R., Mitchum R. M., Thompson S. (1977): Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea level from coastal onlap. In: PAYTON, C. E. (Ed.). *Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 1977. p. 63-81. (AAPG. Memoir, 26).

Vera Torres J. (1994): *Estratigrafía. Alcorcón* (Madrid): Rueda.

Veroslavsky G., Ubilla M., Martínez S. (2006): *Cuencas sedimentarias de Uruguay*. Montevideo, Uruguay: D.I.R.A.C.

W

Walther J. (1894): *Einleitung in die Geologischen Historische Wissenschaft, Bd 3, Lithogenesis der Gegenwart*. Fischer-verlag, Jena; 535–1055.

White I.C. (1908): *Relatório final da Comissão do Estudos de Carvão de Pedra do Brasil*. Rio de Janeiro.

Z

Zalán P.V., Wolff S., Astolfi M.M., Vieira I.S., Conceição J.C., Appi V.T., Neto E.V., Cerqueira J., Marques A. (1990): *The Paraná Basin, Brazil*, pp. 681-708.