



**Facultad de Ciencias Geológicas**  
**Universidad Complutense de Madrid**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN**  
**EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS Y**  
**RECURSOS MINERALES**

**Curso 2024-2025**

**Estratigrafía y análisis de facies del Grupo Retama (Carbonífero Inferior)**  
**en el Bloque Lliquimuni del Subandino Norte de Bolivia**

Stratigraphy and facies analysis of the Retama Group (Lower Carboniferous) in the  
Lliquimuni Block of the Northern Subandean of Bolivia

**FREDDY NELSON QUENTA MAMANI**

TUTOR DEL TRABAJO: AGUSTÍN PIEREN PIDAL



**Facultad de Ciencias Geológicas**  
**Universidad Complutense de Madrid**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN**  
**EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS Y**  
**RECURSOS MINERALES**

**Curso 2024-2025**

**Estratigrafía y análisis de facies del Grupo Retama (Carbonífero Inferior)**  
**en el Bloque Lliquimuni del Subandino Norte de Bolivia**

Stratigraphy and facies analysis of the Retama Group (Lower Carboniferous) in the  
Lliquimuni Block of the Northern Subandean of Bolivia

**FREDDY NELSON QUENTA MAMANI**

TUTOR DEL TRABAJO: AGUSTÍN PIEREN PIDAL



# Facultad de Ciencias Geológicas

## Universidad Complutense de Madrid

### DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

Yo, Freddy Nelson Quenta Mamami con NIE Y9983384H, estudiante de Máster Universitario en Exploración de Hidrocarburos y Recursos Minerales en la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid en el curso 2024 -2025, como autor del trabajo de fin de máster titulado “Estratigrafía y análisis de facies del Grupo Retama (Carbonífero Inferior) en el Bloque Lliquimuni del Subandino Norte de Bolivia, y presentado para la obtención del título correspondiente, cuyo tutor es: Agustín Pieren Pidal.

**DECLARO QUE:** El trabajo de fin de máster que presento está elaborado por mí y es original. No copio, ni utilizo ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones de cualquier obra, artículo, memoria, o documento (en versión impresa o electrónica), sin mencionar de forma clara y estricta su origen, tanto en el cuerpo del texto como en la bibliografía. Así mismo declaro que los datos son veraces y que no he hecho uso de información no autorizada de cualquier fuente escrita de otra persona o de cualquier otra fuente. De igual manera, soy plenamente consciente de que el hecho de no respetar estos extremos es objeto de sanciones universitarias y/o de otro orden.

En Madrid, a 28 de julio de 2025

Fdo.:

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco sinceramente a mi tutor, Agustín Pieren, por su guía, dedicación y constante apoyo a lo largo de este trabajo.

A los profesores y compañeros del Máster en Exploración de Hidrocarburos y Recursos Minerales, por los conocimientos compartidos y las valiosas enseñanzas durante mi estancia en Madrid, España.

A mi familia, por su apoyo incondicional y su permanente motivación.

Y al Centro Nacional de Información Hidrocarburífera (CNIH) de YPF, por facilitar el acceso a la información geológica para la realización de este estudio.

## ÍNDICE

1. ASPECTOS GENERALES .....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.3. Ubicación del área de estudio .....	2
2. GEOLOGÍA REGIONAL.....	4
2.1. Geología estructural marco general .....	4
2.1.1. Geología Estructural del Subandino Norte .....	4
2.1.2. Geología Estructural del Bloque Lliquimuni. ....	5
2.2. Síntesis paleogeográfica del Carbonífero de Bolivia .....	5
2.3. Estratigrafía y ambientes de depósito del Carbonífero en Bolivia .....	6
2.4. Estratigrafía del Subandino Norte.....	8
2.4.1. Estratigrafía del área de trabajo, Bloque Lliquimuni.....	9
2.5. Pozos Perforados.....	10
3. METODOLOGÍA .....	11
3.1. Trabajo de gabinete .....	11
3.2. Trabajo de Campo .....	11
3.3. Análisis e interpretación de los datos.....	12
3.4. Síntesis.....	13
4. RESULTADOS .....	14
4.1. Análisis de facies sedimentarias .....	14
4.1. Facies sedimentarias de las Secciones Mal Paso de Retama y Bella Vista .....	15
4.2. Asociaciones de facies del Grupo Retama.....	27
4.2.1. Interpretación Paleoambiental.....	31
4.2.2. Correlación estratigráfica de las secciones del Mal Paso de Retama y la Serranía de Bella Vista.....	32
4.3. Análisis de registros de pozos.....	34
4.3.1. Interpretación de registros gamma ray (GR).....	35
4.3.2. Análisis y correlación entre los pozos LQC-X1 Y TCR-X2.....	39
4.4. Correlación e integración con datos de superficie y subsuelo .....	41
5. Discusión .....	44
5.1. Límites formacionales.....	44
5.2. Modelo paleoambiental del Grupo Retama .....	45
6. CONCLUSIONES .....	47
7. BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXOS .....	50

## RESUMEN

El Subandino Norte de Bolivia ha sido una región poco explorada para la evaluación de su potencial petrolífero en comparación con otras zonas productivas del país como el Subandino Sur, debido a su complejidad estructural, a pesar de su potencial geológico para la acumulación de hidrocarburos.

El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar la estratigrafía y las facies sedimentarias del Grupo Retama (Carbonífero Inferior), mediante la integración de datos de superficie y del subsuelo en el Bloque Lliquimuni. Para ello, se aplicó una metodología multidisciplinaria que incluyó el levantamiento de dos columnas estratigráficas en los afloramientos del Mal Paso de Retama y Bella Vista, así como la interpretación de los registros de gamma ray (GR) de los pozos Lliquimuni Centro-X1 (LQC-X1) y Tacuaral-X2 (TCR-X2).

Los resultados del análisis permitieron reconocer dos formaciones principales dentro del Grupo Retama: la Formación Toregua y la Formación Kaka. Estas formaciones están compuestas principalmente por lutitas, limolitas, areniscas y escasas diamictitas. Las asociaciones de facies indican que el Grupo Retama fue depositado en ambientes sedimentarios transicionales litorales y deltaicos, influenciados por procesos gravitacionales. La correlación estratigráfica entre los datos de superficie y subsuelo permitió identificar variaciones laterales significativas en espesor y facies.

Este estudio contribuye a la comprensión de la evolución paleoambiental del Grupo Retama durante el Carbonífero Inferior en el Subandino Norte, y aporta información relevante para el desarrollo de modelos geológicos regionales. Además, resulta de utilidad para futuras evaluaciones exploratorias en esta zona de interés estratégico para el Estado boliviano, dado que estas unidades constituyen objetivos hidrocarbúferos.

## **ABSTRACT**

The northern sub-Andean region of Bolivia has been a relatively unexplored area in terms of assessing its oil potential compared to other productive areas of the country such as the southern sub-Andean region, due to its structural complexity, despite its geological potential for hydrocarbon accumulation.

The objective of this study is to characterize the stratigraphy and sedimentary facies of the Retama Group (Lower Carboniferous) by integrating surface and subsurface data in the Lliquimuni Block. To this end, a multidisciplinary methodology was applied, which included the survey of two stratigraphic logs in the Mal Paso de Retama and Bella Vista sections, as well as the interpretation of gamma ray (GR) logs from the Lliquimuni Centro-X1 (LQC-X1) and Tacuaral-X2 (TCR-X2) wells.

The results of the analysis allowed us to recognize two main formations within the Retama Group: The Toregua Formation and the Kaka Formation. These formations are mainly composed of shales, siltstones, sandstones, and scarce diamictites. The facies associations indicate that the Retama Group was deposited in transitional coastal and deltaic sedimentary environments, influenced by gravitational processes. The stratigraphic correlation between surface and subsurface data allowed us to identify significant lateral variations in thickness and facies.

This study contributes to the understanding of the paleoenvironmental evolution of the Retama Group during the Lower Carboniferous in the Northern Sub-Andean and provides relevant information for the development of regional geological models. In addition, it is useful for future exploratory evaluations in this area of strategic interest for the Bolivian State, given that these units are hydrocarbon targets.

## **1. ASPECTOS GENERALES**

### **1.1. Introducción**

El Subandino Norte de Bolivia constituye una de las principales provincias geológicas con potencial hidrocarburífero del país, caracterizada por una intensa actividad tectónica compresiva y por el desarrollo de secuencias sedimentarias paleozoicas con fuerte control estructural (Baby et al., 1995).

A diferencia del Subandino Sur, donde históricamente se han concentrado las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos, el Subandino Norte no ha sido una zona tradicionalmente prioritaria, debido a la complejidad de sus estructuras internas. Sin embargo, en los últimos años ha cobrado nuevamente interés, y se han retomado campañas de exploración con el objetivo de evaluar su potencial geológico. Esta reactivación hace aún más relevante el desarrollo de estudios detallados que permitan comprender su estratigrafía y evolución paleoambiental, con miras a identificar formaciones favorables para la acumulación de hidrocarburos.

En este contexto, el Grupo Retama de edad Carbonífero Inferior, representa una unidad siliciclástica ampliamente expuesta en superficie y también presente en el subsuelo, donde solo dos pozos exploratorios han alcanzado unidades pertenecientes a esta unidad. Este Grupo está compuesta predominantemente por lutitas, limolitas, areniscas y diamictitas, y ha sido interpretada como el resultado de ambientes sedimentarios controlados por la dinámica de plataformas marinas someras, ambientes deltaicos y procesos gravitacionales (Suárez Soruco, 2000; Ballivián & Díaz Martínez, 1996).

El análisis estratigráfico y de facies del Grupo Retama permite no solo interpretar la evolución paleoambiental de esta unidad durante el Carbonífero, sino también establecer correlaciones entre afloramientos de superficie y registros de subsuelo, lo cual es clave para la caracterización geológica y exploratoria en zonas estructuralmente complejas como el Bloque Lliquimuni. La integración de datos litológicos y geofísicos, como los registros gamma ray (GR), constituye una herramienta fundamental para inferir la distribución vertical y lateral de las facies, sus límites formacionales y las posibles discontinuidades o transiciones ambientales (Rider & Kennedy, 2011).

A partir de estas consideraciones, el presente trabajo tiene como objetivo establecer un marco estratigráfico detallado del Grupo Retama, reconocer sus asociaciones de facies e interpretar los ambientes sedimentarios dominantes. Para ello, se ha empleado una metodología integrada que combina el análisis de columnas estratigráficas de superficie y la interpretación de registros de gamma ray en pozos exploratorios.

## **1.2. Objetivos**

### **Objetivo general**

Analizar y caracterizar la estratigrafía y las facies sedimentarias del Grupo Retama, correspondientes al Carbonífero Inferior, mediante la integración de datos de superficie y subsuelo del Bloque Lliquimuni, Subandino Norte de Bolivia. Este análisis tiene como finalidad correlacionar las unidades estratigráficas identificadas en ambos conjuntos de datos y evaluar su distribución, continuidad lateral y espesor, con el fin de interpretar su evolución paleoambiental en el contexto regional Andino.

### **Objetivos específicos**

1. Caracterizar las unidades estratigráficas del Grupo Retama en superficie, a partir del análisis y asociación de facies de las columnas estratigráficas Mal paso de Retama y Bella Vista.
2. Interpretar los registros gamma ray (GR) del pozo LQC-X1 y TCR-X2, con el objetivo de identificar los intervalos correspondientes al Grupo Retama y sus límites formacionales.
3. Correlacionar los datos de superficie y subsuelo, evaluando la continuidad, variaciones laterales y sucesión de facies, para proponer un modelo estratigráfico coherente con la evolución sedimentaria del Grupo Retama en el Bloque Lliquimuni.

## **1.3. Ubicación del área de estudio**

El Bloque Lliquimuni se sitúa entre los 15°-16° de latitud S y 66°-67° de longitud W, en el norte del departamento de La Paz, en la unidad morfoestructural del Subandino Norte de Bolivia (Fig. 2). Los afloramientos del estratotipo del Grupo Retama se encuentran en el flanco SW del Sinclinal de Mayaya, donde se realizaron dos levantamientos estratigráficos, uno a lo largo del Río Kaka, en la zona denominada Mal Paso de Retama, y el otro en la Serranía de Bella Vista de Alto Beni, donde presenta un espesor aproximado de 275 m y 185 m respectivamente en superficie. Los pozos Lliquimuni Centro-X1 (LQC-X1) y Tacuaral-X2 (TCR-X2), ubicados en la Serranía de Marimonos, en el flanco NE del Sinclinal de Mayaya, registran espesores del Grupo Retama que varían entre 460 y 256 m respectivamente. (Fig. 1).

El Grupo Retama abarca en esta área el intervalo Fameniense Superior – Serpukhoviense, en Suárez Soruco (2000), que consiste en una unidad litoestratigráfica integrada por dos conjuntos sedimentarios asignados al Devónico Superior y Carbonífero Inferior.

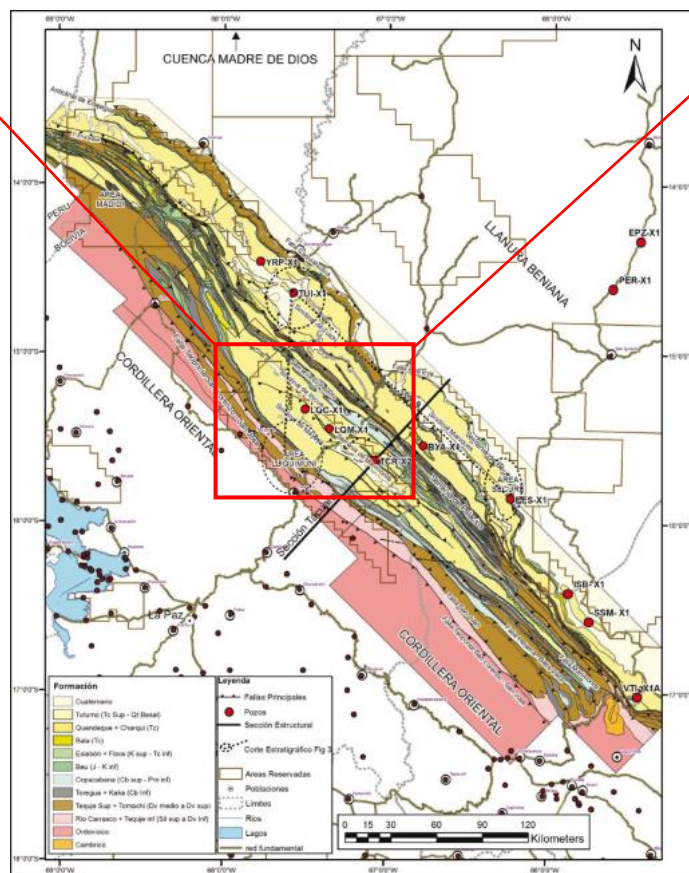
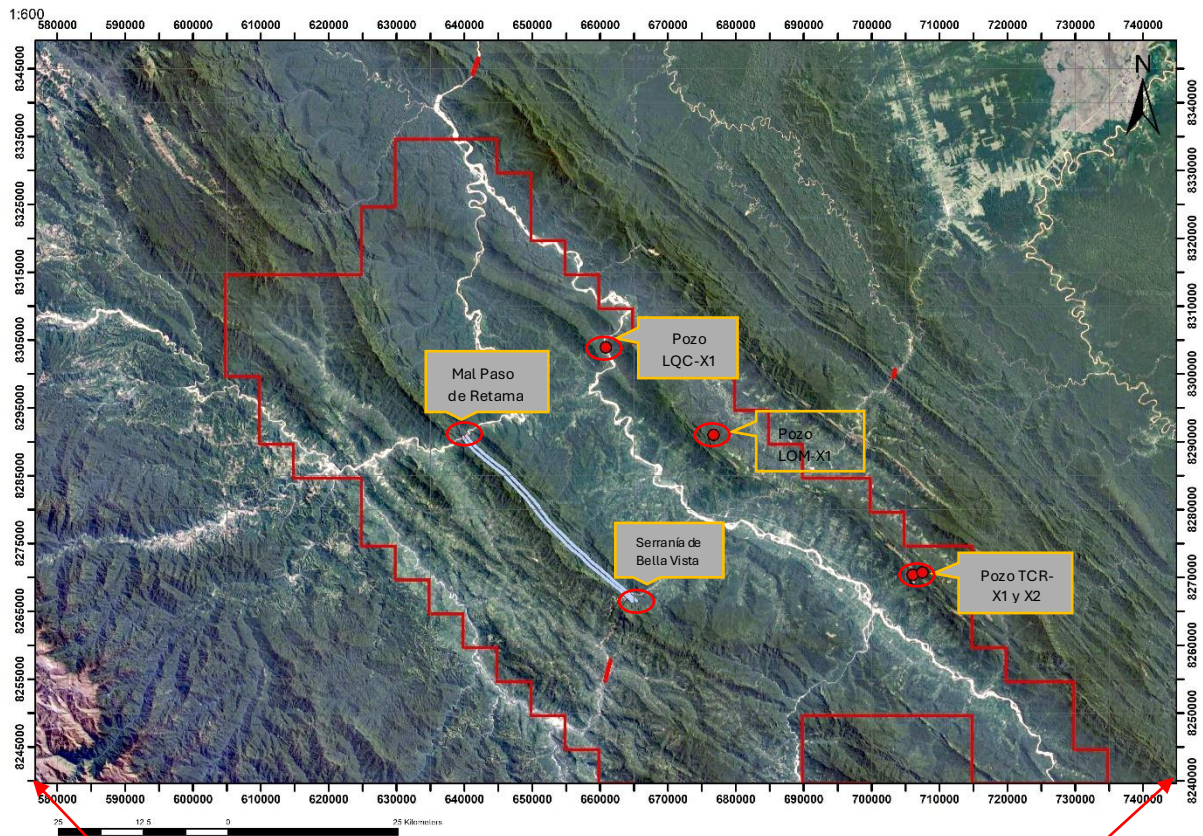


Figura 1. Ubicación del área de estudio, Mapa geológico del Subandino Norte de Bolivia, Bloque Lliquimuni, (YPFB Petroandina SAM, 2011). Imagen satelital de los levantamientos estratigráficos y de los pozos perforados.

## 2. GEOLOGÍA REGIONAL

### 2.1. Geología estructural marco general

El modelo estructural actual del Subandino de Bolivia es el resultado de la tectónica compresiva que se inicia a partir del Oligoceno Superior y continúa activa hasta el Presente (Sempere et al., 1990). Este modelo estructural lo define como un complejo cinturón de pliegues y cabalgamientos (Sempere et al., 1990; Baby et al., 1993) y está conformada por un apilamiento de sedimentos paleozoicos a cenozoicos de más de 7000 m de espesor. (Fig. 2).

Por otra parte, Según Baby et al., (1993) se reconocen tres zonas estructurales: el *Subandino Norte* entre 13-17 °S, con dirección NW–SE, *Subandino Centro* entre 17-18°, con una orientación W–E, y el *Subandino Sur* entre 18-22 °S, con una dirección predominantemente N–S. (Fig. 2).

La deformación se produce en respuesta a la subducción de la Placa de Nazca que se desplaza por debajo de la Placa Continental Sudamericana (Sempere, 1995).

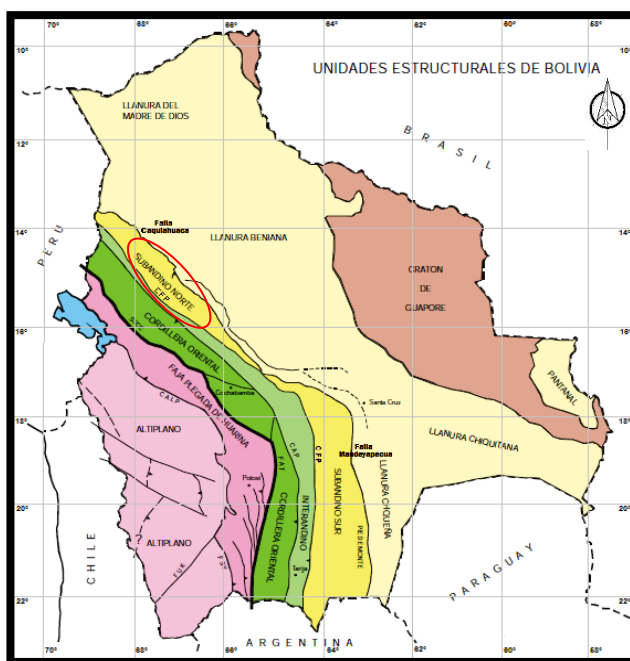


Figura 2. Mapa tectónico simplificado de Bolivia, que muestra los dominios tectonoestratigráficos, modificado parcialmente (Sempere, 1995) en Suarez (2000).

#### 2.1.1. Geología Estructural del Subandino Norte

Según Soria (1972), los núcleos de los anticlinales mejor definidos en el Subandino Norte están formados principalmente por rocas del Cretácico y del Terciario (*actual Paleógeno–Neógeno*). El tamaño de las estructuras anticlinales en la región del Subandino Norte es en general mucho mayor que en el Subandino Central y Meridional.

Según Baby et al., (1995), (Fig. 3), la región corresponde a una faja plegada con amplios cabalgamientos de gran escala, que presenta una longitud de onda superior a los 10 Km y el acortamiento cortical máximo estimado alcanza los 135 km. Por otra parte, Jaillard et al., (2000) describe a la zona como una región montañosa de flancos abruptos con amplios valles sinclinales, resultado de una intensa tectónica compresiva asociada a “corrimientos” que se originaron entre finales del Mioceno Tardío – Plioceno Medio y corresponden a los eventos tectosedimentarios Quechua 2 y Quechua 3, (relacionados con las últimas fases de la

orogenia andina cenozoica). Las estructuras son comprimidas y complicadas tectónicamente en superficie y amplias en profundidad.

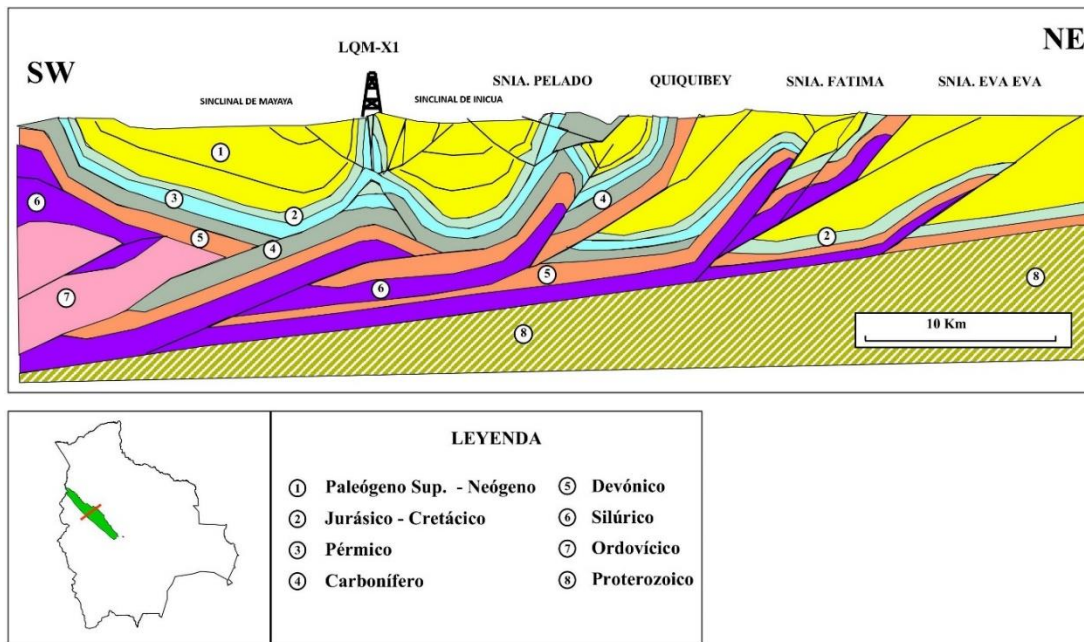


Figura 3. Sección regional de la zona del Subandino Norte. Mejorado de Baby et al. (1995).

### 2.1.2. Geología Estructural del Bloque Lliquimuni.

En el Bloque Lliquimuni (Fig. 1) se encuentran las serranías de Lliquimuni y Tacuaral, que corresponden a los sitios donde se perforaron los pozos exploratorios LQC-X1 y TCR-X2. Estas serranías representan dos pliegues anticlinales fallados dispuestos en echelón, de geometría estrecha, alargada y estructuralmente muy compleja (Oller y Franco, 1980). Estas estructuras mantienen una dirección NW – SE.

Hacia el SW se encuentra el sinclinal de Mayaya, con una extensión aproximada de 18 km, cuyo flanco SW, a lo largo de la zona del Mal Paso de Retama y la Serranía de Bella Vista, muestra un alto grado de deformación, evidenciado por la presencia de fallas inversas y estratos volcados.

## 2.2. Síntesis paleogeográfica del Carbonífero de Bolivia

Durante el Devónico Superior – Carbonífero Inferior se ha reconocido tres elementos paleogeográficos que funcionaron como áreas de aporte detrítico, el cratón Arequipa-Antofalla al W, el cratón de Guaporé al E, y el arco de la Puna al S. (Fig. 4). El cambio a regímenes compresivos durante el Fameniense Superior – Tournasiense Inferior (Fase Eohercínica) causó el levantamiento de relieves en el sector norte de la cuenca, y como resultado la cuenca queda separada en dos por un levantamiento de antepaís o bloque transpresivo, interpretado como un lapso tectónicamente activo que aproximadamente perdura hasta el Viseense Inferior (Díaz, 1995).

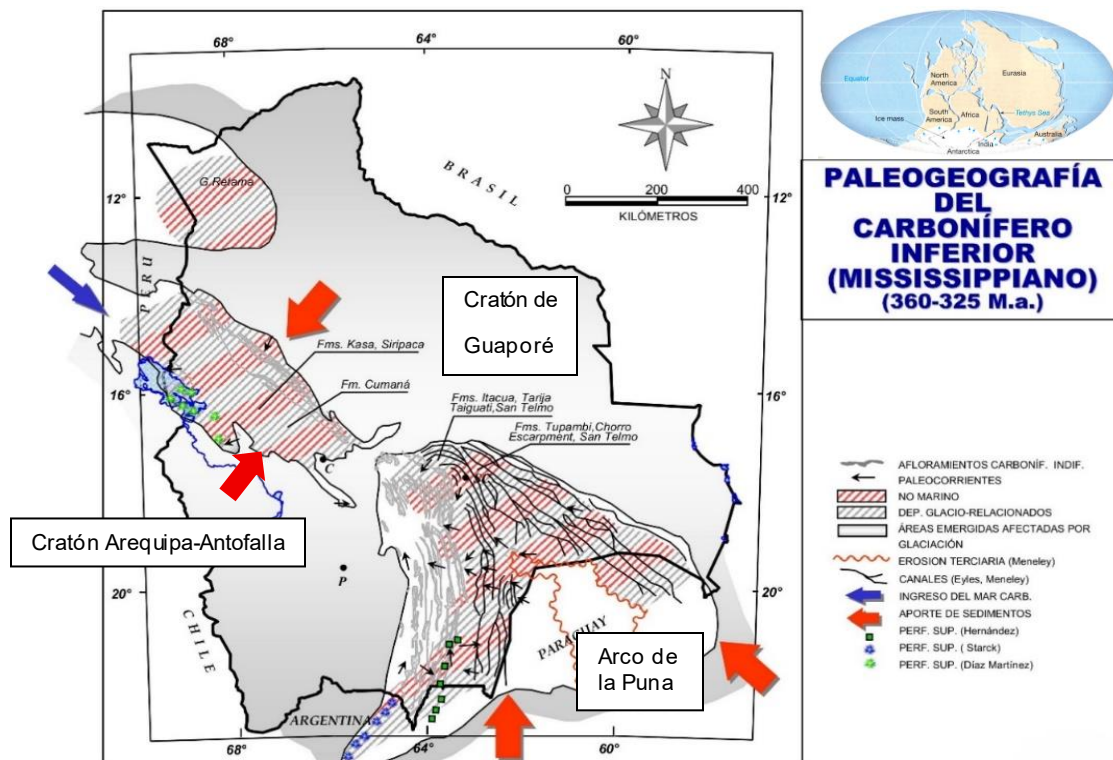


Figura 4. Modelo paleogeográfico y ubicación de un casquete polar existente hace 300 Ma. en el Carbonífero en Bolivia. (Modificado de Repsol, 2013).

Algunos trabajos recientes sugieren la existencia de un alto topográfico con una orientación semejante a la propuesta por Díaz (1995), estando dicha hipótesis respaldada por los datos de paleocorrientes medidos en el área de Charazani en la parte occidental del Subandino Norte (Choque & Nina, 2012) y se presume que estuvo activo durante el Carbonífero y Pérmico, pero sin aportar mayor precisión; este alto topográfico es denominado “Alto de Consata”.

### **2.3. Estratigrafía y ambientes de depósito del Carbonífero en Bolivia**

Según Díaz (1996), el Carbonífero de Bolivia puede subdividirse en dos series o secuencias principales:

La serie inferior, correspondiente a la etapa final del Ciclo Cordillerano, abarca desde el Fameniense Superior hasta el Serpukhoviense. Esta unidad está representada por:

- El Grupo Ambo en el Altiplano, compuesto por las formaciones Cumaná y Kasa.
- El Grupo Retama en el Subandino Norte, que incluye las formaciones Toregua y Kaka.
- Los grupos Machareti y Mandiyuti en el Subandino Centro y Sur, que comprenden las formaciones Tupambi, Itacuami, Tarija, Chorro, Taiguati, Escarpment y San Telmo.

Por su parte, la serie superior marca el inicio del Ciclo Subandino, con depósitos que comienzan en el Bashkiriense, representada por:

- La parte inferior del Grupo Titicaca en el Altiplano y en el sector norte y centro de la Cordillera Oriental y del Subandino Norte.
- La parte inferior del Grupo Cuevo, en el sector sur de la Cordillera Oriental, el Subandino Sur y el Chaco.

El límite entre el Devónico y el Carbonífero ha sido interpretado de distintas formas por diversos autores. Según Suárez (2000), este límite se enmarca en el Ciclo Cordillerano (Silúrico Inferior–Carbonífero Inferior), el cual comprende los eventos geológicos ocurridos entre los movimientos compresivos de la Fase Oclóyica y la Fase Eohercínica. Por su parte, Sempere (1990), en su trabajo *Cuadros Estratigráficos de Bolivia*, ubica este límite dentro del Ciclo Subandino (Fameniense Superior–Triásico Inferior), asociado a eventos geológicos comprendidos entre los movimientos compresivos de la Fase Eohercínica y los distensivos de la Fase Kolla.

La estratigrafía del Carbonífero en Bolivia está representada por unidades litoestratigráficas con rango de formación, que incluyen desde la base las formaciones Cumaná, Itacua y Toregua, y hacia el tope, las formaciones Copacabana y Cangapi (Cuadro 1).

En el Altiplano Norte y la Cordillera Oriental, las unidades correspondientes al Carbonífero pertenecen los grupos Ambo y Titikaka. El Grupo Ambo incluye las formaciones Cumaná y Kasa, compuestas por facies glaciomarinas (diamictitas con intercalaciones subordinadas de areniscas y/o conglomerados) y facies marinas someras (areniscas y lutitas con conglomerados subordinados o diamictitas). Este grupo es sobrepuesto discordantemente por el Grupo Titikaka, conformado por las formaciones Yaurichambi y Copacabana, compuestas por facies de llanura costera (areniscas con intercalaciones de lutitas y conglomerados subordinados) y facies marinas de plataforma somera (calizas, areniscas y margas) (Díaz, 1991).

En el Subandino Centro y Sur, la base del Carbonífero está representada por la Formación Itacua, formada por una alternancia de bancos masivos de areniscas, diamictitas y arcillas. Los grupos Machareti y Mandiyuti corresponden a ambientes marinos, caracterizados por estructuras generadas por oleaje y depósitos turbidíticos. En la parte superior del Grupo Mandiyuti se desarrollan depósitos de origen fluvial o fluvio-glaciar (Díaz, 1996).

En el **Subandino Norte**, las unidades carboníferas aflorantes corresponden al **Grupo Retama**, compuesto por facies psamíticas y glaciomarinas (López, 1967). Esta unidad está formada por una sucesión clástica integrada por areniscas finas micáceas con restos de plantas, intercaladas con bancos de lutitas negruzcas o rojizas, con aspecto de "tiloides".



### 2.4.1. Estratigrafía del área de trabajo, Bloque Lliquimuni

La sucesión estratigráfica para la Serranía de Marrimonos, el Río Kaka y la Serranía de Bella Vista, del Bloque Lliquimuni (Fig. 1), se formó por depósitos Paleozoicos, Mesozoicos y Cenozoicos. En el Paleozoico se han distinguido las formaciones Río Carrasco, Tequeje, Tomachi, Grupo Retama (Toregua y Kaka), y Copacabana. Siguen sobre una discordancia, los depósitos mesozoicos de la Formación Beu, prosiguen discordantemente formaciones del Cenozoico (Paleógeno-Neógeno), Bala, Quendeque, Charqui y Tutumo (Fig. 5).

Edad		Litología	Formación	Espesor metros
PALEÓGENO TARDIO - NEÓGENO			Tutumo	700
			Charqui	1500 a 2500
			QUENDEQUE	2500 a 3000
			Bala	250
MESOZOICO			Beu	400
PERMIANO	Inf.	Leonardiano / Wolfcampiano		
CARBONIFERO	Sup.	Artinskiano - Bashkiriano	Copacabana	300
	Inf.	Serpukhovi / Sturiano	G. Retama	500
DEVÓNICO	Sup.	Frasniano / Givetiano	Tomachi	500
	Medio	Griveliano / Eifeliano	Tequeje sup	200
		Eifeliano / Emsiano		
		Emsiano / Pragian	Tequeje Inf	400
	Inferior	Lochkoviano		
SILÚRICO	Superior	Prídoliano		
		Ludlowiano	Río Carrasco	1250

Figura 5. Columna estratigráfica del Bloque Lliquimuni (YPFB Petroandina SAM, 2011).

La **Formación Tomachi** Oller (1980, 1984) está constituida por lutitas arenosas gris verdoso a gris oscuro, finamente estratificada, con bancos de areniscas intercaladas, compactas, bien estratificadas en bancos de 0,20 a 1 m. y muy esporádicamente hasta 10 m. de espesor. Estas areniscas son de grano fino a muy fino, de grano subangular a subredondeado, con selección regular, de color gris claro a gris verdoso y amarillento verdoso en pátina.

El tránsito Devónico – Carbonífero es de difícil determinación debido a su carácter transicional, aunque en algunos casos se ha mencionado un conglomerado basal y/o una discordancia angular Vargas (1977) en Oller y Franco (1980). El **Grupo Retama** fue definida por López (1967), donde diferencia dos formaciones denominadas como Toregua y Kaka. La secuencia se inicia con la **Formación Toregua** que está constituida por areniscas cuarcíticas de grano fino a muy fino, bien estratificadas en bancos de hasta 4 m. de espesor. Las areniscas que a

veces son laminadas contienen delgadas intercalaciones de lutitas gris oscuras. Sobreyace la **Formación Kaka** formada mayormente por horizontes de “*clay grits*” (interpretadas por López como diamictitas) de color verde grisáceo y negro, muy compactados, con granos angulosos de cuarzo y componentes de areniscas de hasta 15 cm de tamaño, que se encuentran regularmente intercaladas con limolitas y lutitas gris verdosas a negras, micáceas, finamente estratificadas y capas de areniscas de color gris y gris amarillento que son más frecuentes en la parte superior de este miembro.

El tránsito Carbonífero – Pérmico es concordante y se ha marcado en la aparición de los primeros bancos de areniscas calcáreas y/o calizas según Oller y Franco (1980), designándolo como **Grupo Copacabana**, que a su vez se ha dividido en dos formaciones, Copacabana y Bopi.

## **2.5. Pozos Perforados**

Hasta el presente, en la región del Subandino Norte de Bolivia, se han perforado un total de 19 pozos. Cinco pozos se encuentran ubicados sobre el Bloque Lliquimuni,

Según los Informes Geológicos de los pozos LQM-X1, TCR-X1, TCR-X1D, TCR-X2 y LQC-X1, por Pradel (1993), Alegria (1994), CIA Intergas (1997) y Pradel (2015) respectivamente, cuatro pozos exploratorios fueron perforados en los años 90 y uno en 2015.

- Lliquimuni-X1 (LQM-X1) perforado en 1991, hasta 4.596,4 metros de profundidad. Alcanzó niveles estratigráficos de los periodos Oligoceno – Mioceno (formaciones Bala y Quendeque), Cretácico (Formación Beu) y Pérmico (Formación Copacabana).
- Tacuaral-X1 (TCR-X1) perforado en 1994, hasta 3.475,8 m de profundidad. Alcanzó niveles estratigráficos de los periodos Cretácico (Formación Beu) y Pérmico (Formación Copacabana).
- Tacuaral-X1D (TCR-X1D), desviado a partir de 1.655 m, hasta 3.765 m de profundidad en la Formación Copacabana de edad pérmica. No alcanzó niveles del Devónico.
- Tacuaral-X2 (TCR-X2), perforado en el año 1995, hasta 5.003 m de profundidad. Alcanzó niveles estratigráficos atribuidos al Pérmico (Formación Copacabana) y Carbonífero (Grupo Retama).
- Lliquimuni Centro-X1 (LQC-X1), perforado el año 2015, hasta 4.562 m de profundidad. Alcanzó niveles estratigráficos de la Formación Copacabana, del Grupo Retama y la Formación Tomachi.

De acuerdo con esta información, se deduce que solo dos pozos llegaron a alcanzar las unidades del Devónico Superior – Carbonífero Inferior, los pozos (TCR-X2) y (LQC-X1).

### **3. METODOLOGÍA**

La metodología empleada en este Trabajo de Fin de Máster se ha diseñado con el objetivo de caracterizar la estratigrafía y los ambientes sedimentarios del Grupo Retama en el Bloque Lliquimuni del Subandino Norte de Bolivia. Para ello, se han combinado datos de afloramientos de superficie, registros geofísicos de subsuelo y revisión bibliográfica del área.

#### **3.1. Trabajo de gabinete**

Revisión bibliográfica de la geología local y regional del Carbonífero de Bolivia, relacionada con el Grupo Retama, la evolución tectosedimentaria del Subandino Norte y el análisis de facies en sistemas siliciclásticos. Esta revisión permitió realizar el análisis del contexto geológico, bajo el cual está enmarcada el área del Bloque Lliquimuni del Subandino norte.

Asimismo, se recopiló información geológica, estratigráfica y estructural tanto de superficie como de subsuelo, incluyendo los registros de rayos gamma (GR) disponibles de los pozos Lliquimuni Centro-X1 (LQC-X1) y Tacuaral-X2 (TCR-X2). Esta información se obtuvo de la base de datos del Centro Nacional de Información Hidrocarburífera de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (CNIH – YPFB).

A partir de la cartografía geológica y las observaciones previas, se seleccionaron dos secciones representativas del Grupo Retama, ambas ubicadas en el flanco SW del Sinclinal de Mayaya. La primera corresponde al área del Mal Paso de Retama, a lo largo del río Kaka, donde se localiza el estratotipo del Grupo Retama. La segunda se sitúa en la Serranía de Bella Vista, en la región de Alto Beni (Fig. 1). La elección de estas localidades se fundamentó tanto en su valor geológico como en su relativa accesibilidad, considerando que gran parte del Subandino Norte presenta una densa vegetación y las condiciones topográficas dificultan el acceso y limitan la exposición de los afloramientos carboníferos. Complementariamente, las dos secciones estratigráficas fueron seleccionadas por encontrarse dentro del Bloque Lliquimuni, así como por su relativa proximidad geográfica y su disposición aproximadamente paralela a la alineación de los pozos LQC-X1 y TCR-X2, lo que permite establecer una correlación estratigráfica regional coherente entre datos de superficie y subsuelo.

#### **3.2. Trabajo de Campo**

Durante la fase de campo se llevó a cabo el levantamiento de dos columnas estratigráficas desarrolladas en diferentes etapas y seleccionadas previamente en gabinete, ambas alzadas a escala 1:100, y en las que se registraron las siguientes observaciones principales:

- Descripción litológica de cada estrato, considerando tipo de roca, textura y color.
- Reconocimiento de estructuras sedimentarias primarias, tales como estratificación y laminación.

- Identificación de tipos de contacto (graduales, netos y erosivos).
- Medición de espesores, inclinación de estratos y orientación estructural.

Las mediciones se realizaron utilizando brújula Brunton, cinta métrica, GPS, martillo geológico, lupa, rayador y tabla de colores de rocas de Munsell. Toda la información fue registrada en hojas milimétricas de campo, mientras que las ubicaciones y registros fotográficos se gestionaron mediante la aplicación Avanza Maps, asegurando una cobertura estratigráfica continua y representativa de cada sección.

Las columnas estratigráficas fueron elaboradas directamente por el autor de este TFM. La sección del Mal Paso de Retama fue levantada durante las labores de exploración del pozo LQC-X1, lo que permitió establecer una correlación litológica de las unidades carboníferas durante la perforación. Por su parte, la sección de la Serranía de Bella Vista fue levantada al final del máster, como parte de un esfuerzo personal por ampliar el conocimiento del Grupo Retama en superficie y mejorar la integración con los datos de subsuelo. Este objetivo implicó la realización de aproximadamente cuatro campañas de campo, de cuatro a cinco días cada una, llevadas a cabo entre 2023 y 2024, en una zona caracterizada por climas variables, vegetación densa y accesos limitados, lo que dificultó considerablemente el trabajo geológico. A pesar de estas condiciones, ambas columnas se construyeron mediante un levantamiento detallado, reflejando un esfuerzo por integrar observaciones directas de afloramiento con un enfoque técnico y un compromiso por generar información geológica de valor científico.

### **3.3. Análisis e interpretación de los datos**

- **Análisis y asociación de facies sedimentarias**

A partir de los datos obtenidos en campo, se llevó a cabo un análisis detallado de las facies sedimentarias, aplicando criterios litológicos y sedimentológicos observados directamente en los afloramientos. Las facies identificadas fueron agrupadas en asociaciones de facies sobre la base de su organización vertical y lateral, lo que permitió interpretar los procesos sedimentarios dominantes y su contexto ambiental.

Para el análisis de las facies se empleó la clasificación de códigos de facies de Miall (1996), con ligeras adaptaciones en algunos casos, respetando la nomenclatura original. La interpretación de los ambientes sedimentarios de cada facies fue integrada y validada con los enfoques propuestos por Walker (1992), Collinson et al., (2006), Nichols (2009) y Tucker (2011).

Para la representación gráfica de las columnas estratigráficas se empleó el software ArcGis, utilizando una escala de 1:500. Esta resolución permitió una mayor precisión en la

identificación de asociación de facies, facilitando su correlación estratigráfica y su proyección hacia el subsuelo.

A partir del análisis de facies de las columnas estratigráficas, se agruparon las facies sedimentarias en asociaciones de facies según su recurrencia, disposición vertical y relaciones laterales. Este procedimiento permitió interpretar la organización interna de los depósitos y los procesos sedimentarios dominantes.

La asociación se enfocó en determinar el ambiente sedimentario dominante en cada sección (p. ej., shoreface, foreshore, prodelta, frente deltaico, llanura deltaica, etc.) y su posible evolución temporal. Este enfoque permitió establecer una base sólida para proponer un modelo paleoambiental y realizar una correlación con los datos del subsuelo.

- **Análisis de Registros de pozos**

De los cinco pozos perforados en el Bloque Lliquimuni, únicamente dos alcanzaron unidades del Carbonífero: el pozo Tacuaral-X2 (TCR-X2), perforado en 1993, y el pozo Lliquimuni Centro-X1 (LQC-X1), perforado en 2015. En ambos casos se analizaron los registros de rayos gamma (GR) disponibles en formato de imagen, que sirvieron como herramienta principal para la caracterización litológica del subsuelo.

El análisis se centró en la identificación de tramos pelíticos, así como en el reconocimiento de tendencias verticales en las curvas del GR (formas de campana, embudo, cilindro y aserrada), lo que permitió inferir patrones de acumulación y posibles ambientes sedimentarios.

Posteriormente, se realizó la correlación estratigráfica entre los registros de GR de ambos pozos, empleando los siguientes criterios: patrones característicos de la curva GR, la similitud en los rangos de valores API, facies e interpretaciones ambientales y presencia de superficies clave. Esta correlación se complementó con las columnas estratigráficas levantadas en superficie, permitiendo establecer relaciones laterales entre subsuelo y afloramientos. Este proceso se llevó a cabo utilizando el software ArcGis, considerando variaciones litológicas, variaciones en el contenido pelítico y reconocimiento de contactos estratigráficos significativos.

### **3.4. Síntesis**

De acuerdo con los resultados obtenidos, se ha propuesto un modelo de evolución paleoambiental para el Grupo Retama en el área de estudio. Este modelo integra la distribución de facies en superficie y subsuelo, las asociaciones de facies y sus medios sedimentarios interpretados.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Análisis de facies sedimentarias

A partir de las columnas estratigráficas levantadas en campo en las secciones del Mal Paso de Retama (Anexo 1) y la Serranía de Bella Vista (Anexo 2), se definieron y describieron detalladamente las facies sedimentarias, considerando principalmente la litología y las estructuras sedimentarias observadas. Para su clasificación se adoptó los códigos de nomenclatura propuestos por Miall (1996), el cual emplea una letra mayúscula para indicar el tipo de litología (G: Grava; S: Arena; F: limo y/o arcilla y D: Diamictita) seguida de una o más letras minúsculas que representan las estructuras sedimentarias (m: macizo; l: estratificación entrecruzada de bajo ángulo; h: laminación paralela, entre otras) (Tabla 1).

Código	Litología	Estructura Sedimentaria	Interpretación
Fl	Arcillita, lutita y limolita	Laminación ondulada	Sedimentación por decantación.
Fb	Lutita	Bioturbación	Retrabajamiento de sedimentos por organismos, baja tasa de sed.
Fh	Arcillita, lutita y limolita	Laminación paralela	Tasa de sedimentación baja, decantación por debajo del nivel de base de las olas.
Fc	Lutita carbonosa	Laminación paralela	Procesos de decantación y suspensión, en condiciones anóxicas y de baja energía.
Frl	Arcillita, lutita y limolita	Laminación linsen (lenticular)	Alternancia de periodos de quietud (pelita) y de corriente u oscilación (arena).
FSl	Pelitas y areniscas de grano fino	Heterolitas con estratificación ondulada	Alternancia de periodos de baja energía y decantación.
Srf	Areniscas de grano muy fino	Laminación flaser	Alternancia de corriente u oscilación (arena) y de quietud (pelita).
Sr	Areniscas de grano fino a muy grueso	Ondulitas o ripples de corriente	Corrientes oscilatorios producidos por el oleaje y la corriente.
Sl	Areniscas de grano muy fino a medio	Estratificación cruzada de bajo ángulo	Sedimentación en condiciones de bajo régimen de flujo.
St	Areniscas de grano fino a muy grueso	Estratificación cruzada en artesa	Corrientes unidireccionales, bajo régimen de flujo.
Sh	Areniscas de grano muy fino a medio	Estratificación paralela	Corrientes unidireccionales de alto y bajo régimen de flujo.
Sm	Areniscas de grano muy fino a medio	Estratificación masiva	Sedimentación por gravedad.
Gm	Conglomerado polimíctico	Gradación normal a inversa	Flujos de detritos pseudoplásticos (baja resistividad, viscoso).
Dm	Diamictita matriz arenosa	Masiva	Flujos de gravedad con resedimentación, fluidificación y mezcla del material.

Tabla 1. Códigos utilizados para facies siliciclásticas (Modificado de Miall, 1996)

#### **4.1. Facies sedimentarias de las Secciones Mal Paso de Retama y Bella Vista**

##### **F1. Pelitas con laminación ondulada (F1)**

Limolitas de color gris olivo claro (5Y 6/1) con laminación ondulada, intercaladas con areniscas muy finas de color gris claro (N7) y techo ondulado (Fig. 6 A y B). En algunos afloramientos estas capas están deformadas por procesos sinsedimentarios. En la columna del Mal Paso de Retama, se observan litoclastos (*dropstones*) menores a 3 cm de limolitas marrones masivas, que a su vez deforman la laminación.

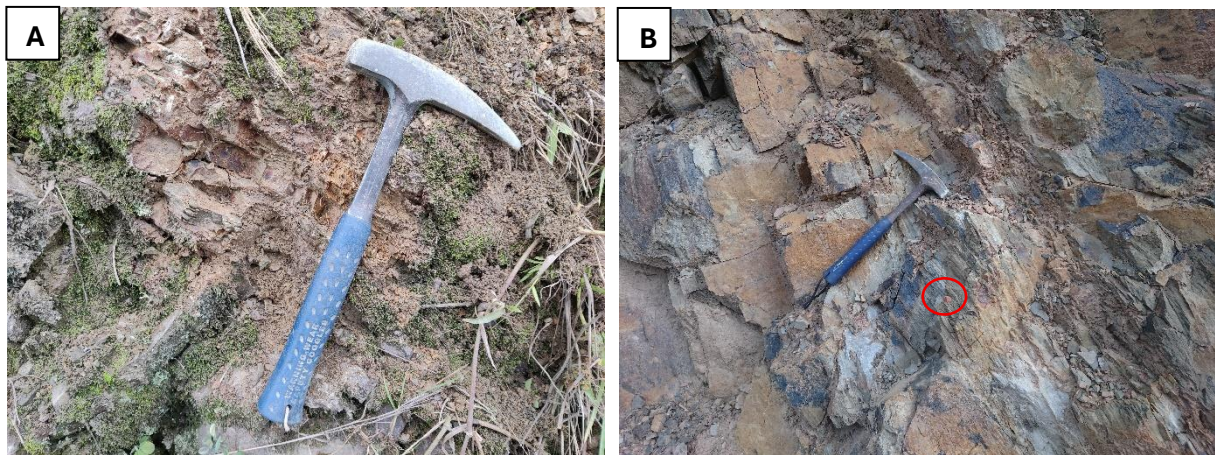


Figura 6. **A.** Limolitas con laminación ondulada (F1). **B.** Limolitas con presencia de clastos caídos (*dropstones*).

**Interpretación (F1):** Estas facies representan procesos de decantación en un medio tranquilo por debajo del nivel de base del oleaje, sobre los que se depositan escasos clastos caídos (*dropstones*), que llegan al fondo por derretimiento del iceberg. La presencia de deformación sinsedimentaria indica inestabilidad durante o después de la deposición de los sedimentos, este tipo de estructuras es común en ambientes deltaicos activos, taludes suaves o frentes prodeltaicos inestables (Nichols, 2009). Según Suárez Soruco (2000) representa una secuencia marina de plataforma somera, con marcada influencia glacialmarina y evidentes rasgos de resedimentación.

##### **F2. Lutitas con bioturbación (Fb)**

Lutitas de color gris oscuro medio (N4), laminadas y con fractura irregular en capas de hasta 5 cm de espesor, con presencia de bioturbación y esporádicos niveles de arenisca muy fina (Fig. 7).

**Interpretación (Fb):** Retrabajamiento de sedimentos por organismos, baja tasa de sedimentación.



Figura 7. Lutitas bioturbadas (Fb) en la sección del Mal paso de Retama.

### F3. Pelitas con laminación paralela (Fh)

Esta facies está constituida por limolitas de color naranja grisáceo (10YR 7/4) con brillo terroso, textura micácea finamente laminada con aspecto masivo, intercalada con delgados niveles de lutitas gris oscuras (Fig. 8 A y B).

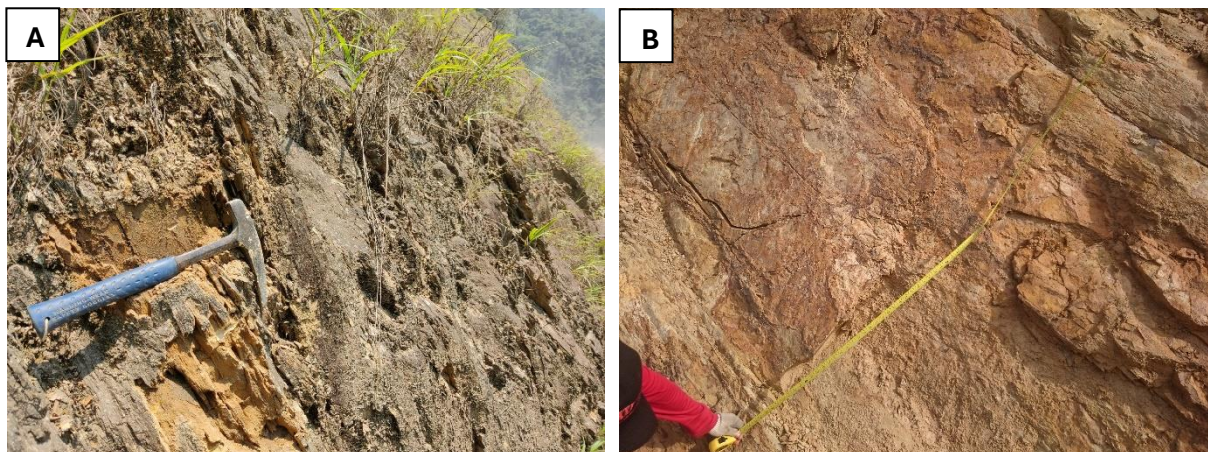


Figura 8. A y B. Limolitas con laminación paralela con aspecto masivo (Fh).

**Interpretación (Fh):** Estas facies presentan una tasa de sedimentación baja, con decantación por debajo del nivel de base del oleaje, típicas de ambientes de baja energía y relativamente profundos. El aspecto micáceo y masivo es debido a la compactación o a la acción de corrientes mínimas y escasa bioturbación, permitiendo la conservación de la laminación original (Tucker, 2011).

### Lutitas negras laminadas (Fh)

Lutitas gris oscuras (N3), finamente laminadas, fósiles y en erosión catafilar, replegadas y fracturadas, con base neta y techo irregular (Fig. 9 A y B). En algunos afloramientos presenta escasos niveles de areniscas muy finas y de color gris claros.

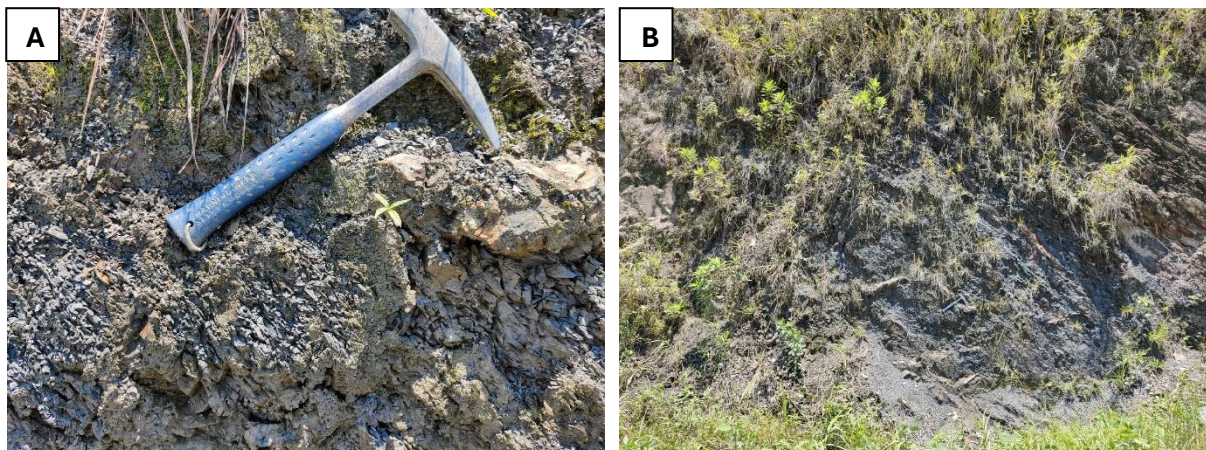


Figura 9. A y B. Lutitas laminada (Fh) en erosión catafilar, sección Bella Vista.

**Interpretación lutitas laminadas (Fh):** Estas facies son características de ambientes de sedimentación de talud, con una predominancia de lutitas en condiciones de menor energía por debajo del nivel de oleaje y eventos esporádicos de areniscas muy finas de leve energía.

#### F4. Lutitas carbonosas (Fc)

Lutita carbonosa de color negro (N1), ricas en materia orgánica, con laminación paralela bien definida, fractura irregular con un espesor de 20 a 50 cm. Presenta base neta y contactos bien marcados con los estratos subyacentes (Fig. 10 A y B). En la sección de Bella Vista solo se identificó un nivel de lutita carbonosa, mientras que en la sección del Mal Paso de Retama se identificaron seis niveles.

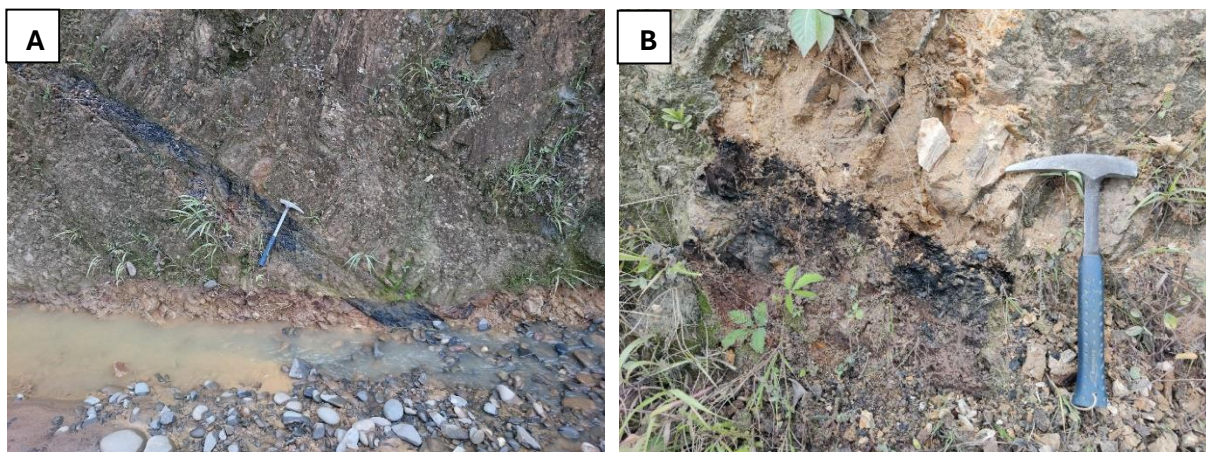


Figura 10. A y B. Lutitas carbonosas (Fc).

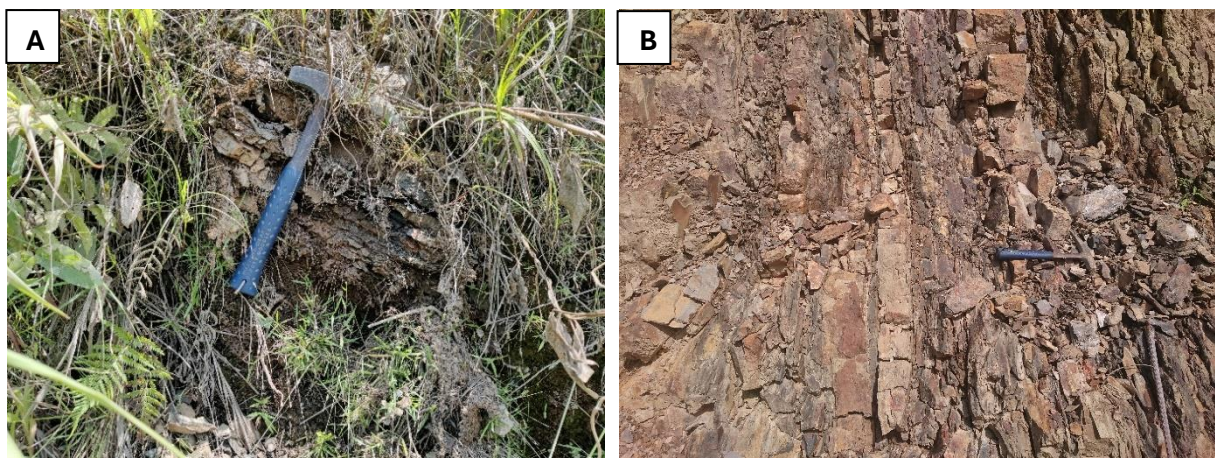
**Interpretación (Fc):** Los niveles de lutita carbonosa indican una sedimentación tranquila, dominados por procesos de decantación y suspensión, en condiciones anóxicas y de baja energía, correspondientes a una llanura deltaica de abandono.

En la sección del Mal Paso de Retama se observa una intercalación de lutitas carbonosas y areniscas con reducidos espesores (20 a 50 cm) lo que indica episodios aislados o repetidos

de estancamiento dentro de un sistema sedimentario. Según Tucker (2011) este tipo de niveles puede representar eventos transgresivos bajo condiciones de escasa oxigenación.

#### **F5. Pelitas con laminación lenticular (Frl)**

Lutitas, gris oscuro (N3) y limolitas gris verdosas (5GY 6/1) intercaladas con capas de areniscas finas a muy finas entre 5 a 10 cm de espesor, con laminación ondulada y lenticular (Fig. 11 A y B). En la sección de Bella Vista hacia el tope de la secuencia se observan lentes de areniscas de grano medio a grueso, de color gris oscuro medio (N4), granos redondeados con buena selección, clastos soportados, los poros presentan aparente impregnación de hidrocarburos.



*Figura 11. A. Lutitas con lentes de areniscas gruesas en la sección de Bella Vista. B. lentes de areniscas sin continuidad.*

**Interpretación (Frl):** Estas facies representan ambientes de plataforma externa con influencia episódica de corrientes y oleaje, donde la sedimentación pelítica es dominante y los aportes arenosos episódicos por flujos de corrientes de fondo o pequeñas turbiditas, con eventos de mayor energía a techo formando lentes arenosas más gruesas. Este tipo de facies es común en secuencias de tempestitas, donde la sedimentación pelítica es dominante, pero está interrumpida por eventos de alta energía (Nichols, 2009).

#### **F6. Pelitas y areniscas con estratificación entrecruzada de bajo ángulo (FSI)**

Areniscas finas a muy finas de color naranja muy pálido (10YR 8/2), o gris muy claro (N8) cuarzosas con buena selección. Son clasto soportadas con cemento silíceo, con presencia de micas y escasos líticos oscuros. Estas areniscas muestran una estratificación cruzada de bajo ángulo en bancos de 20 a 30 cm de espesor, intercalados con niveles de 5 a 10 cm de lutitas o limolitas grises oscuras finamente laminadas y en algunos casos deformadas por estructuras de carga (estructuras almohadilladas) (Fig. 12 A y B).

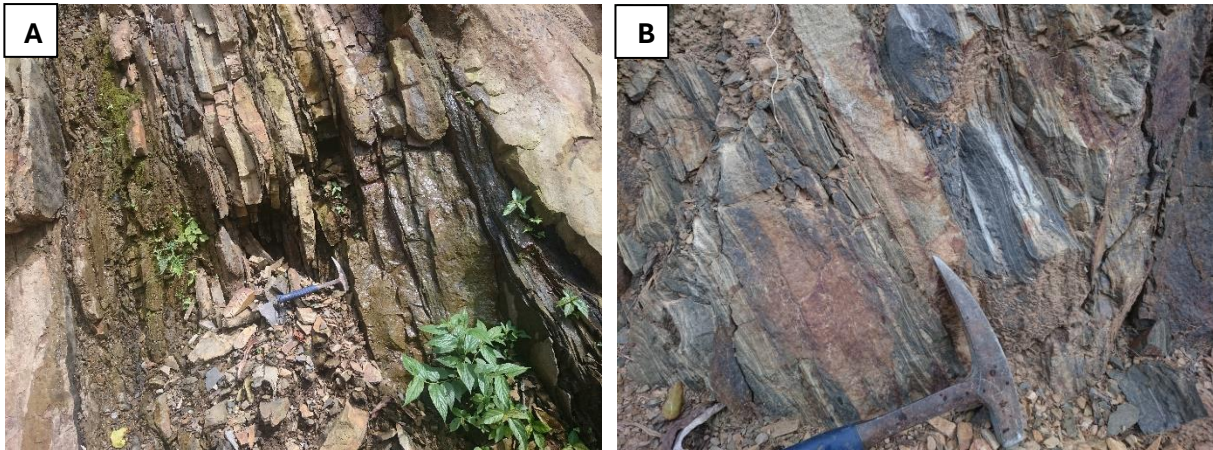


Figura 12. A. Facies heterolíticas (FSI). B. Facies heterolíticas con estructuras almohadilladas.

**Interpretación (FSI):** Estas facies heterolíticas representan una alternancia de depósitos de corrientes de baja energía y de decantación de sedimentos finos en condiciones más tranquilas. La estratificación entrecruzada de bajo ángulo está formada por flujos unidireccionales de baja velocidad, típicos de ambientes de shoreface distal (XR Geomap, 2011).

#### **Pelitas y areniscas con deformación sinsedimentaria (Slumps) (FSs)**

Las facies están constituidas por intercalación de limos de color gris verdoso (5GY 6/1) con areniscas finas a medias de color gris muy claro (N8) con techos ondulados. La estratificación original está deformada por estructuras sinsedimentarias de tipo Slump (Fig. 13 A y B), observándose desplazamientos y plegamientos internos en los afloramientos.

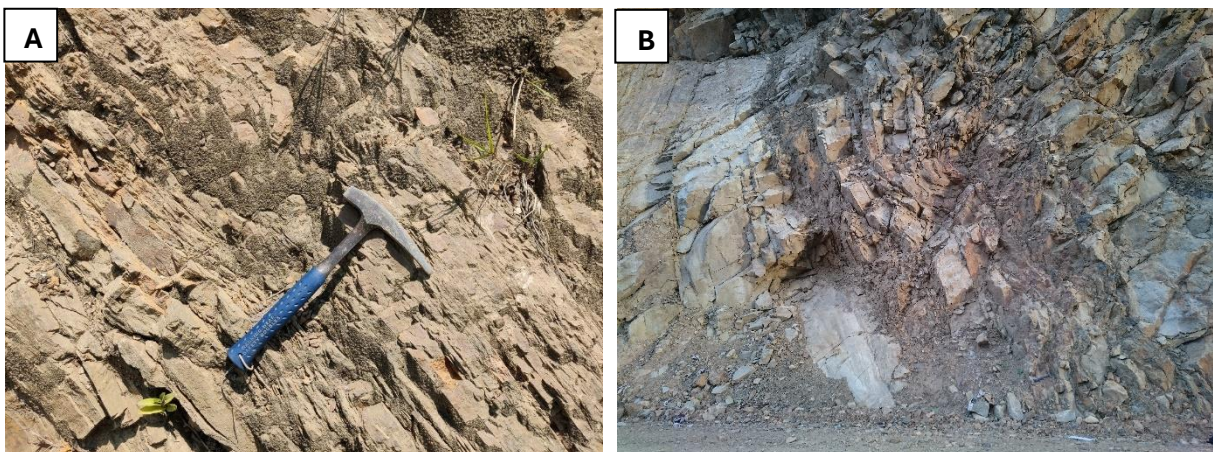


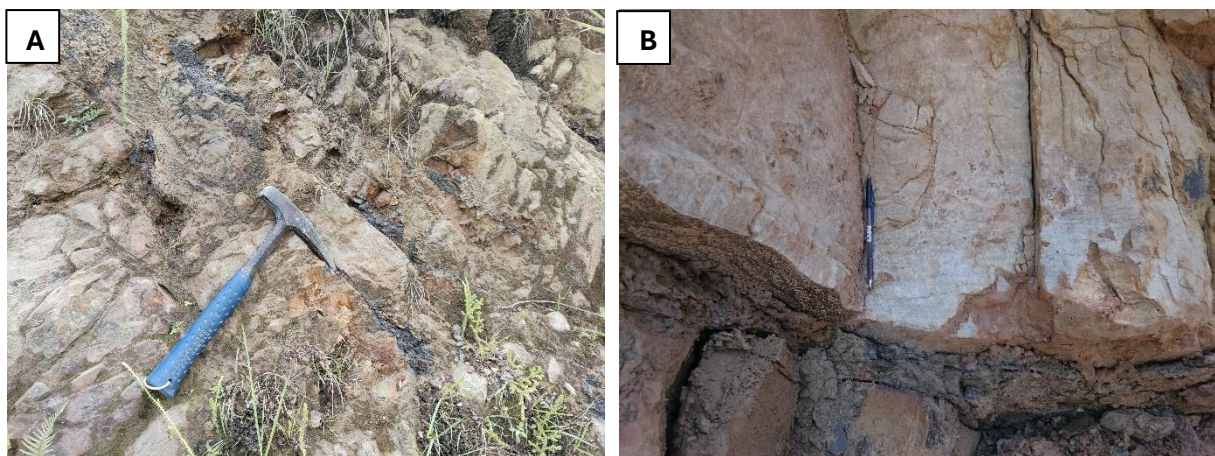
Figura 13. A. Areniscas y limos plegados y fracturados. B. Deformación sin sedimentaria de tipo Slump en el Mal Paso de Retama.

**Interpretación (FSs):** Estas facies, caracterizadas por estructuras sinsedimentarias de tipo slump, se forman por procesos de deformación no tectónica que ocurren poco tiempo después del depósito, durante las primeras etapas de compactación en sistemas con alta tasa de sedimentación (adaptado de Nichols, 2009). Estas facies son características de ambientes de

plataforma externa o talud prodeltaico inestable, donde se alternan depósitos pelíticos de baja energía y depósitos arenosos de alta energía.

### **F7. Areniscas con laminación flaser (Srf)**

Estas facies están compuestas por areniscas finas de color gris muy claro (N8), clasto soportadas y cemento silíceo. Presentan laminación ondulada, en los valles de los ripples de arena se observan lentes de sedimentos arcillosos no conectados, lo que constituye una laminación flaser (Fig. 14 A); los bancos tienen espesores que varían entre 20 a 80 cm, con base irregular y techo ondulado. En la sección del Mal paso de Retama algunos afloramientos de laminación flaser se encuentran bifurcadas o ramificadas (Fig.14 B).



*Figura 14. A y B Areniscas con laminación Flaser (Srf).*

**Interpretación (Srf):** Estas facies son características de ambientes con energía alterna, en un medio de depósito donde coexiste arena y arcilla, donde la arcilla es relativamente pequeña, permaneciendo en suspensión mientras ocurre el depósito de arena, para luego acumularse en los valles de los ripples de arena. Estas facies se depositan en un medio de shoreface dominado por olas. Y fue definida por Collinson et al., (2006) para explicar la interacción de limos y arenas en diferentes proporciones en la plataforma progradante.

### **F8. Areniscas con ondulitas o ripples de corriente (Sr)**

Facies de areniscas finas a muy finas de color amarillo oscuro (5Y 6/4), con matriz limosa y cemento silíceo. La granulometría es decreciente en bancos de 30 a 50 cm de espesor, con base neta y techo ondulado. Se observan ondulitas de corriente simétricas, con acción de olas y laminación ondulada (Fig. 15 A y B).

**Interpretación (Sr):** Esta facies se interpreta como el resultado de corrientes unidireccionales, con un bajo régimen de flujo, típicos de canales distributarios.

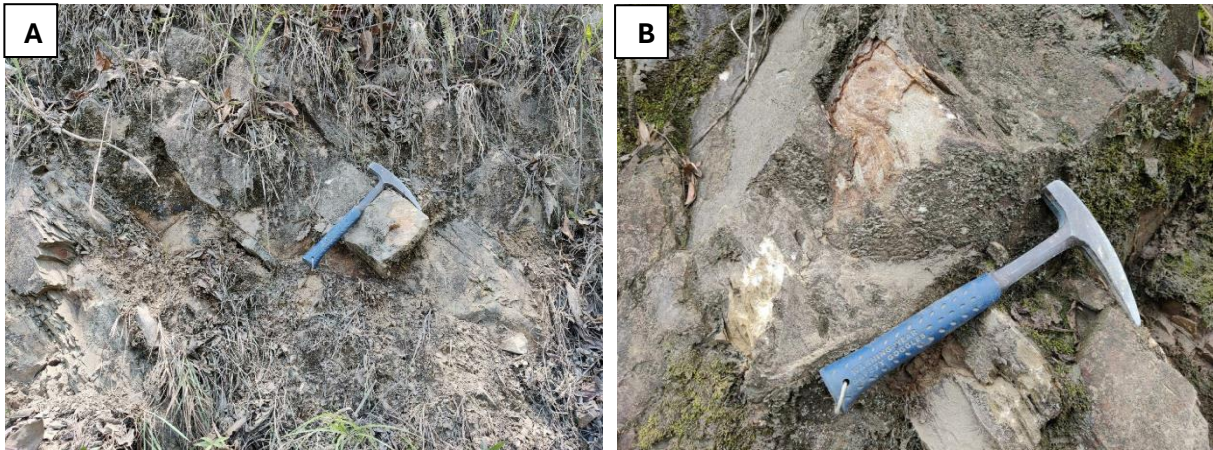


Figura 15. A y B. Areniscas con ondulitas de corriente (Sr).

### F9. Areniscas con estratificación entrecruzada de bajo ángulo (SI)

La facies está compuesta por areniscas muy finas a medias, predominantemente de color gris amarillento (5Y 7/2) y gris verdoso (5GY 6/1), con matriz limosa y cemento silíceo. presentan estratificación cruzada de bajo ángulo bien desarrollada. Los bancos varían en espesor desde 1.5 m hasta 20 cm, mostrando bases netas y techos ondulados. En algunos afloramientos se observan sigmoides con estratificación cruzada de bajo ángulo en bancos de 20 a 80 cm de espesor (Fig. 16 A y B).

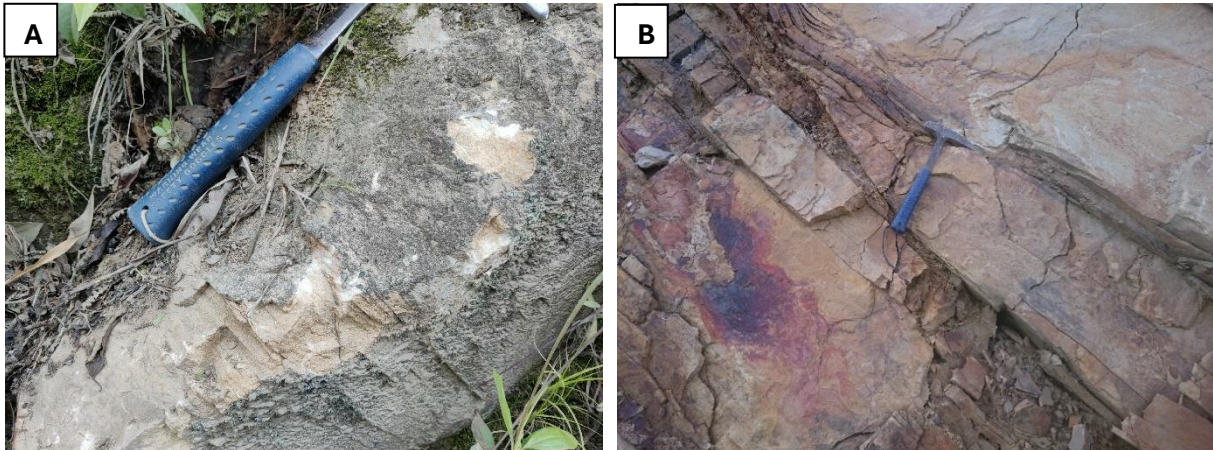


Figura 16. A. Areniscas con estratificación entrecruzada de bajo ángulo. B. sigmoide.

**Interpretación (SI):** Estas facies son el resultado de una sedimentación en condiciones de bajo régimen de flujo, en un ambiente de progradación del shoreface proximal al foreshore, con energía moderada. Las geometrías sigmoides son indicativas de transporte sedimentario por corrientes unidireccionales con cierto control de deceleración progresiva en el frente deltaico (Tucker, 2011).

### **Areniscas con restos de plantas (Slp)**

Areniscas finas a medias, de color naranja grisáceo (10YR 7/4) y gris verdoso (5GY 6/1), micáceas, con matriz limo-arcillosa. Presentan estratificación cruzada de bajo ángulo en bancos de 50 cm de espesor, con base neta y techos ondulados. Se observan restos de plantas ¿*Nothorhacopteris*? (Fig. 17 A y B)



Figura 17. A y B. Areniscas muy finas con presencia de restos de plantas.

**Interpretación (Slp):** La presencia de restos de plantas como puede ser *Nothorhacopteris Kellaybelenensis*, nos indica la proximidad a zonas continentales con vegetación abundante Fasolo et al., (2006), lo que sugiere que el ambiente es cercano a llanuras deltaicas o marismas.

### **F10. Areniscas con estratificación entrecruzada en artesa (St)**

Arenisca de grano medio a grueso, de color blanquecino (N9) y naranja grisáceo (10YR 7/4), con gránulos dispersos de cuarzo hialino, grano soportado y decreciente, semi consolidado; en algunos afloramientos se observan motas marrones. Los bancos varían entre 0.5 a 1 m de espesor, con estratificación cruzada en artesa con base irregular erosiva y techo ondulado. Estas facies se caracterizan por la presencia de canales pequeños de 5 a 10 cm de espesor con clastos redondeados de cuarzo y fragmentos líticos de hasta 5 mm de diámetro (Fig. 18 A y B).

**Interpretación (St):** Esta facies son el resultado de corrientes unidireccionales de alto y bajo régimen de flujo con pulsos de mayor energía que permitieron el transporte de sedimentos más gruesos, como los que son desarrollados en ambientes de canales de marea de alta energía o canales distributarios deltaicos.

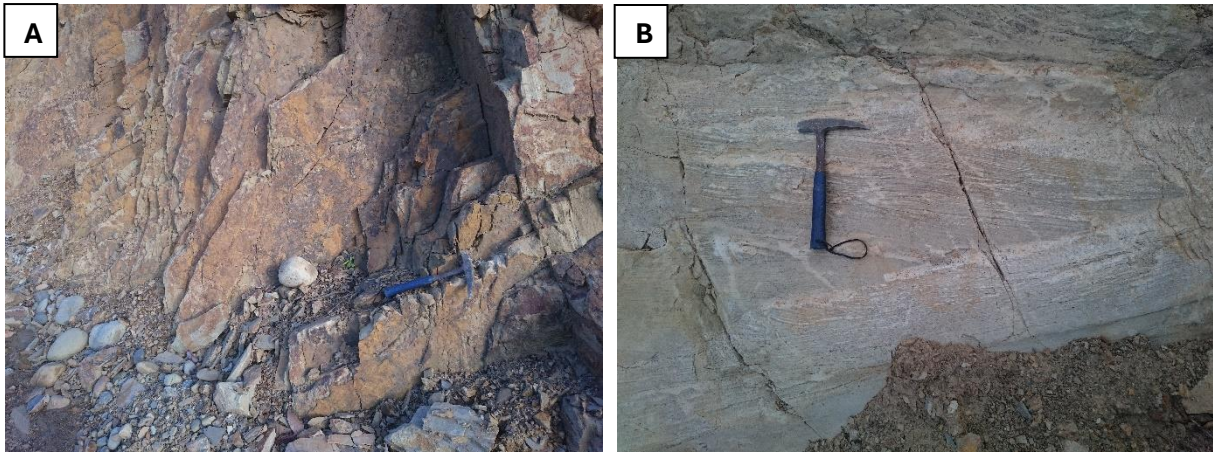


Figura 18. A. bancos de 50 a 100 cm de areniscas con estratificación entrecruzada en artesa (St). B. Estratificación entrecruzada en artesa con presencia de lentes de arena y grava.

### F11. Areniscas con estratificación paralela (Sh)

Areniscas finas a medias de color gris claro (N7) y naranja grisáceo (10YR 7/4), grano-soportadas y silicificadas. En la sección del Mal paso de Retama los bancos varían entre 20 y 40 cm de espesor, con una gradación normal bien definida. mientras que en otros afloramientos los bancos son más gruesos de 50 a 100 cm de espesor con aspecto tabular y masivo, mostrando base y techo plano (Fig. 19 A y B).

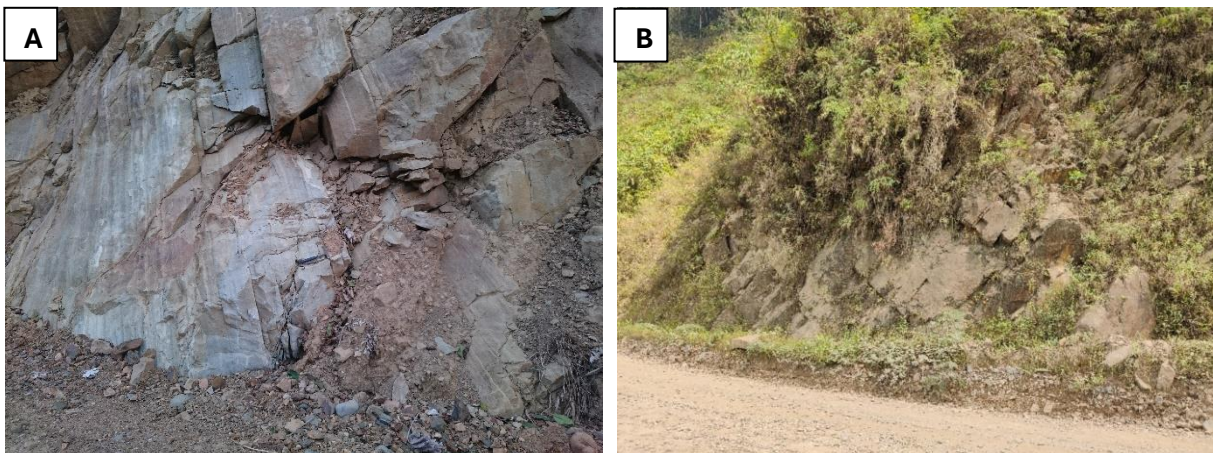


Figura 19. A. Sección Mal Paso de Retama, estratificación paralela (Sh). B. Sección Bella Vista Estratos paralelos con aspecto masivo (Sh).

**Interpretación (Sh):** Estas facies representan una sedimentación por corrientes unidireccionales de alto y bajo régimen de flujo, donde los bancos con gradación normal representan episodios de disminución de energía durante la decantación de arenas, mientras los bancos tabulares más gruesos con aspecto masivo representan eventos rápidos de sedimentación (Nichols, 2009).

## F12. Areniscas masivas (Sm)

Areniscas de grano medio a fino, de color gris claro medio (N6) y blanquecino (N9), los granos están bien redondeados con alta esfericidad, clastos soportados y carácter deleznable. En algunos afloramientos presentan aspecto moteado con puntos marrones (Fig. 20 A y B). La estructura interna es masiva, sin laminaciones visibles. con una base y techo neto.

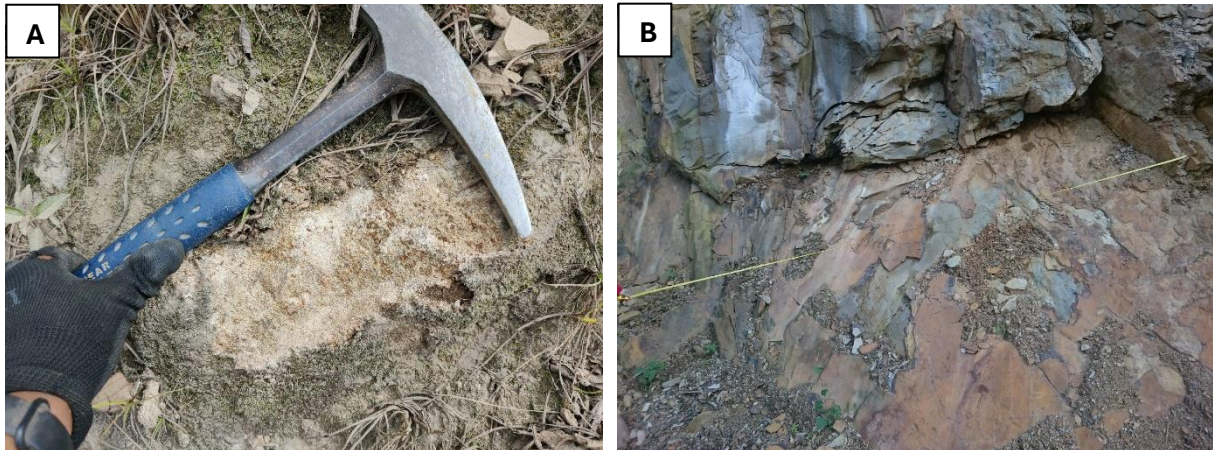


Figura 20. A. Areniscas masivas (Sm) con aspecto moteado. B. Areniscas masivas sin estructura interna.

**Interpretación (Sm):** Esta facies se interpreta como el producto de eventos de sedimentación por gravedad que impiden el desarrollo de estructuras sedimentarias internas. Depositados en un ambiente de frente deltaico.

## F13. Conglomerado polimíctico masivo (Gm)

Conglomerado polimíctico marrón rojizo oscuro, formado por clastos de arenisca y granito de 10 a 15 cm, los fragmentos son de cuarzo hialino, chert, hematita y lutita que alcanzan hasta los 5 cm de diámetro, con matriz arenosa y cemento ferruginoso. El espesor es de 1,8 metros, y con continuidad lateral (Fig. 21 A y B). Este conglomerado aflora en la sección del Mal Paso de Retama y no así en la sección de Bella Vista.

**Interpretación (Gm):** Este conglomerado es de suma importancia ya que marca un evento de erosión y relleno de canal en el límite de las cuencas del Devónico – Carbonífero y la interrupción de la progradación marina del Devónico. En trabajos anteriores no se identificó este conglomerado en esta sección por lo cual el límite inferior del Grupo Retama era de difícil determinación y había sido descrito como transicional.

Esta facies podría indicar el relleno como consecuencia de una caída de nivel de base que interrumpió la progradación de la plataforma clástica XR Geomap (2011) en la sección del Agosto de Beu.

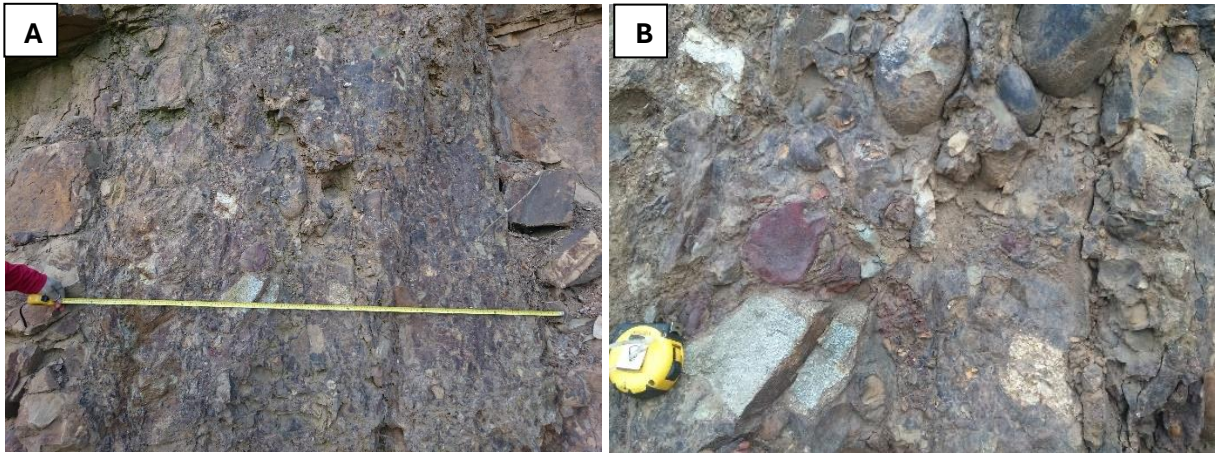


Figura 21. A. Conglomerado polimítico estrato volcado en la sección del mal Paso de Retama. B. Clastos de granitos y areniscas.

### Lag transgresivo a brecha litoclástica (Bm)

Se reconocen estructuras de corte y relleno (superficies erosivas canalizadas), de 20 a 50 cm de profundidad. En estos canales se observan litoclastos angulosos de areniscas y lutitas (o cantos blandos) con dimensiones de hasta 12 cm, en una matriz arenosa, clasificándolas como brecha sedimentaria de corto transporte (Fig. 22 A y B).

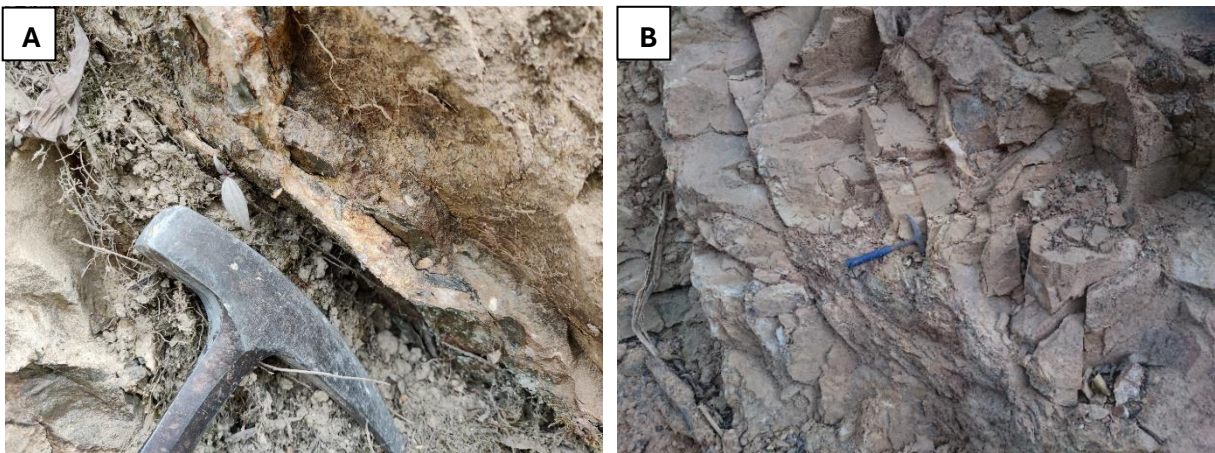


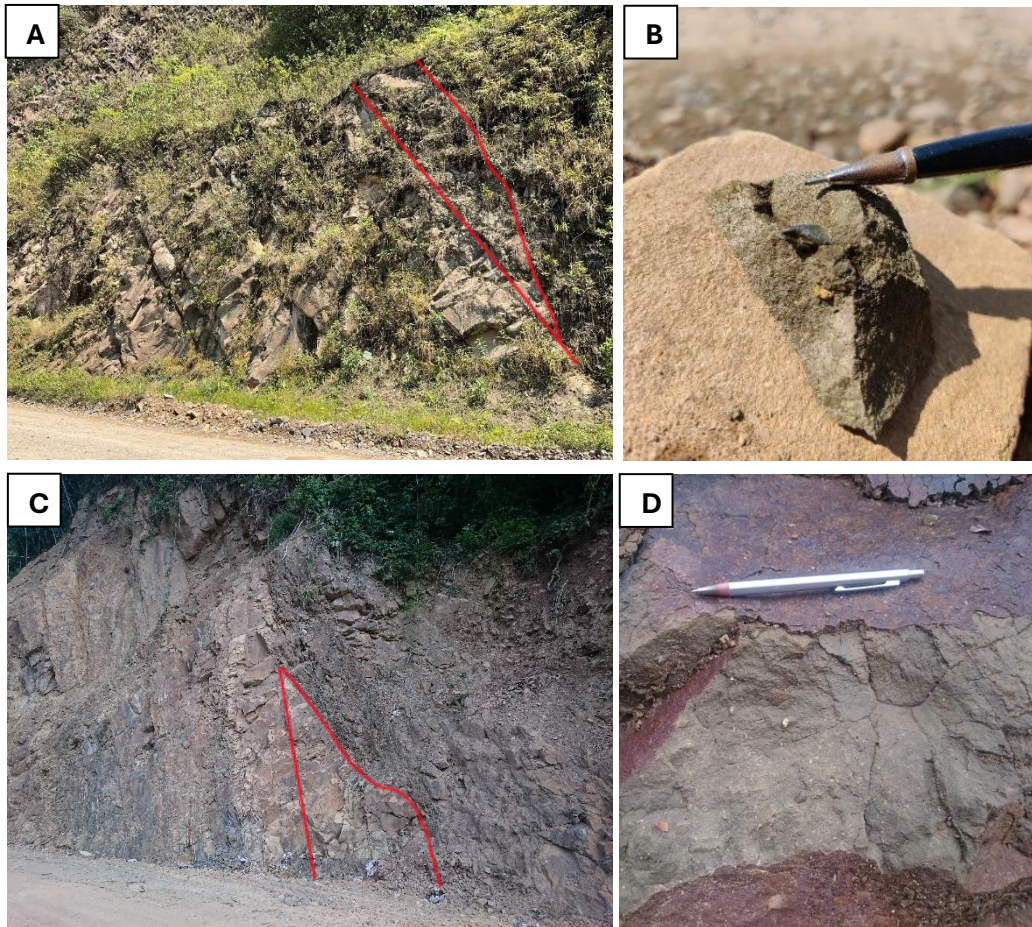
Figura 22. A y B. Brecha sedimentaria, en estructuras de corte y relleno.

**Interpretación (Bm):** Este nivel es interpretado como un lag transgresivo dentro de una superficie de *ravinement*, generado por acción de olas o marea durante la transgresión marina, que da el paso a un ambiente de sedimentos más finos y el límite formacional entre Toregua y Kaka.

### F14. Diamictita matriz soportada masiva (Dm)

Diamictita masiva de color gris olivo (5Y 4/1) a gris verdoso, con matriz limo-arenosa, se observan clastos de cuarzo facetados y líticos angulosos que varían entre 0.5 a 2 cm de

diametro. La estructura es masiva en forma de cuña con biselamiento invertido, base irregular erosiva y techo neto plano (Fig. 23 A, B, C y D).



*Figura 23. A. Diamictita masiva en cuña con biselamiento invertido en la sección de la Serranía de Bella Vista. B. Clastos angulosos de lutita y arenisca. C. Diamictita masiva en cuña con biselamiento invertido en la sección del Mal Paso de Retama. D. Clastos facetados de cuarzo blanquecino.*

### **Interpretación (Dm):**

Estas facies representan el relleno de un canal por debajo del nivel de base, que demuestra un cambio de energía del sistema asociado a flujos gravitacionales, procesos de resedimentación y mezcla de materiales. En los intervalos donde la plataforma estuviera recibiendo material procedente del deshielo glacial, estas facies podrían interpretarse dentro del marco de las “facies glaciomarinas isostáticas” propuestas por Edwards (1986), tal como se menciona en XR Geomap (2011).

De acuerdo con Suárez Soruco (2000), las unidades del carbonífero en el Subandino Norte representan una secuencia marina de plataforma somera con una marcada influencia glaciomarina y evidentes rasgos de resedimentación.

## **4.2. Asociaciones de facies del Grupo Retama**

A partir de la descripción detallada y el análisis de facies sedimentarias, se identificaron un total de 14 facies (Tabla 1), las cuales fueron agrupadas en 9 asociaciones de facies sedimentarias correspondientes al Grupo Retama (Tabla 2), donde se identificaron cuatro asociaciones para la Formación Toregua y cinco asociaciones para la Formación Kaka. Estas asociaciones permitieron reconocer los procesos sedimentarios dominantes en el área de estudio, facilitando la definición de los subambientes y ambientes sedimentarios presentes en el Bloque Lliquimuni.

Según Becar-Montaño y Toledo (1990) en Fasolo (2006) la interpretan como una sucesión de cuatro secuencias de progradación deltaica que suceden a la secuencia regresiva de línea de costa con la que culmina la serie devónica, configurando un paleoambiente costero deltaico.

### **Asociación de facies 1: Plataforma interna (offshore)**

*Facies: FSI, FSs, Srf, Frl, Fl.*

Esta asociación está compuesta por pelitas y areniscas con estratificación entrecruzada de bajo ángulo (FSI), arenas y limos con deformación sinsedimentaria tipo slump (FSs), areniscas con laminación fláser (Srf), pelitas con laminación lenticular (Frl) y pelitas con laminación ondulada (Fl). Representa un sistema de **plataforma interna** influenciado por procesos de tracción, suspensión y deformación sinsedimentaria. Las estructuras sedimentarias indican condiciones de energía variable, típicas de sectores someros de plataforma donde alternan eventos de alta y baja energía, posiblemente con influencia mareal o tormentas. Esta asociación refleja la dinámica típica de una plataforma interna activa, con zonas de mayor estabilidad intercaladas con eventos rápidos de sedimentación y deformación. Esta asociación de facies se observa en la base de las columnas del Mal Paso de Retama y Bella Vista, correspondientes a la Formación Tomachi base de este relevamiento estratigráfico correspondiente al Devónico Superior (ver Columna estratigráfica Anexo 1 y 2).

### **Asociación de facies 2: Shoreface inferior**

*Facies: Sl, Srf, Sm, Sh.*

Esta asociación incluye areniscas con estratificación entrecruzada de bajo ángulo (Sl), areniscas con laminación fláser (Srf), areniscas con estratificación masiva (Sm) y areniscas con estratificación paralela (Sh), corresponde a un ambiente de **playa** en el **shoreface inferior**, caracterizado por procesos de tracción, oscilación y decantación rápida. Las facies Sl indican migración de megaripples en condiciones de bajo flujo bidireccional; mientras que las facies Srf indican variaciones de energía con momentos de suspensión fina; las facies Sm representan depósitos de alta concentración asociados a eventos de tormenta; y las facies Sh

evidencian transporte laminar por corrientes de oscilatorias. En conjunto, estas facies reflejan un entorno somero, abierto y relativamente estable, dominado por oleaje de tormentas y fluctuaciones del nivel del mar.

### **Asociación de facies 3: Shoreface superior**

Facies: Sl, Sh, Gm, Sm.

La asociación está compuesta por areniscas con estratificación entrecruzada de bajo ángulo (Sl), areniscas con estratificación paralela (Sh), conglomerados polimícticos masivos (Gm) y areniscas masivas (Sm), esta asociación refleja un **ambiente costero** de alta energía (**Shoreface superior**). Las facies Sl indican migración de megaripples o barras formadas por oleaje; las facies Sh reflejan decantación arenosa con gradaciones normales; la presencia de conglomerados (Gm) evidencian eventos de alta energía vinculados a flujos de canal próximos al litoral “esta facies está presente en la sección del Mal Paso de Retama que es la base de la Fm Toregua; las facies Sm corresponden a depósitos de rápida acumulación por suspensión densa. En conjunto, esta asociación refleja un entorno dinámico, típico de la zona de alta energía del shoreface superior, influenciado por tormentas y resedimentación costera intensa.

### **Asociación de facies 4: Foreshore**

Facies: St, Sl, Sm, Sh, Slp.

La asociación está integrada por areniscas con estratificación entrecruzada en artesa (St), areniscas entrecruzadas de bajo ángulo (Sl), areniscas con estratificación paralela (Sh), areniscas masivas (Sm) y niveles de areniscas con restos de plantas (Slp), corresponde a un ambiente de **foreshore** con alta energía, dominado por oleaje y retrabajamiento litoral. Las facies St, presentan canales con base erosiva que indican corrientes de retorno; Las facies Sl y Sh reflejan transporte por tracción y oleaje fuerte; la presencia de facies Sm sugiere eventos de decantación rápida o relleno de microcanales; mientras que los niveles con restos de plantas (Slp) representan aportes continentales cercanos. En conjunto, la geometría tabular, y las estructuras sedimentarias reflejan condiciones de sedimentación en una playa abierta.

### **Asociación de facies 5: Prodelta**

Facies: Fh, Fl, Frl, Sh.

La asociación está compuesta por pelitas con laminación paralela (Fh), pelitas con laminación lenticular (Frl), pelitas con laminación ondulada (Fl) y capas delgadas de areniscas con estratificación paralela (Sh), representa un ambiente de **prodelta**, caracterizado por condiciones de baja energía y sedimentación predominantemente por suspensión. Las facies Fh y Fl corresponden a depósitos finos acumulados en ambientes profundos, donde la

decantación pelítica domina; la presencia de escasas facies Frl sugiere momentos esporádicos de energía variable; y las delgadas facies de Sh indican eventos puntuales de tracción débil, típicas de zonas distales al frente deltaico.

#### **Asociación de facies 6: Frente deltaico inferior**

Facies: Frl, Fh, Srf, Sh, Dm.

Esta asociación, compuesta por pelitas con laminación lenticular (Frl), pelitas con laminación paralela (Fh), areniscas con laminación flaser (Srf), areniscas con estratificación paralela (Sh) y bancos de diamictita masiva (Dm), refleja un ambiente dinámico entre el prodelta y el frente deltaico superior. Las facies pelíticas (Frl y Fh) indican sedimentación por suspensión en condiciones de energía baja a muy baja, con alternancia de periodos tranquilos y pulsos intermitentes de tracción débil; las facies arenosas (Srf y Sh) reflejan momentos de mayor energía; la presencia puntual de facies de diamictitas (Dm), con matriz pelítica y fragmentos dispersos de clastos facetados, sugieren procesos de caída de carga o flujo de lodo de baja densidad, asociados a eventos glaciomarininos inestables. Según Suárez Soruco (2000) las unidades del carbonífero en el Subandino Norte representa una secuencia marina de plataforma somera, con marcada influencia glaciomarina y evidentes rasgos de resedimentación.

#### **Asociación de facies 7: Frente deltaico superior**

Facies: Sl, Sh, Sm, Slp.

La asociación está compuesta por areniscas con estratificación entrecruzada de bajo ángulo (Sl), areniscas con estratificación paralela (Sh), areniscas masivas (Sm) y capas de areniscas con restos de plantas (Slp). Estas facies representan procesos característicos de **barras de desembocadura del frente deltaico superior**. Las facies Sl y Sh reflejan migración de barras y láminas arenosas en ambientes someros; las facies Sm corresponden a depósitos rápidos o relleno de canales poco profundos; la presencia de restos de plantas (Slp) indica una conexión directa con ambientes continentales cercanos. En conjunto, esta asociación refleja un ambiente de alta energía y aporte constante de sedimentos gruesos desde el continente hacia el sistema deltaico.

#### **Asociación de facies 8: Llanura deltaica - Canal distributivo**

Facies: St, Sh, Sm.

La asociación está formada por areniscas con estratificación entrecruzada en artesa (St), areniscas con estratificación paralela (Sh) y areniscas masivas (Sm) corresponde a depósitos típicos de **canales distributivos** de la llanura deltaica, donde la sedimentación está controlada por flujos de alta energía y transporte de sedimentos gruesos. Las facies St reflejan

migración de barras y relleno de canales con corrientes unidireccionales de bajo régimen de flujo, con geometrías erosivas en la base; las facies Sh representan fases de flujo más estable o decreciente, con láminas horizontales asociadas a condiciones de menor energía dentro del canal; las facies Sm indican procesos de decantación rápida o eventos de abandono.

### Asociación de facies 9: Llanura deltaica de abandono

Facies: Fc, Fb, Frl, Fl, Sl.

La asociación de facies compuesta por capas de carbón (Fc), pelitas bioturbadas (Fb), pelitas con laminación lenticular (Frl), pelitas con laminación ondulada (Fl) y niveles delgados de areniscas con estratificación entrecruzada de bajo ángulo (Sl), representa un ambiente de **llanura deltaica de abandono**, caracterizado por sedimentación en zonas mal drenadas y someras, con baja energía y acumulación de materia orgánica. Las facies Fc y Fb indican condiciones anóxicas en ambientes pantanosos o de marismas, donde la vegetación se acumula y se transforma en carbón; las pelitas laminadas (Frl, Fl) reflejan periodos de inundación leve. Este tipo de asociación de facies es característica de sectores distales del sistema deltaico, donde los canales distributarios han migrado o colapsado, dando lugar a condiciones de baja energía, acumulación de materia orgánica y formación de pantanos y marismas, como ha sido descrito en sistemas modernos y antiguos por Coleman (1981).

ASOCIACION DE FACIES	FACIES	SUB AMBIENTE	AMBIENTE SEDIMENTARIO
Asociación de facies 1	FSI, FSs, Srf, Frl, Fl	Plataforma interna	Plataforma
Asociación de facies 2	Sl, Srf, Sm, Sh	Shoreface inferior	Playa
Asociación de facies 3	Sl, Sh, Gm, Sm	Shoreface superior	
Asociación de facies 4	St, Sl, Sm, Sh, Slp	Foreshore	
Asociación de facies 5	Fh, Frl, Fl, Srf, Sh	Prodelta	Deltaico
Asociación de facies 6	Frl, Fh, Srf, Sh, Dm	Frente deltaico inferior	
Asociación de facies 7	Sl, Sh, Sm, Slp	Frente deltaico superior	
Asociación de facies 8	St, Sh, Sm	Canal distributario	
Asociación de facies 9	Fc, Fb, Frl, Fl, Sl	Llanura deltaica de abandono	

*Tabla 2. Resumen de asociaciones de facies para el Grupo Retama en el Bloque Lliquimuni, que reflejan un sistema deltaico mixto, con influencia de ambientes de playa y plataforma.*

Dada la limitada exposición lateral de los afloramientos, restringidos principalmente a cortes de talud y cubiertos por densa vegetación, no fue posible identificar elementos arquitecturales. Además, las columnas estratigráficas analizadas presentan una separación de aproximadamente 35 km, lo que dificulta aún más la interpretación directa de geometrías sedimentarias individuales.

No obstante, esta escala espacial resulta adecuada para llevar a cabo una correlación estratigráfica regional, orientada a interpretar la distribución lateral de asociaciones de facies y los cambios verticales en la sucesión sedimentaria.

#### **4.2.1. Interpretación Paleoambiental**

El análisis de las asociaciones de facies del Grupo Retama en el Bloque Lliquimuni ha permitido reconstruir una evolución paleoambiental influenciada por cambios relativos del nivel del mar, en interacción con una dinámica tectosedimentaria tanto local como regional.

Las facies asignadas al Grupo Retama corresponden a medios sedimentarios transicionales, dominados por sistemas de playas y deltas con influencia del oleaje, desarrollados en un contexto climático glaciomarino.

La secuencia inicia con depósitos de playa asociados a la Formación Toregua, en los que se reconocen subambientes de shoreface inferior, shoreface superior y foreshore, característicos de eventos regresivos en condiciones de alta energía. El espesor de esta formación varía entre las secciones estudiadas: en el sector del Mal Paso de Retama se identifican dos sucesiones progradantes de playa, mientras que en la Serranía de Bella Vista se reconoce una sola sucesión progradante (Fig. 24). Esta diferencia podría estar relacionada con la fase Eohercínica durante el Devónico Superior, que habría condicionado la acumulación de los depósitos.

Tras el desarrollo de los sistemas de playa, se produce un aumento significativo en el aporte de sedimentos terrígenos, acompañado por una alta tasa de subsidencia, lo que favorece la instalación de un sistema deltaico influenciado por oleaje, representado en la Formación Kaka. En esta unidad se identifican tres sucesiones progradantes deltaicas (Fig. 24), compuestas por facies bien diferenciadas que incluyen subambientes de prodelta, frente deltaico, barras de desembocadura, canales distributarios y llanura deltaica de abandono. Los episodios de menor aporte sedimentario o abandono temporal del sistema dieron lugar a condiciones anóxicas y sedimentación más fina, lo que favoreció la acumulación de niveles carbonosos del Carbonífero Inferior.

Finalmente, el sistema deltaico cesa su actividad, con el abandono progresivo de las llanuras deltaicas y una reducción del aporte detrítico. Esta fase pasiva marca la transición hacia un ambiente de plataforma marina somera, reflejado en las facies de areniscas calcáreas y calizas de la Formación Copacabana, lo que indica el establecimiento de una transgresión marina y un cambio en el sistema deposicional hacia condiciones más estables y carbonatadas.

#### 4.2.2. Correlación estratigráfica de las secciones del Mal Paso de Retama y la Serranía de Bella Vista

A partir del levantamiento de las columnas estratigráficas en superficie (Anexos 1 y 2), se estimó que el Grupo Retama presenta un espesor aproximado de 275 m en el Mal paso de Retama, mientras que en la Serranía de Bella Vista alcanza los 185 m. los límites formacionales fueron definidos mediante cambios litológicos netos, contrastes en las asociaciones de facies y la identificación de discontinuidades estratigráficas bien marcadas. La información obtenida en ambas columnas permitió delimitar las formaciones que conforman el Grupo Retama, así como establecer una base para su correlación regional. Los espesores registrados se detallan de manera comparativa en la siguiente (Tabla 3).

Sección	Grupo Retama	Formación Toregua	Formación Kaka
Mal paso de Retama	275 m	128 m	147 m
Bella Vista	185 m	62 m	123 m

*Tabla 3. Espesores presentes en las columnas estratigráficas para el Grupo Retama.*

La correlación estratigráfica entre las secciones del Mal Paso de Retama y la Serranía de Bella (Fig. 24), se basó en la distribución vertical y lateral de las asociaciones de facies, la identificación de contactos litológicos netos y la presencia de niveles guía, como horizontes de lutitas carbonosas y cuerpos arenosos masivos. Esta correlación permitió reconocer la continuidad lateral de las formaciones Toregua y Kaka del Grupo Retama, a pesar de las variaciones locales en espesor y expresión litológica. Las similitudes observadas en la sucesión vertical de facies sugieren un control sedimentario regional, asociados a medios sedimentarios de plataforma somera y sistemas transicionales de playa y delta. La correlación obtenida respalda la interpretación paleoambiental propuesta y proporciona una base para las correlaciones con subsuelo.

**CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA DE LAS SECCIONES DEL MAL PASO DE RETAMA Y LA SERRANÍA DE BELLA VISTA**

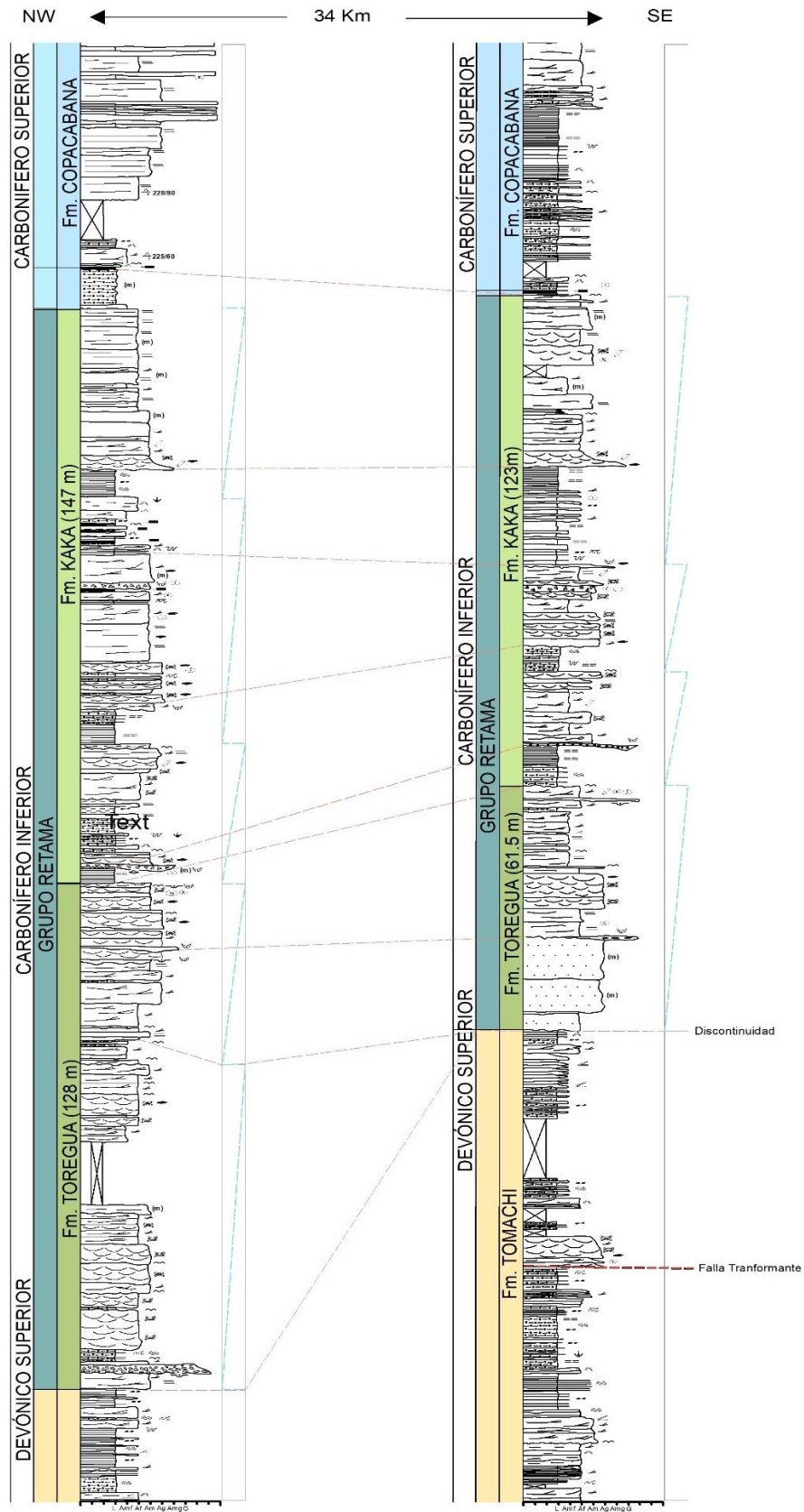


Figura 24. Correlación estratigráfica a lo largo del flanco suroeste del Sinclinal de Mayaya dentro del Bloque Lliqimuni.

### 4.3. Análisis de registros de pozos

El análisis de registros geofísicos constituye una herramienta fundamental para caracterizar unidades litoestratigráficas en el subsuelo. En este estudio se analizaron los registros de rayos gamma (GR) de los pozos Tacuaral-X2 (TCR-X2) y Lliquimuni Centro-X1 (LQC-X1), ambos ubicados en el alineamiento estructural denominado Anticlinal de Lliquimuni – Tacuaral, a lo largo de la Serranía de Marimonos, con una dirección de NW a SE (Fig. 25). Estos dos pozos son los únicos, de un total de cinco pozos perforados en el Bloque Lliquimuni, que alcanzaron unidades correspondientes al Carbonífero. Estos registros, disponibles en formato imagen (Fig. 26 y 27), fueron analizados con el objetivo de identificar unidades litológicas, establecer tendencias verticales y ambientes deposicionales, para posteriormente correlacionarlas con las asociaciones de facies observadas en superficie.

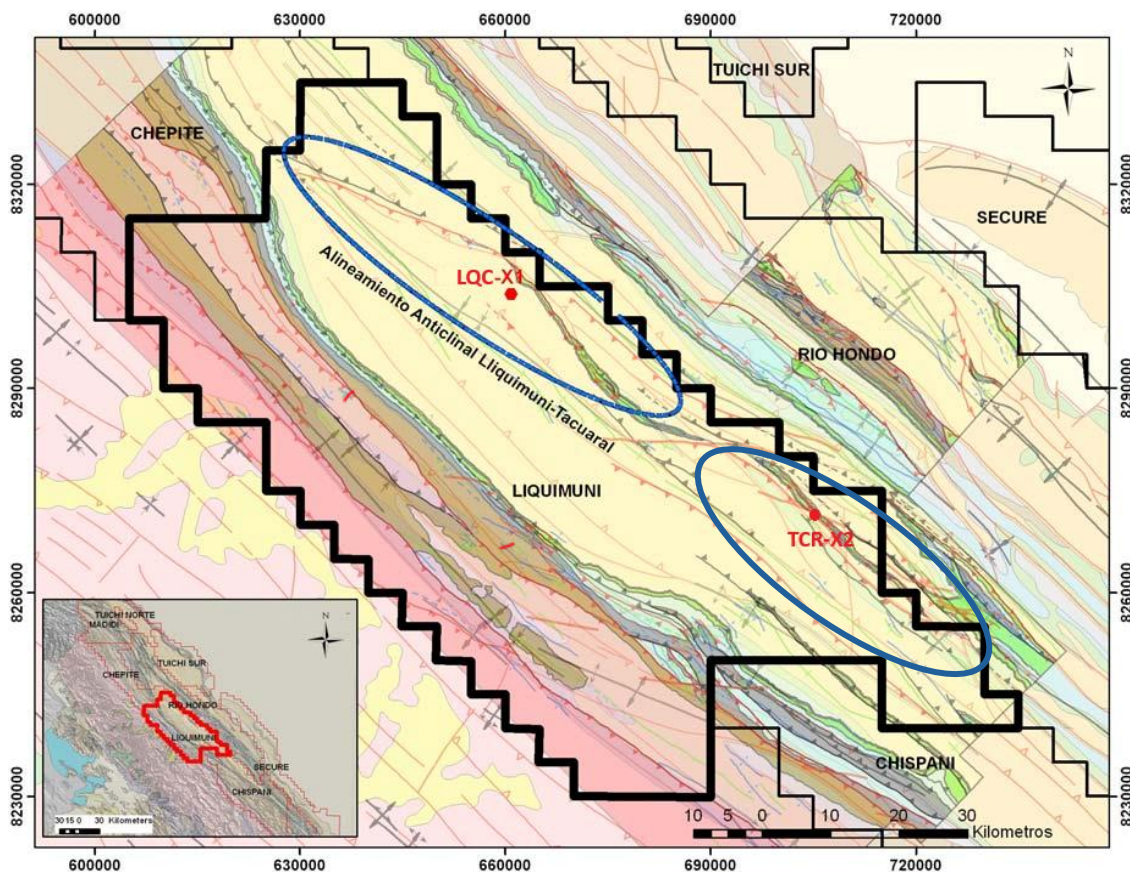


Figura 25. Contexto geológico del Bloque Lliquimuni y ubicación de los Pozos LQC-X1 y TCR-X2 (Modificado, YPFB Petroandina SAM (2011)).

La curva de Gamma Ray (GR) registra la radiactividad natural de las rocas, reflejando principalmente la presencia de elementos radioactivos como el potasio, el torio y el uranio, comúnmente asociados a minerales arcillosos (Rider & Kennedy, 2011). Por ello, constituye un indicador indirecto del contenido de pelitas (lutitas, limolitas y arcillas) en las unidades sedimentarias, permitiendo inferir la litología y las variaciones en el ambiente de sedimentación.

### 4.3.1. Interpretación de registros gamma ray (GR)

El análisis estratigráfico de los pozos LQC-X1 (Fig.26) y TCR-X2 (Fig. 27) se realizó a partir de las curvas GR en función de su forma, tendencia y amplitud, permitiendo identificar litologías predominantes y contactos estratigráficos. Los intervalos de baja respuesta GR se asociaron a niveles arenosos o limpios, mientras que los intervalos de alta respuesta se interpretaron como depósitos arcillosos o lutíticos y en algunos casos lutitas carbonosas. Además, se reconocieron patrones de superposición y secuencias agradacionales, progradacionales y retrogradacionales.

Aunque el presente estudio no realiza una interpretación petrofísica detallada, la información derivada del GR fue útil para establecer correlaciones estratigráficas regionales entre el subsuelo y las columnas de superficie (Fig. 29 y 30).

### Pozo LQC-X1 (Lliquimuni Centro X-1)

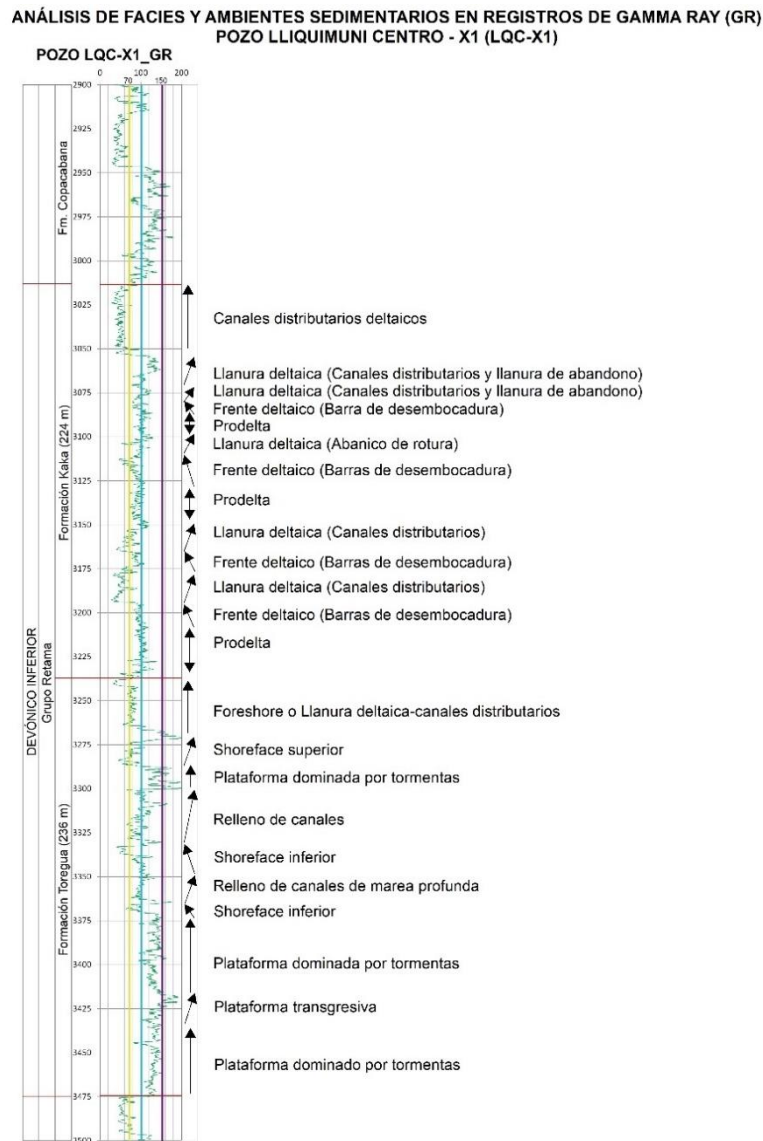


Figura 26. Análisis de electrofacies y ambientes sedimentarios del Grupo Retama en el pozo LQC-X1

- **Análisis de electrofacies de la Formación Kaka pozo LQC-X1 (3014-3238 m):**

**Tramo 3014-3055 m:** GR entre 35-60 API, forma de cilindro. Predominantemente areniscas limpias, bien seleccionadas, correspondientes a un ambiente de alta energía, interpretado como frente deltaico superior o llanura deltaica con canales distributarios activos.

**Tramo 3055-3070 m:** GR entre 80-150 API, curva tipo campana. Contacto basal neto y tope gradacional. Secuencia granodecreciente desde areniscas arcillosas a limolitas, depositados en un ambiente de llanura deltaica representando canales distributarios que evolucionan hacia depósitos de llanura de abandono con presencia de lutitas y lutitas carbonosa.

**Tramo 3070-3081 m:** GR entre 80-120 API, forma de campana. Sucesión de areniscas arcillosas y limolitas, intercaladas con niveles de lutita. Corresponde a un ambiente de llanura deltaica, con transición de canales distributarios a llanura deltaica de abandono.

**Tramo 3081-3090 m:** GR entre 80-125 API, forma de embudo. Secuencia granocreciente de lutitas a limolitas y areniscas, interpretadas como depósitos de barra de desembocadura en el frente deltaico.

**Tramo 3090-3100 m:** GR entre 85-110 API, curva aserrada. Predominio de facies de lutitas intercalado con delgados niveles de limolita o arenisca muy fina, depositadas en un ambiente prodeltaico.

**Tramo 3100-3112 m:** GR entre 50-120 API, forma de campana. Cuerpo delgado de arenisca (pocos metros de espesor) intercalado entre intervalos de lutita, interpretado como canal de arena dentro de una llanura deltaica.

**Tramo 3112-3125 m:** GR entre 45-110 API, forma de embudo. Secuencia grano creciente de limolitas hacia areniscas limpias, característico de barras de desembocadura en el frente deltaico.

**Tramo 3125-3150 m:** Gr entre 70-110 API, forma aserrada. Limolitas intercaladas con niveles delgados de lutita o arcilla, depositados en un ambiente prodeltaico.

**Tramo 3150-3166 m:** GR entre 40-120 API, forma de campana. Secuencia granodecreciente desde areniscas limpias hacia areniscas con matriz limolítico y limolitas, indicando depósitos de canales distributarios en una llanura deltaica.

**Tramo 3166-3172 m:** GR entre 80-100 API, forma de embudo. Presencia de areniscas y limolitas depositadas en un ambiente de frente deltaico, particularmente en barras de desembocadura.

**Tramo 3172-3194 m:** GR entre 35-90 API, forma de campana. Cuerpos de areniscas limpias de gran espesor con niveles de limolitas, interpretado como canales distributarios en la llanura deltaica.

**Tramo 3194-3207 m:** GR entre 90-120 API, forma de embudo. Secuencia granocreciente de lutitas hacia limolitas i areniscas, correspondientes a barras de desembocadura en el frente deltaico.

**Tramo 3207-3238 m:** GR entre 95-120 API, forma aserrada. Secuencia de lutitas intercalada con limolitas y algunos niveles basales de areniscas limpias. Ambiente interpretado como prodelta.

- **Análisis de electrofacies de la Formación Toregua pozo LQC-X1 (3238-3474 m):**

**Tramo 3238-3270 m:** GR entre 70-95 API, forma de cilindro. Areniscas y limolitas depositadas en un ambiente de foreshore, con rellenos de canal compuestos por bancos de arenisca limpia.

**Tramo 3270-3283 m:** GR entre 35-100 API, forma campana. Areniscas limpias en la base que granodecrecen hacia areniscas y limolitas, interpretadas como depósitos de canales en el shoreface.

**Tramo 3283-3300 m:** GR entre 120-200 API, forma aserrada. Intercalaciones de lutitas y arcillas, con niveles >150 API de lutitas ricas en materia orgánica, característicos de una plataforma marina influenciado por tormentas.

**Tramo 3300-3330 m:** GR entre 65-110 API, forma de campana. Areniscas limpias a areniscas con matriz arcillosa, pasando a limolitas y lutitas, interpretadas como rellenos de canales en el shoreface.

**Tramo 3330-3351 m:** GR entre 40-120 API, forma de embudo. Progradación de lutitas a limolitas y finalmente a areniscas limpias, propias de un ambiente de shoreface inferior.

**Tramo 3351-3365 m:** GR entre 80-130 API, forma de campana. Areniscas y limolitas, depositadas como rellenos de canales de marea profunda.

**Tramo 3365-3371 m:** GR entre 65-120 API, forma de embudo. Lutitas progradando a limolitas y posteriormente a areniscas limpias, en un ambiente de shoreface inferior.

**Tramo 3371-3418 m:** GR entre 100-150 API, forma aserrada. Lutitas intercaladas con escasos niveles de limolitas o areniscas muy finas, propias de una plataforma marina dominada por tormentas.

**Tramo 3418-3434 m:** Gr entre 110-190 API, forma de campana. Lutitas con alto contenido de materia orgánica, depositadas en una plataforma transgresiva.

**Tramo 3434-3474 m:** GR entre 120-150 API, forma aserrada. Lutitas con intercalaciones de escasos niveles de limolitas o areniscas muy finas, características de una plataforma marina influenciada por tormentas.

### Pozo TCR-X2 (Tacuaral X-2)

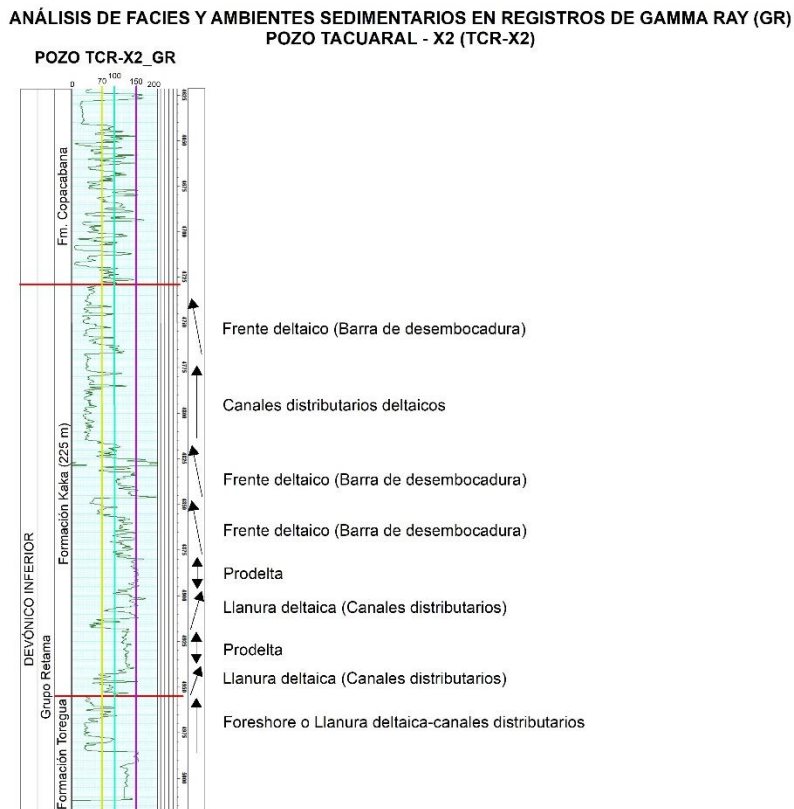


Figura 27. Análisis de electrofacies y ambientes sedimentarios del Grupo Retama en el pozo TCR-X2.

- **Análisis de electrofacies de la Formación Kaka pozo TCR-X2 (4729-4954 m):**

**Tramo 4729-4765 m:** GR entre 35-120 API, forma de embudo. Secuencia granocreciente desde lutitas hacia limolitas y areniscas limpias, típicas de ambiente de frente deltaico, particularmente de barras de desembocadura.

**Tramo 4765-4815 m:** GR entre 35-55 API, forma de cilindro. Predominantemente areniscas limpias, bien seleccionadas, lo que sugiere depósitos correspondientes a canales distributarios en una llanura deltaica.

**Tramo 4815-4845 m:** GR entre 200-65 API, forma de embudo. Secuencia granocreciente de lutitas a limolitas hasta areniscas limpias, hacia la base se observa valores de GR > a 150 API

que indica acumulación de lutitas carbonosas, depositadas en un ambiente de frente deltaico, particularmente en barras de desembocadura.

**Tramo 4845-4880 m:** GR entre 155-40 API, forma de embudo. Secuencia progradacional de lutitas y limolitas hacia areniscas limpias, interpretadas como barras de desembocadura dentro del frente deltaico.

**Tramo 4880-4896 m:** GR entre 140-155 API, forma aserrada. Facies compuestas por lutitas ricas en materia orgánica, lo cual es característica de un ambiente de prodelta.

**Tramo 4896-4918 m:** GR entre 40-150 API, forma de campana. Sucesión granodecreciente desde areniscas limpias de canales distributarios, hasta lutitas, lo que sugiere un proceso de abandono en una llanura deltaica.

**Tramo 4918-1940 m:** GR entre 120-140 API, forma aserrada. Facies de lutitas, característicos de ambientes de prodelta.

**Tramo 4940-4954 m:** GR entre 40-140 API, forma simétrica (tipo “reloj de arena”). Se observa una transición desde lutitas y limolitas hacia areniscas limpias, para luego retrogradar nuevamente a facies más pelíticas. Esta sucesión indica una transición de transgresión a regresión correspondientes a un ambiente de shoreface a prodelta.

- **Análisis de electrofacies de la Formación Toregua pozo TCR-X2 (4954-X m):**

**Tramo 4954-4985 m:** GR entre 35-100 API, forma de cilindro. Sucesión de areniscas limpias hacia la base, gradando hacia intercalaciones con limolitas. Se interpreta como un depósito de ambiente de foreshore.

#### **4.3.2. Análisis y correlación entre los pozos LQC-X1 Y TCR-X2**

La correlación estratigráfica entre los pozos Lliquimuni Centro – X1 (LQC-X1) y Tacuaral – X2 (TCR-X2) (Fig. 28), ubicados en el bloque Lliquimuni y dispuestos a lo largo del Anticlinal de Lliquimuni-Tacuaral con una dirección NW–SE con una separación aproximada de 56 km, se realizó a partir del análisis de registros de gamma ray (GR). El objetivo principal fue establecer equivalencias estratigráficas entre ambos pozos, identificar unidades sedimentarias comunes y evaluar su continuidad lateral.

Esta correlación permitió identificar paquetes sedimentarios equivalentes dentro de la Formación Kaka, los cuales reflejan una distribución lateral coherente de ambientes deltaicos en ambos pozos, destacando una progradación de facies desde ambientes de prodelta a frente deltaico. En cuanto a la Formación Toregua, no fue posible completar su correlación, debido a que los registros del Pozo TCR-X2 no abarcan en su totalidad dicha formación.

# CORRELACIÓN GAMMA RAY DE LOS POZOS LQC-X1 Y TCR-X2

NW ← 56 Km → SE

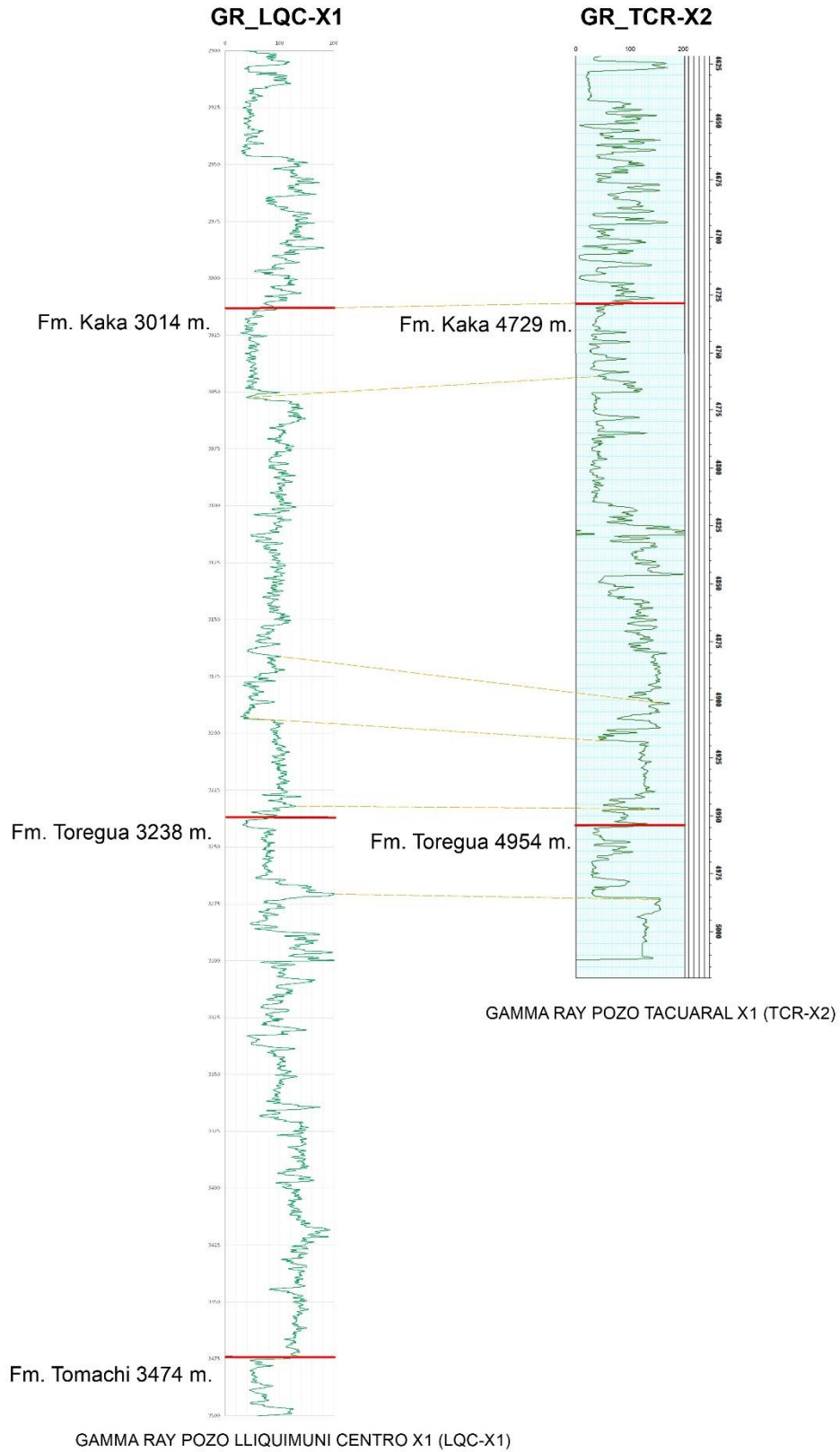


Figura 28. Correlación estratigráfica basado en criterios de superficies clave.

#### **4.4. Correlación e integración con datos de superficie y subsuelo**

La correlación entre las columnas estratigráficas de superficie y los registros de pozos se llevó a cabo considerando la proximidad geográfica entre las secciones aflorantes y los pozos perforados. En este sentido, la sección Mal Paso de Retama fue correlacionada con el pozo Lliquimuni Centro-X1 (LQC-X1), mientras que la sección Bella Vista con el pozo Tacuaral-X2 (TCR-X2). Esta asociación permitió establecer relaciones estratigráficas coherentes entre los datos de superficie y subsuelo.

La correlación entre la columna estratigráfica de la sección Mal Paso de Retama y el registro de pozo Lliquimuni Centri-X1 (LQC-X1) (Fig. 29), separados por una distancia aproximadamente de 25 Km que permitió establecer equivalencias generales dentro del Grupo Retama. Aunque se observa una diferencia notable en los espesores, 275 m en afloramiento frente a 460 m en el pozo, esta diferencia puede explicarse por una mayor profundidad y subsidencia de la cuenca hacia el pozo, lo que favoreció una acumulación sedimentaria más gruesa. Adicionalmente, la geometría estructural del anticlinal en subsuelo, el buzamiento de los estratos y la orientación de perforación del pozo podrían haber influido en un espesor aparentemente mayor, al atravesar las unidades con cierta inclinación. La Formación Kaka muestra una buena correlación entre ambas secciones, principalmente por la continuidad de facies lutíticas. En cambio, la Formación Toregua presenta dificultades para establecer una correlación precisa, posiblemente por variaciones laterales de facies.

La correlación entre la columna estratigráfica de la sección Bella Vista y el pozo Tacuaral-X2 (TCR-X2) (Fig. 30), separados por una distancia aproximada de 42 km, permitió establecer correspondencias estratigráficas generales dentro del Grupo Retama. La Formación Kaka muestra una buena correlación entre ambos puntos, sustentada en la identificación de facies lutíticas, lo que sugiere una distribución lateral consistente de los depósitos de prodelta a frente deltaico. Sin embargo, la correlación con la Formación Toregua no pudo completarse, ya que el registro de gamma ray del pozo TCR-X2 no alcanza a atravesar completamente las unidades correspondientes al Carbonífero, limitando así la comparación con los afloramientos. Esta correlación parcial indica que, aunque existe coherencia en las unidades inferiores, la información de subsuelo para los niveles superiores es incompleta.

Asimismo, las litologías registradas en superficie (areniscas finas, limolitas y lutitas) mostraron correspondencia con los valores de radiactividad, lo que validó la asociación de facies deltaicas.

Esta correlación permitió afinar la interpretación ambiental y ajustar la posición de contactos formacionales, contribuyendo a una reconstrucción más robusta del modelo estratigráfico regional.

**CORRELACIÓN DE SUPERFICIE CON SUBSUELO  
COLUMNA ESTRATIGRÁFICA MAL PASO DE RETAMA  
REGISTROS DE GAMMA RAY POZO LLIQUIMUNI-X1 (LQC-X1)**

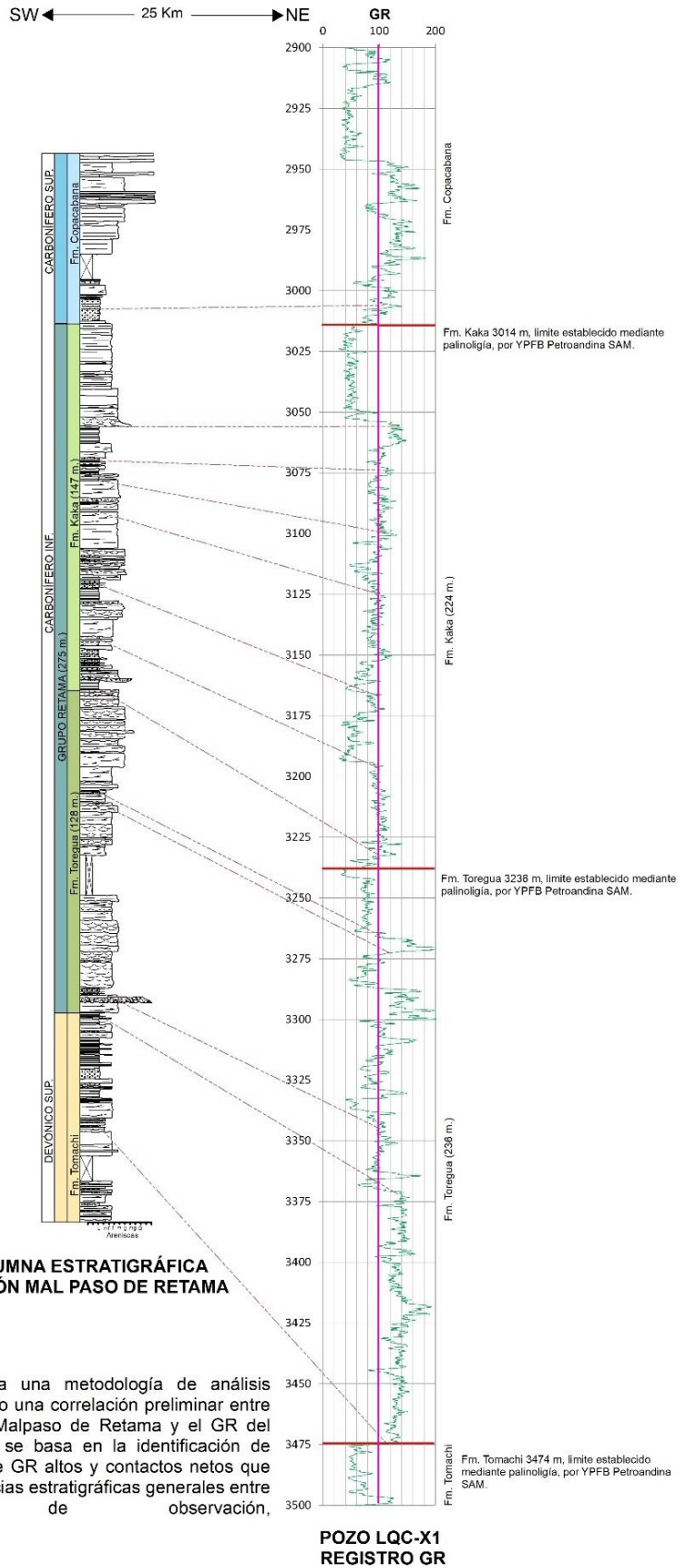


Figura 29. Correlación entre la columna estratigráfica del Mal Paso de Retama con el Pozo LQC-X1.

**CORRELACIÓN DE SUPERFICIE CON SUBSUELO  
COLUMNA ESTRATIGRÁFICA BELLA VISTA  
REGISTROS DE GAMMA RAY POZO TACUARAL-X2 (TCR-X2)**

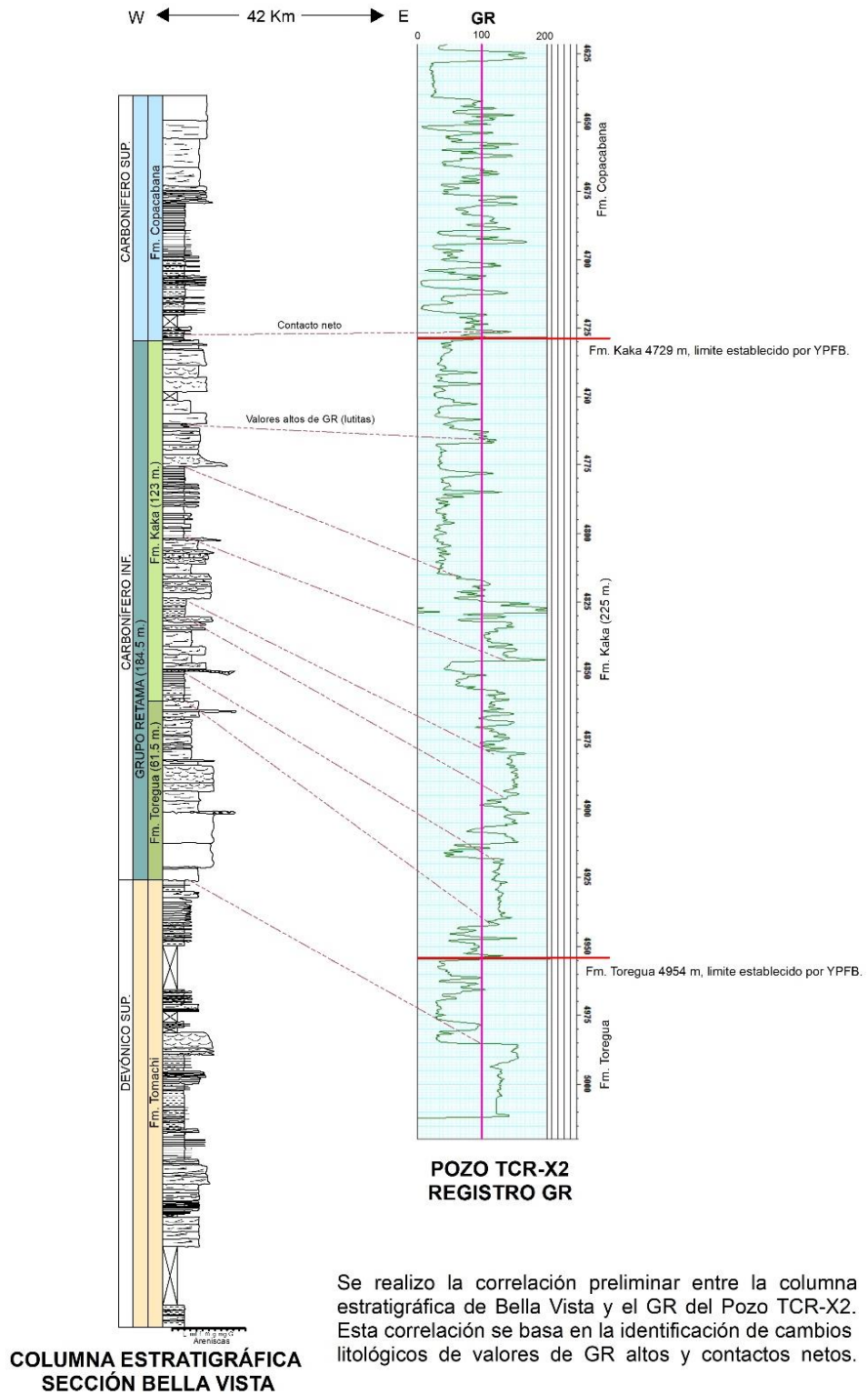


Figura 30. Correlación entre la columna estratigráfica Bella Vista con el Pozo TCR-X2.

## 5. Discusión

### **5.1. Límites formacionales**

#### **Límite inferior del Grupo Retama (Formaciones Toregua y Kaka)**

El contacto basal es de carácter discontinuo y está representado por facies heterolíticas de plataforma, correspondientes a la Formación Tomachi, que se extiende a lo largo del área de estudio. Según Vargas (1977), citado por Oller y Franco (1980), este contacto con el Grupo Retama es de difícil determinación en el río Kaka debido a su carácter transicional. Estudios más recientes de XR Geomap (2011) tampoco lograron identificar con claridad este límite en el río Kaka, aunque sí lo reconocieron en la sección del río Beu. Por otro lado, investigaciones en el Subandino Norte mencionan la presencia de un conglomerado basal y/o una discordancia angular como rasgos distintivos del contacto.

En este estudio, en la sección del Mal Paso de Retama se identificó un conglomerado basal que consideramos que corresponde a la Formación Toregua dentro del Grupo Retama, mientras que en la sección de Bella Vista no se observó esta característica. Esta discontinuidad sugiere la existencia de un evento tectónico, posiblemente el levantamiento de un bloque.

El contacto entre la Formación Toregua y la Formación Kaka es de carácter disconforme, evidenciado por una superficie erosiva bien marcada. Según López (1967), el límite inferior de la Formación Kaka se define por la aparición de las primeras diamictitas. Sin embargo, de acuerdo con XR Geomap (2011), en el río Kaka estas diamictitas no son tan abundantes como en otras secciones más al NE, como las del río Beu y la serranía de Quiquibey.

En el área de estudio, a techo de la sucesión progradante de la Formación Toregua, se identificaron estructuras de corte y relleno con clastos angulosos, las cuales se interpretan como una brecha sedimentaria. Esta unidad es seguida por facies más distales de prodelta que contienen clastos caídos y deformados, y posteriormente por diamictitas correspondientes a la Formación Kaka, lo que evidencia una transición ligada a procesos glaciomarininos. Esta evidencia coincide con los registros del Subandino Sur de Bolivia (Suárez Soruco, 2000), donde se documentan depósitos glaciomarininos similares durante el Devónico Superior. La presencia de estas facies sugiere una influencia glacial de carácter regional sobre la cuenca gondwánica, aunque en Lliquimuni su intensidad parece haber sido más leve.

#### **Límite superior del Grupo Retama (Formaciones Toregua y Kaka)**

El límite superior de la Formación Kaka es de carácter discontinuo y está marcado por la aparición de areniscas calcáreas y calizas pertenecientes a la Formación Copacabana. Este cambio litológico se relaciona con una transición climática significativa en el oeste de

Gondwana, atribuida a la migración del paleo polo, lo cual habría generado un ascenso de las temperaturas en la región (Constantini et al., 2018).

En el área de estudio, este límite se reconoce por la presencia de lutitas carbonosas del tope de la Formación Kaka, interpretadas como depósitos de llanuras deltaicas en abandono, seguidas por una transición gradual hacia facies más continentales, características de la Formación Copacabana.

### **Límite inferior y superior en registros Gamma Ray del Grupo Retama.**

Si bien durante la perforación del Pozo LQC-X1 se establecieron ciertos límites formacionales para el Grupo Retama, en el presente estudio se adoptan dichos límites como referencia para las correlaciones. No obstante, en este capítulo de discusión se plantea una reinterpretación de los contactos formacionales, fundamentada en el análisis de la curva gamma ray (GR), las asociaciones de facies y su comparación con las columnas estratigráficas de superficie.

En particular, se propone ubicar el límite inferior del Grupo Retama a una profundidad de 3371 m, en el Pozo LQC-X1, donde se registra una disminución abrupta en los valores de GR, lo cual marca el paso de facies pelíticas de la Formación Tomachi a facies arenosas correspondientes a la Formación Toregua, interpretadas como depósitos de ambientes transicionales de costa. Por su parte, el límite superior se mantiene conforme a la interpretación original establecida durante la perforación, donde se observa un aumento progresivo de la radioactividad, vinculado al paso de areniscas hacia las facies pelíticas, que corresponden al tramo de tránsito a la formación Copacabana.

### **5.2. Modelo paleoambiental del Grupo Retama**

El análisis integrado de registros de pozos (GR) y de las columnas estratigráficas de superficie ha permitido reconstruir un modelo paleoambiental para el Grupo Retama (Devónico Superior-Carbonífero Inferior) en el Bloque Lliquimuni. La interpretación de estos datos sugiere un medio sedimentario dominado por sistemas transicionales costeros, principalmente ambientes de playa y delta influenciados por el oleaje, con una clara tendencia progradante regresiva desde ambientes relativamente más profundos hacia depósitos más proximales en la parte superior de la sucesión.

Esta interpretación coincide parcialmente con la propuesta de XR Geomap (2011), que plantea que el medio sedimentario se desarrolló en una plataforma marina somera afectada por condiciones glaciales, caracterizada por la presencia de diamictitas, particularmente hacia el NE de la cuenca. A su vez, Becar-Montaña y Toledo (1990) describen esta unidad como una sucesión de cuatro secuencias deltaicas progradantes que suceden a la fase regresiva final de la sucesión devónica. Al comparar esta información con las columnas estratigráficas

levantadas, se identificaron al menos tres sucesiones deltaicas progradantes en la Formación Kaka, mientras que hacia el suroeste de la cuenca se reconocen facies más distales según datos de los pozos, lo que refuerza la interpretación de un sistema transicional con influencia marina decreciente.

### **Control tectónico y acomodación**

Una de las primeras observaciones relevantes en la cuenca del Carbonífero Inferior es la ausencia de una sucesión progradante en el sector SE de la sección Bella Vista (Fig. 24). Esta discontinuidad sugiere la existencia de un levantamiento tectónico durante ese periodo, posiblemente asociado al evento Hercínico, el cual habría limitado la generación de espacios de acomodación, cuya influencia en la región de Quiquibey ha sido documentada por XR Geomap (2011) para el intervalo comprendido entre el Devónico Superior y el Carbonífero Inferior. Por otro lado, la Formación Kaka representa un intervalo que no parece haber sido afectado por dicho levantamiento tectónico, ya que en ambas columnas estratigráficas se identificaron tres sucesiones sedimentarias progradantes, desarrolladas en ambientes deltaicos transicionales, con evidencia de una leve influencia glacial.

- **Limitaciones del estudio**

Si bien el análisis permitió una interpretación coherente de la evolución paleoambiental del Grupo Retama, el estudio presenta algunas limitaciones. La interpretación en subsuelo se basa únicamente en registros gamma ray, sin testigos ni registros complementarios, lo que limita significativamente la precisión litológica. En superficie, aunque se dispone de columnas detalladas, no se cuenta con dataciones absolutas ni análisis petrográficos. Además, la correlación entre afloramientos y pozos abarca distancias de hasta 42 km, lo que introduce incertidumbre lateral, especialmente en zonas estructuralmente complejas como es el Subandino Norte.

## 6. CONCLUSIONES

Los afloramientos del Grupo Retama (Carbonífero Inferior) en el Bloque Lliquimuni, aunque se encuentran volcados por la deformación Andina, no presentan pliegues ni fallas significativas, lo que ha permitido conservar la sucesión estratigráfica completa. Esta condición ha permitido realizar el estudio estratigráfico y el análisis de facies en el área.

En el Bloque Lliquimuni, el Grupo Retama se divide en dos formaciones: Toregua y Kaka. La Formación Toregua presenta espesores que varían entre 128 y 62 m, lo cual se atribuye a la influencia de un levantamiento tectónico hacia el SE del área. En cambio, la Formación Kaka muestra una variación de espesor menor, entre 147 y 123 m, lo que indica una mayor continuidad en la sedimentación.

A partir del análisis de las columnas estratigráficas de superficie, se identificaron 14 facies y 9 asociaciones de facies sedimentarias lo que permitió interpretar su evolución paleoambiental. La Formación Toregua muestra dos sucesiones progradantes desarrolladas en ambientes sedimentarios transicionales de costa (shoreface y foreshore), mientras que la Formación Kaka presenta tres sucesiones progradantes asociadas a ambientes deltaicos (Prodelta, frente deltaico y llanura deltaica), con evidencia de una leve influencia glacial. Esta sucesión culmina con el establecimiento de un ambiente de plataforma marina somera, representado por las areniscas calcáreas y calizas de la Formación Copacabana.

Los registros de gamma ray (GR) resultaron fundamentales para interpretar los límites formacionales y las tendencias sedimentarias en el subsuelo del Bloque Lliquimuni. Su análisis permitió identificar cambios abruptos en la radiactividad asociados a transiciones litológicas, como el paso de lutitas a areniscas, y respaldar la presencia de sucesiones progradantes tanto en la Formación Toregua como en la Formación Kaka.

La correlación estratigráfica entre las columnas de superficie (Sección Mal Paso de Retama y Bella Vista) y los registros de GR de los pozos LQC-X1 y TCR-X2 permitió validar la continuidad lateral entre unidades sedimentarias, delimitar con mayor precisión los contactos formacionales y las interpretaciones paleoambientales. Esta integración se basó en la forma de la curva GR, criterios litológicos y asociaciones de facies. Asimismo, el análisis evidenció que, hacia el NE, donde se ubican los pozos, predominan facies más distales dentro de la cuenca, en contraste con los ambientes más someros observados en afloramiento.

Los resultados de este estudio aportan un modelo sedimentario y una correlación litológica que pueden ser útiles para la exploración de hidrocarburos en el Subandino Norte. Esta información es aplicable en pozos o zonas cercanas con datos limitados, mejorando la interpretación estratigráfica y reduciendo incertidumbres en la planificación exploratoria.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Baby, P., Guillier, B., Oller, J., Hérail, G., Montemurro, G., Zubieta, D. & Specht, M. (1993). Structural synthesis of the Bolivian Subandean zone. In: Second Symposium International Geodynamique Andine, Oxford, UK, pp. 159-162.
- Baby, P., Colletta, B. & Zubieta, D. (1995). Étude géométrique et expérimentale d'un bassin transporté: exemple du synclinorium de l'Alto Beni (Andes centrales). Bull. Soc. Géol. France, vol. 166, no. 6, pp. 797-811.
- Ballivián, A., & Díaz Martínez, E. (1996). El Paleozoico de Bolivia: una síntesis. Revista Técnica YPF, 17, 49-72.
- Coleman, J. M. (1981). Deltas: Processes of deposition and models for exploration. Continuing Education Course Note Series, No. 3, AAPG. [https://wiki.aapg.org/Deltaic\\_environments](https://wiki.aapg.org/Deltaic_environments)
- Constantini, L. A., Schneider, F., Gutiérrez, J. D., & Esquivel, J. R. (2018). Contribución al conocimiento estructural y en la evaluación de los sistemas petrolíferos del Subandino Norte de Bolivia. Ponencia en el 10.º Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos – Simposio de Sistemas Petroleros de las Cuencas Andinas, Mendoza, Argentina, pp. 413-434. <https://www.researchgate.net/publication/328875704>
- Collinson, J., Mountney, N. & Thompson, D. (2006) Sedimentary structures. 3ª edition. Depositional structures of sand and sandstones, pp. 74-89.
- CIA. Intergas S.A. (1997). Reporte final pozo: Tacuaral-X2 (TCR-X2) compañía YPYB. Informe Interno YPF.
- Choque, N. & Nina, L. (2012). Modelo Paleogeográfico de los sistemas Carbonífero y Pérmico en Bolivia. XX Congreso Geológico Boliviano, pp. 133-138, La Paz, Bolivia, 2012.
- Díaz, E. (1991). Litoestratigrafía del Carbonífero del Altiplano de Bolivia. Revista Técnica YPF, 12 (2), pp. 295-302.
- Díaz, E. (1995). Devónico superior y Carbonífero del Altiplano de Bolivia: estratigrafía, sedimentología y evolución paleogeográfica. ORSTOM Bolivia, informe n° 46, pp. 164.
- Díaz, E. (1996). Síntesis estratigráfica y geodinámica del Carbonífero de Bolivia. Memorias del XII Congreso Geológico de Bolivia. Tarija, Bolivia, pp. 355-367.
- Fasolo, Z., Vergel, M.M., Oller, J. y Azcuy, C.L. (2006). Nuevos datos palinológicos de la Formación Kaka (Viseano - Serpukhoviano) en la Encañada de Beu, Subandino Norte de Bolivia. Revista Brasileira de Paleontología 9(1): 53-62. <https://www.researchgate.net/publication/243962912>
- Jaillard, E., Hérail, G., Monfret, T., Díaz Martínez, E., Baby, P., Lavenu, A. y Dumon, J.-F. (2000). Tectonic evolution of the Andes of Ecuador, Peru, Bolivia and northernmost Chile. En: Cordani, U. G., Milani, E. J., Thomaz-Filho, A. y Campos, D. A. (Eds.), Tectonic evolution of South America (Actas del 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro), pp. 481-559.
- López, H. (1967). Acerca de la geología de las serranías subandinas del noreste. Boletín del Instituto Boliviano del Petróleo, vol. 7, no. 2, pp. 14-27.
- Miall, A. D. (1996). The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology. Springer, Berlin, pp 582.
- Nichols, G. (2009). Sedimentology and Stratigraphy (2nd ed.). Wiley-Blackwell. John & sons Ltd, Field sedimentology, facies and environments. Deltas, pp. 69-86-179-198.

- Oller, J. & Franco, A. (1980). Informe geológico estructural de los anticlinales de Lliquimuni y Tacuaral y reconocimiento estratigráfico estructural de los Ríos Bopi, Kaka, camino Caranavi – Puerto Linares (Alto Beni). Informe Interno YPF Gerencia de Exploración DTX – DPSP BG – 1, pp. 11-14, 57.
- Oller, J. (1984). Consideraciones generales sobre la geología y estratigrafía de la faja Subandina Norte. Tesis para optar el título de Licenciado en Ingeniería Geológica. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.
- Pradel, A. (1993). Informe geológico final pozo: Lliquimuni LQM-X1. Informe Interno YPF.
- Repsol, (2013). Libro Blanco, presentación de operaciones de Repsol en Bolivia.
- Rider, M. & Kennedy, M. (2011). The Geological Interpretation of Well Logs. 3rd ed., The gamma ray and spectral gamma ray logs. Rider–Whittles Publishing, pp 67-77.
- Sempere, T., Herail, G. & Bonhomme, M. (1990) a, Late Oligocene-early Miocene mayor tectonic crisis and related basins in Bolivia: Geology, v. 18, pp. 946-949. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_7/b\\_fdi\\_57-58/010025529.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_57-58/010025529.pdf)
- Sempere, T. (1990). Cuadros estratigráficos de Bolivia: Propuestas nuevas. Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, ORSTOM en BOLIVIE, Paris, pp. 2-3-9-11, 27.
- Sempere, T. (1995). Phanerozoic evolution of Bolivia and adjacent regions, in A. J. Tankard, R. Suárez S., and H. J. Welsink, Petroleum basins of South America: AAPG Memoir 62, pp. 207-230. <https://www.researchgate.net/profile/Thierry-Sempere/publication/351639562>
- Soria, J. (1972). Resumen de la geología de Bolivia. Informe Interno YPF, pp. 15, 87.
- Suarez, R. & Diaz, E. (1996). Léxico Estratigráfico de Bolivia. Revista técnica YPF, vol. 17, no. 1-2, pp. 15, 21, 37, 49, 59, 79, 81, 130, 180-181. 227.
- Suarez, R. (2000). Compendio Geológico de Bolivia. Revista Técnica de YPF, Vol. 18, no. 1-2, pp. 78-84.
- Tucker, M. E. (2011). Sedimentary Rocks in the Field: A Practical Guide (4th ed.). Wiley-Blackwell. Sedimentary Structures and Geometry of Sedimentary Deposits, pp. 105-187.
- Walker, R. G. (1992). Facies Models: Response to Sea Level Change. Geological Association of Canada. Deltas, Terra Publishing. pp. 157-178.
- YPFB Petroandina SAM. (2011). Resultados de la Interpretación Geológica-Sísmica del Bloque Lliquimuni. [Informe interno] Gerencia de Exploración YPF Petroandina SAM. Santa Cruz.
- XR Geomap (2011). Geología de superficie, muestreo geoquímico y análisis sedimentológico del Bloque Lliquimuni. Centro Nacional de Información Hidrocarbúrfica de Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (CNIH – YPF).

## **ANEXOS**

Anexo 1: Columna estratigráfica “Sección Mal Paso de Retama” sobre el Río Kaka.

Anexo 2: Columna estratigráfica “Sección Bella Vista” en la Serranía de Alto Beni.



# ANEXO 1: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA SECCIÓN MAL PASO DE RETAMA (RÍO KAKA)

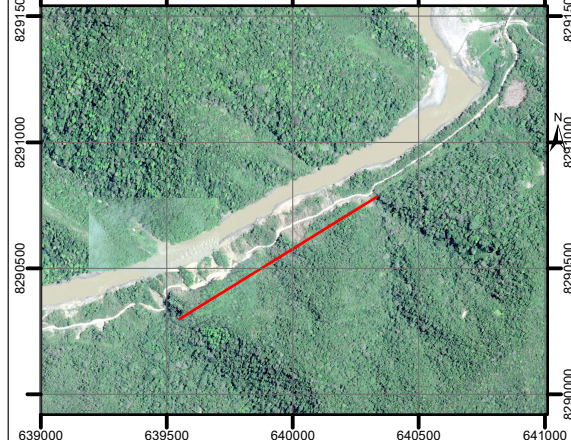
## ESCALA: 1:500



### ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▬ Estratificación Paralela</li> <li>↖ Estratificación Entrecruzada de bajo Ángulo</li> <li>⌘ Estratificación Entrecruzada en Artesa</li> <li>(m) Estratificación Masiva</li> <li>⌒ Estratificación Hummocky</li> <li>▬▬ Laminación Paralela</li> <li>⌒⌒ Laminación Ondulada</li> <li>⌒⌒ Laminación Flaser</li> <li>▬ Laminación Lenticular</li> <li>↖ Ondulitas de Corriente (ripples)</li> <li>⌒ Tope Ondulado</li> <li>▬ Nivel de Carbón</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>↘ Slump</li> <li>↓ Deformación por carga</li> <li>⌒ Convoluta</li> <li>⌒ Canal</li> <li>⌒ Lentes conglomeráticas</li> <li>↖ Corte y Relleno</li> <li>⊙ Nódulo de Siliceo</li> <li>⊙ Nódulo de Hierro</li> <li>⊙ Nódulo de limo</li> <li>⌒ Bioturbación</li> <li>⌒ Restos de Plantas</li> </ul> |
|--|---|

DATOS DE LA COLUMNA:	
País	: Bolivia
Departamento	: La Paz
Provincia	: Larecaja
Poblaciones	: Tomachi - Mayaya
Coordenada Inicial	: X= 639481, Y= 8290310
Coordenada Final	: X= 640400, Y= 8290824
Escala de lev.	: 1:100
Escala de Columna	: 1:500
levantamiento	: base a techo de SW - NE
Geólogo	: Freddy Nelson Quenta M



ERA	SISTEMA	GRUPO	FORMACIÓN	ESPESOR	Litología - Textura - Estructura						Asociación de Facies	Ciclicidad	OBSERVACIONES Y DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
					Pelitas		Psamitas		Psefitas																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
					Arcilla	Limolita	Arenisca Muy Fino	Arenisca Fino	Arenisca Medio	Arenisca Grueso				Arenisca Muy Grueso	Conglomerado	Estructuras Sedimentaria																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
P	A	L	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	O	Z	O	I	C	O	C	O	S	E	A	L	P	E	



## ANEXO 2: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA SECCIÓN BELLA VISTA (SERRANÍA DE ALTO BENI) ESCALA: 1:500



### ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

- |     |   |     |                        |
|-----|---|-----|------------------------|
| —   | Estratificación Paralela                    | ↗   | Slump                  |
| ↖   | Estratificación Entrecruzada de bajo Ángulo | ↓   | Deformación por carga  |
| ↗↖  | Estratificación Entrecruzada en Artesa      | ∞   | Convoluta              |
| (m) | Estratificación Masiva                      | ∪   | Canal                  |
| ∩   | Estratificación Hummocky                    | ⊖   | Lentes conglomeráticas |
| ==  | Laminación Paralela                         | ∩   | Corte y Relleno        |
| ∩   | Laminación Ondulada                         | Si  | Nódulo de Silice       |
| ∩   | Laminación Flaser                           | Fe  | Nódulo de Hierro       |
| ∩   | Laminación Lenticular                       | L   | Nódulo de limo         |
| ∩   | Ondulitas de Corriente (ripples)            | SSS | Bioturbación           |
| ∩   | Tope Ondulado                               | ∩   | Restos de Plantas      |
| —   | Nivel de Carbón                             |     |                        |

**DATOS DE LA COLUMNA:**  
 País : Bolivia  
 Departamento : La Paz  
 Provincia : Alto Beni  
 Poblaciones : La Cumbre - Km 52  
 Coordenada Inicial : X= 663756, Y= 8267410  
 Coordenada Final : X= 664274, Y= 8267760  
 Escala de lev. : 1:100  
 Escala de Columna levantamiento : 1:500  
 Geólogo : Freddy Nelson Quenta M.



ERA	SISTEMA	GRUPO	FORMACIÓN	ESPESOR	FACIES	Litología - Textura - Estructura			Asociación de Facies	Ciclicidad	OBSERVACIONES Y DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	
						Pelitas	Psamitas	Psefitas				
						Arcilla Limolita	Arenisca Muy Fino Arenisca Fino Arenisca Medio Arenisca Grueso Arenisca Muy Grueso Conglomerado	Estructuras Sedimentaria				
CARBONIFERO SUPERIOR	GRUPO RETAMA (185 M)	Formación Copacabana	400	Sh	Si	Si	Si	Si	Si	9	Areniscas finas de color gris verdoso (5GY 6/1), marrón rojizo pálido (10R 5/4) y rosado naranja moderado (5Y 8/4), granos redondeados, grano soportado, cemento calcareo.	
			390	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	7	Areniscas medias de color naranja grisáceo (10YR 7/4) escasa matriz limosa y cemento silíceo, está intercalada con delgados niveles de limolita. La base es difusa y el techo irregular.
			380	Fh	Si	Si	Si	Si	Si	Si	6	Areniscas gruesas a medias de color Blanquecino (N9) oxidados, granos soportados semi consolidado. Presenta estratificación cruzada de bajo ángulo, con la base neta y techo ondulado.
			370	Frl	Si	Si	Si	Si	Si	Si	8	Lutitas de color gris oscuro (N3), fisiles y en erosión catafilar, laminación paralela. Están intercaladas con escasas capas de areniscas gris claro no más de 3 cm de espesor, con techo ondulado.
			360	Sf	Si	Si	Si	Si	Si	Si	7	Lutita gris oscuro (N3) con lenticular y areniscas muy finas de color gris claro (N7), con matriz limoso y cemento silíceo, presenta estratificación flaser en bancos de 10 a 5 cm de espesor.
			350	Sh	Si	Si	Si	Si	Si	Si	6	Limolitas arenosas de color amarillo grisáceo (5Y 7/2) con mala selección, matriz arcillosa y cemento silíceo, en bancos de 50 cm de espesor. Están intercaladas con areniscas finas de color gris muy claro (N8) en bancos de 20 cm de espesor. Presenta estratificación de tipo hummocky, con tope ondulado.
			340	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	5	Limolitas de color naranja amarillento pálido (10YR 8/6) con laminación ondulada y con niveles de arcillita.
			330	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	4	Areniscas medias de color gris amarillento (5Y 7/2) con grano soportado y cemento silíceo en bancos de 20 a 5 cm de espesor, intercaladas con niveles delegados de limolita.
			320	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	3	Areniscas muy finas de color naranja grisáceo (10YR 7/4), con matriz arcillosa y cemento silíceo, intercalado con niveles de limolita con presencia de nódulos de Fe. La base es neta y el techo ondulado.
			CARBONIFERO INFERIOR	GRUPO TREGUA (62 m)	Formación Kaka (123 m)	310	Si	Si	Si	Si	Si	Si
300	Si	Si				Si	Si	Si	Si	1	Areniscas finas de color blanquecino (N9) granos soportados y cemento silíceo, tope ondulado.	
290	Si	Si				Si	Si	Si	Si	1	Areniscas finas de color rosado naranja moderado (5Y 8/4) granos suturados y cemento silíceo.	
280	Si	Si				Si	Si	Si	Si	1	Areniscas finas a medias de color marrón amarillento moderado (10YR 5/4), grano decreciente, con granos soportados y cemento silíceo. Presenta estratificación paralela con aspecto masivo, base y techo planos sin irregularidades.	
270	Si	Si				Si	Si	Si	Si	1	Areniscas finas a muy finas de color naranja grisáceo (10YR 7/4) grano decreciente, con matriz limosa y cemento silíceo, con base difusa y techo cubierto.	
260	Si	Si				Si	Si	Si	Si	1	Areniscas medias de color blanquecino (N9), granos suturados y silicificado, estratificación masivo.	
250	Si	Si				Si	Si	Si	Si	1	Limolitas de color gris amarillento (5Y 7/2), micácea, con laminación ondulada, base neta y techo ondulado.	
240	Si	Si				Si	Si	Si	Si	1	Areniscas finas de color gris verdoso (5GY 6/1) con matriz limosa y cemento silíceo. Presenta estratificación cruzada de bajo ángulo en bancos de hasta 1.5 m de espesor, con base neta y techo ondulado.	
230	Si	Si				Si	Si	Si	Si	1	Areniscas medias de color gris verdoso (5GY 6/1) con matriz limosa y poco consolidadas. Presenta estratificación cruzada en artesa y lentes conglomeráticas con litoclastos de lutita mayores a 2 cm de diámetro.	
220	Si	Si				Si	Si	Si	Si	1	Lutitas de color gris oscuro (N3), con laminación paralela y fractura irregular. Presentan delgados niveles de areniscas muy finas, con base difusa y techo neto.	
DEVÓNICO SUPERIOR	Formación Tomachi	Formación Tregua (62 m)	210	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas con presencia de litoclastos de lutita.	
			200	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas finas de color gris amarillento (5Y 7/2), con matriz limos y cemento silíceo, intercalado con limolitas de color amarillo grisáceo (5Y 8/4), en bancos de 10 a 30 cm de espesor.	
			190	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Limolita de color amarillo grisáceo (5Y 8/4), laminación paralela con fractura concoidea.	
			180	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Limolita de color gris verdoso (5GY 6/1) con laminación lenticular, con escasos bancos de arenisca muy fina y techo ondulado. Las limolitas muestran erosión catafilar y deformación sinsedimentaria.	
			170	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas muy gruesas a medias de color blanquecino (N9) cuarzosa, granos soportados y deleznales. Areniscas finas de color naranja amarillento pálido (10YR 8/6) con matriz arcillosa y cemento silíceo, con presencia de restos de plantas.	
			160	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Diamictita mala selección, grisáceo (10YR 7/4) con granos disperso de cuarzo hialino, color naranja grisáceo, con base irregular y techo neto.	
			150	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas medias, gruesas a muy gruesas de color blanquecino (N9) grano creciente, con grano soportados y suturados. Contienen litoclastos de lutita y cuarzo facetado.	
			140	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas medias, gruesas a muy gruesas de color naranja grisáceo (10YR 7/4), con cemento silíceo. Presenta estratificación cruzada en artesa con lentes arenosas muy gruesos, base muy ondulado.	
			130	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Limolita de color amarillo grisáceo (5Y 8/4), laminación paralela con fractura irregular.	
			120	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Limolita de color gris verdoso (5GY 6/1) con presencia de bioturbación.	
DEVÓNICO SUPERIOR	Formación Tomachi	Formación Tregua (62 m)	110	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas gruesas de color naranja grisáceo (10YR 7/4) granos soportados y cemento silíceo, presencia de granulos de cuarzo.	
			100	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas medias y finas de color naranja grisáceo (10YR 7/4) con lentes conglomeráticos.	
			90	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas muy finas de color gris verdoso (5GY 6/1), micáceas, con matriz arcillosa y cemento silíceo, con restos de plantas.	
			80	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas medias y gruesas de color blanquecino (N9) granos soportados y cemento silíceo. Presentan motas marrones, con base y techo netos.	
			70	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Diamictita de color gris olivo (5Y 4/1) con matriz limosa. Contienen clastos de cuarzo facetado y líticos ángulos que alcanzan hasta 2 cm de diámetro, y presentan restos de plantas. La estructura es masiva y terminación en cuña, con base irregular y techo plano.	
			60	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Lutitas gris oscuro (N3) con laminación paralela, fisil y en erosión catafilar, replegadas y fracturadas. Base y techo netos.	
			50	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Limolitas de color gris olivo claro (5Y 6/1) con laminación ondulada, intercaladas con areniscas muy finas de color gris claro (N7) y techo ondulado.	
			40	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas finas de color blanquecino (N9) granos soportados y cemento silíceo, contienen restos de plantas, con estructuras de corte y relleno de areniscas conglomeráticas subredondeadas de alta esfericidad, contiene litoclastos alargados menores a 5 mm.	
			30	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas muy finas de color variable entre marrón amarillento pálido (10YR 6/2) y marrón pálido (5YR 6/4), con matriz arcillosa y cemento silíceo. La sucesión tiene una base neta y techo difuso, intercalado con limolitas con estructuras de carga presenta una deformación convoluta.	
			20	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas muy finas de color naranja grisáceo (10YR 7/4) con matriz limoso y cemento silíceo. Estas areniscas forman bancos tabulares de más de 1 m de espesor base y techo netos.	
DEVÓNICO SUPERIOR	Formación Tomachi	Formación Tregua (62 m)	10	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas gruesas de color naranja amarillento pálido (10YR 8/6) granos soportados y poco consolidados. Presenta estratificación en artesa, con base planar y techo con lag erosivos.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas medias a gruesas de color naranja amarillento pálido (10YR 8/6) grano soportado y poco consolidado. Presentan estratificación paralela, con base y el techo plano sin irregularidades.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas finas de color naranja muy pálido (10YR 8/2) con escasa matriz y cemento silíceo. Contienen escasos clastos de cuarzo de hasta 4 mm de diámetro y restos de plantas. Presentan estratificación paralela, con base y el techo planos sin irregularidades.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas finas, medias y gruesas de color naranja muy pálido (10YR 8/2) con granos suturados y cemento silíceo "silicificado", grano creciente. en el techo se observa estructuras de corte y relleno de granulos de cuarzo y escasos clastos angulares y alargados de limolitas.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas medias, gruesas a muy gruesas de color naranja grisáceo (10YR 7/4), grano creciente y soportado, y semi consolidado. Presenta estratificación masiva, con base difusa y techo neto.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas finas de color gris olivo claro (5Y 5/2) con matriz limosa, donde se observan clastos flotantes de granos de cuarzo hialino grueso y medio, redondeados y algunos facetados. Presentan estratificación masiva con una base y techo irregulares, con deformación sinsedimentaria.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Intercalación de areniscas finas con limolitas en bancos de 20 a 30 cm de espesor, presenta estratificación flaser. Limolitas de color gris olivo claro (5Y 6/1) con laminación lenticular de areniscas de grano fino.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas finas a muy finas de color amarillo oscuro (5Y 6/4), con matriz limosa y cemento silíceo. La granulometría es decreciente en bancos de 50 cm de espesor.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas finas a muy finas de color gris medio (N6) con matriz limosa y cemento silíceo. La sucesión es grano decreciente hasta limolitas gris verdosas finamente laminadas. La alternancia varía de 5 a 10 cm de espesor, en el techo se observan ripples de corriente con dirección SW.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Limolita de color gris olivo claro (5Y 6/1) con fractura concoidea de aspecto masivo, que contiene lentes de areniscas muy finas con estratificación lenticular.	
DEVÓNICO SUPERIOR	Formación Tomachi	Formación Tregua (62 m)	0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Cubierto	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Limolitas de color gris oscuro (N3) con laminación lenticular, y ondulada, intercaladas con capas de areniscas de 5 cm de espesor de color gris claro (N7).	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas finas a muy finas de color gris muy claro (N8), en bancos de 30 a 20 cm de espesor, con estratificación de bajo ángulo. Estas areniscas están intercaladas con niveles de 2 a 3 cm de espesor de limolitas con laminación paralela.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Cubierto	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Limolitas de color gris oscuro (N3) con fractura irregular y escasas miccas, presentando laminación lenticular.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Arenisca de grano medio a grueso, de color gris claro medio (N6) y naranja grisáceo (10YR 7/4), poco consolidada, con granos decreciente hacia el techo, presentan clastos de cuarzo de 1 a 2 cm de diámetro. Los bancos de areniscas son de 50 cm de espesor, presenta estratificación cruzada en artesa y de bajo ángulo. La base de los bancos es erosiva y neta planar donde se observan lentes conglomeráticos. se observan planos de falla de rumbo.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Limolitas de color gris verdoso (5GY 6/1) con laminación lenticular, intercalado con escasas capas de areniscas de color gris claro (N7) y de hasta 5 cm de espesor.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas finas a medias de color gris muy claro (N8), intercaladas con limolitas gris olivo (5Y 4/1). Estas intercalaciones presentan estratificación cruzada de bajo ángulo y deformación sinsedimentaria tipo slump.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Limolitas de color gris oscuro (N3) a gris verdoso, intercaladas con finas capas de hasta 5 cm de espesor de areniscas muy finas de color gris claro (N7), presenta estructuras de carga. Estas sucesión presenta de base a techo una laminación paralela, ondulada y lenticular.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas finas de color gris muy claro (N8), con grano soportado y cemento silíceo. Intercaladas con niveles de lutita gris verdoso, esta intercalación presenta laminación flaser.	
DEVÓNICO SUPERIOR	Formación Tomachi	Formación Tregua (62 m)	0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Lutita gris oscuro (N3) con laminación paralela, fisil y en erosión catafilar, replegadas y fracturadas. Base y techo netos. Estas areniscas son de grano soportado, con poros que presentan impregnación de hidrocarburos. la intercalación presenta laminación ondulada.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas finas de color gris muy claro (N8), micáceas, clasto soportado y cemento silíceo. Estratificación cruzada de bajo ángulo, en bancos tabulares de 50 a 80 cm de espesor, con base neta y techo difuso.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas de grano grueso, medio y fino presentan un color gris claro medio (N6), los granos son redondeados y de alta esfericidad, clasto soportado y cemento silíceo, con una base neta y una sucesión de granos decrecientes hacia el techo.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas finas de color gris muy claro (N8), clasto soportado y cemento silíceo, contienen escasas miccas. Estratificación flaser en bancos que varían entre 20 a 80 cm de espesor, La base es irregular y el tope ondulado.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Lutitas de color gris oscuro (N3) brillo opaco y fisil, finamente laminado y deformado.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Areniscas finas de color naranja amarillento pálido (10YR 8/6) con escaso matriz limoso y cemento silíceo. Con presencia de miccas y escasos líticos oscuros. Estas areniscas muestran una estratificación cruzada de bajo ángulo en bancos de 20 a 40 cm de espesor. Tanto la base y el techo están cubiertos.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Cubierto: zona de vegetación aparente falla inversa.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1	Limolitas de color naranja grisáceo (10YR 7/4) brillo terroso, micácea, finamente laminada con aspecto masivo, intercalado con delgados niveles de lutita gris oscuro.	
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1		
			0	Si	Si	Si	Si	Si	Si	1		