

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS PROFESIONAL**

**ESTUDIO ESTRATIGRÁFICO SECUENCIAL DE LA FORMACIÓN FARRAT  
EN SHAULLO Y PUYLLUCANA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**Elaborado por:**

**Bach. SERRANO ARRIBASPLATA, FRANCISCO JAVIER**

**ASESOR:**

**M. Cs. ING. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2017**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo es para mis padres  
Serafín y Aurelia que siempre han confiado en mí.  
A mis hermanas que jamás me dejaron rendirme.  
A Mary Reyes mi gran compañera  
durante estos últimos años.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, a todos mis docentes que tuve durante mi formación universitaria y a mi asesor el Ing. Zenón Quispe por el tiempo brindado y la ayuda en la elaboración de esta investigación.

Agradezco a toda mi familia sobre todo a mis padres y hermanas por siempre haber confiado en mí y haberme apoyado en todo momento, agradezco a mis amigos Julio Tuesta y Francescoli Escobedo por el apoyo brindado para poder culminar este trabajo. Quiero agradecer a mi gran amigo Pool Suarez que fue quien me ayudo a mejorar en su momento. Finalmente quiero dar las gracias a Dios por haberme dado las fuerzas y la paciencia necesaria para culminar este estudio.

# CONTENIDO

Pág.

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	4
2.1. ANTECEDENTES.....	4
2.2. BASES TEÓRICAS.....	5
2.2.1 Estratigrafía secuencial.....	5
2.2.2 Unidades estratigráficas genéticas .....	6
2.2.3 Cortejos sedimentarios .....	6
2.2.4 Fluctuaciones del nivel de base .....	7
2.2.5 Estructuras sedimentarias.....	9
2.2.6 Medida de la estratificación.....	12
2.2.7 Clasificación de las rocas clásticas.....	12
2.2.8 Deltas.....	14
2.2.8.1 Partes de un delta.....	15
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS .....	17
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....	20
3.1. UBICACIÓN .....	20
3.2. ACCESIBILIDAD.....	22
3.3. TIPO Y MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN .....	22
3.4. UNIDAD DE ANÁLISIS, POBLACIÓN Y MUESTRA.....	22

	Pág.
3.4.1	Unidad de análisis..... 22
3.4.2	Población ..... 22
3.4.3	Muestra ..... 22
3.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN..... 22
3.5.1	Técnicas..... 23
3.5.2	Instrumentos ..... 23
3.6.	ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL DE LA FORMACIÓN FARRAT ..... 24
3.6.1	Estructuras sedimentarias..... 38
3.7.	DESCOMPACTACIÓN DE LA SERIE SILICOCLÁSTICA DE LA FORMACIÓN FARRAT ..... 45
3.7.1	Shaullo ..... 46
3.7.2	Puyllucana ..... 47
3.8.	IDENTIFICACIÓN DE FACIES (ANÁLISIS PETROGRÁFICO) ..... 48
	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... 52
	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 66
5.1.	CONCLUSIONES..... 66
5.2.	RECOMENDACIONES ..... 67
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 68
	ANEXOS ..... 70

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura N° 1	Creación o desaparición de espacio disponible dentro de una cuenca.(Modificado de Maroco, 2009) ..... 8
Figura N° 2	Tipos de estructuras de fondo observadas bajo flujo ..... 10
Figura N° 3	Estructuras postsedimentarias Químicas y Orgánicas. .... 11
Figura N° 4	<i>Estructuras sedimentarias sinsedimentarias</i> ..... 11
Figura N° 5	Medida de espesores ..... 12
Figura N° 6	Medida de espesor de estratos ..... 12
Figura N° 7	Clasificación de areniscas según Peitijhón ..... 13
Figura N° 8	Clasificación de areniscas según Folk et al. 1970..... 13
Figura N° 9	Zonación teórica de un delta ..... 14
Figura N° 10	Llanura deltaica, Frente deltaico y Prodelta de un delta..... 15
Figura N° 11	Barra de desembocadura ..... 16
Figura N° 12	Representación correcta de los límites de facies ..... 17
Figura N° 13	Ubicación de la zona de estudio..... 21
Figura N° 14	Punto de inicio Shaullo..... 24
Figura N° 15	Punto de inicio Puyllucana.. ..... 25
Figura N° 16	Representación de los datos de campo. .... 25
Figura N° 17	Base de la Formación Farrat..... 26
Figura N° 18	Laminación Flaser. .... 27
Figura N° 19	Laminación flaser ..... 27
Figura N° 20	Secuencias de areniscas arcillosas de grano fino y areniscas laminares. .... 28
Figura N° 21	Intercalación de estratos pequeños con estratos grandes ..... 29
Figura N° 22	Estilolitas en techo y base de los estratos..... 30
Figura N° 23	Diagrama de estilolitas para muestra de mano. (Dunod, 2004) . 30
Figura N° 24	Diagrama de estilolitas en techo y base de estratos ..... 30
Figura N° 25	Laminación paralela en las areniscas blanquecinas. .... 31
Figura N° 26	Intercalación de limolitas y areniscas de grano fino a medio. .... 32
Figura N° 27	Contacto entre limolitas y areniscas de grano fino a medio en la parte superior de la Formación Farrat en Puyllucana. .... 33
Figura N° 28	Areniscas blanquecinas con bases erosivas de grano grueso... 33
Figura N° 29	Secuencias de areniscas de granos grueso..... 34

	Pág.
Figura N° 30	Estratificación sesgada. .... 34
Figura N° 31	Diques de arena.. .... 35
Figura N° 32	Laminación oblicua..... 35
Figura N° 33	Areniscas de grano muy grueso..... 36
Figura N° 34	Gradación rítmica directa. .... 37
Figura N° 35	Secuencia de areniscas de grano fino-medio a fino..... 37
Figura N° 36	Secuencias de areniscas de grano grueso ..... 38
Figura N° 37	Estilolitas ..... 38
Figura N° 38	Recristalización de cuarzo ..... 39
Figura N° 39	Laminación paralela. .... 39
Figura N° 40	Laminación Oblicua..... 40
Figura N° 41	Los ripples de oscilación. .... 40
Figura N° 42	Estratificación sesgada. .... 41
Figura N° 43	Estratificación sesgada en las areniscas de menor espesor..... 41
Figura N° 44	Son estructuras del tipo biológico..... 42
Figura N° 45	Muestra de Burrow ..... 42
Figura N° 46	Diques de arena..... 43
Figura N° 47	Estructuras de carga. .... 43
Figura N° 48	Superficies endurecidas. .... 44
Figura N° 49	Helechos presentes en las limolitas de la Formación Farrat. .... 44
Figura N° 50	Gráficos de Profundidad vs Porosidad de Hegarty et al (1988). 45
Figura N° 51	Areniscas Cuarzosas ..... 48
Figura N° 52	Arenisca arcillosa ..... 49
Figura N° 53	Limolita ..... 50
Figura N° 54	Grauvaca Lítica ..... 51
Figura N° 55	Columna general de la Estratigrafía Secuencial - Shaullo. .... 53
Figura N° 56	Columna general de la Estratigrafía Secuencial - Puyllucana... 54
Figura N° 57	Espesor actual de la Formación Farrat en Shaullo..... 57
Figura N° 58	Descompactación de la Formación Farrat-Shaullo..... 57
Figura N° 59	Espesor actual de arcillas-Shaullo. .... 58
Figura N° 60	Descompactación de arcillas de la Formación Farrat-Shaullo. .. 58
Figura N° 61	Espesor actual de la Formación Farrat - Puyllucana..... 61
Figura N° 62	Descompactación de la Formación Farrat - Puyllucana. .... 62
Figura N° 63	Espesor actual de arcillas-Puyllucana..... 63

	Pág.
Figura N° 64 Descompactación de arcillas de la Fm. Farrat-Puyllucana.....	63
Figura N° 65 Modelo de columna estratigráfica de campo.....	71

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla N° 1	Coordenadas de los puntos de inicio en Shaullo y Puyllucana 24
Tabla N° 2	Tabla de datos para la descompactación – Shaullo. .... 46
Tabla N° 3	Descompactación y porcentaje de reducción - Shaullo ..... 46
Tabla N° 4	Tabla de datos para la descompactación – Puyllucana..... 47
Tabla N° 5	Descompactación y porcentaje de reducción - Puyllucana ..... 47
Tabla N° 6	Areniscas cuarzosas ..... 48
Tabla N° 7	Arenisca arcillosa ..... 49
Tabla N° 8	Limolita ..... 50
Tabla N° 9	Grauvaca ..... 51
Tabla N° 10	Medidas de las columnas de Shaullo y Puyllucana ..... 52
Tabla N° 11	Datos de descompactación - Shaullo ..... 55
Tabla N° 12	Espesor descompactado de arenas vs arenas..... 56
Tabla N° 13	Datos de descompactación - Puyllucana..... 60

## **RESUMEN**

El estudio fue realizado en Shaullo y Puyllucana, distrito de Baños del Inca, provincia de Cajamarca. La tesis tiene como objetivo realizar el estudio estratigráfico secuencial de la Formación Farrat del Grupo Gollarisquizga en Shaullo y Puyllucana, por lo que se optó por una medición directa de los estratos, identificando secuencias, facies, estructuras sedimentarias, teniendo como hipótesis que la estratigrafía secuencial de la Formación Farrat está marcada por una gran madurez textural. Dicha hipótesis ha sido contrastada con los datos de campo mediante un análisis de correlación mediante la elaboración de dos columnas estratigráficas secuenciales correspondientes a Shaullo y Puyllucana. Como conclusiones se identificó dos gradaciones, una inversa desde la base hasta las tres cuartas partes de la formación y una directa desde este último punto hasta el techo de la formación, las secuencias son del tipo sub-acuático en un ambiente Deltaico distal. Se identificaron 4 facies de acuerdo a su análisis petrográfico, facie de limolitas, facie de areniscas arcillosas y areniscas de grano muy fino, facie de areniscas cuarzosas y facie de grauvacas. Así mismo con la asociación de las facies de ubicaron 4 secuencias, SECUENCIA I areniscas cuarzosas de grano medio-grueso, con estratificación sesgada y laminación planar, SECUENCIA II areniscas de grano fino, areniscas arcillosas y limolitas, SECUENCIA III areniscas cuarzosas de grano grueso a muy grueso con niveles de areniscas conglomeráticas, laminación paralela y estratificación sesgada en la parte superior, SECUENCIA IV corresponde a la parte transicional con la base de la Formación Inca, contiene niveles de areniscas arcillosas ferruginosas, areniscas de grano fino-medio y limolitas ferruginosas.

### **PALABRAS CLAVES**

Estratigrafía secuencial, descompactación, ambiente silicoclástico.

## **ABSTRACT**

The study was conducted in Shaullo and Puylucana, Baños del Inca district, province of Cajamarca. The thesis aims to carry out the sequential stratigraphic study of the Farrat Formation of the Gollarisquizga Group in Shaullo and Puylucana. Therefore, a direct measurement of the strata was chosen, identifying sequences, facies, and sedimentary structures, with the hypothesis that sequential stratigraphy Of the Farrat Formation is marked by a great textural maturity. This hypothesis has been contrasted with the field data through a correlation analysis by the elaboration of two stratigraphic columns corresponding to Shaullo and Puylucana. As conclusions two gradations were identified, an inverse from the base to three quarters of the formation and a direct from this last point to the ceiling of the formation, the sequences are of the sub-aquatic type in a Deltaico distal environment. Four facies were identified according to their petrographic analysis, facie of limolites, facie of arenaceous sandstones and sandstones of very fine grain, facie of quartz sandstones and facie of grauvacas. Sequence II quartz sandstones of medium-coarse grain, with biased stratification and planar lamination, SEQUENCE II fine-grained sandstones, argillaceous sandstones and limolites, SEQUENCE III coarse-grained quartz sandstones a Very thick with conglomerate sandstones, parallel lamination and biased stratification at the top, SEQUENCE IV corresponds to the transitional part with the base of the Inca Formation, contains levels of ferruginous argillaceous sandstones, fine-medium grain sandstones and ferruginous limolites.

## **KEYWORDS**

Sequential stratigraphy, decompression, silicoclastic environment.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

Las rocas silicoclásticas del Cretácico Inferior de la cuenca de Cajamarca presentan variaciones en sus litologías y estructuras sedimentarias debido a que sus ambientes de depositación son diferentes. La estratigrafía secuencial tiene como objetivo identificar las secuencias estratigráficas y tipo de ambiente al que corresponde cada formación geológica.

Hoy en día existen estudios de las formaciones detríticas del Cretácico Inferior de la cuenca Cajamarca, pero ninguno de dichos estudios da las características a detalle de todas las formaciones; es por ello que se va a realizar un estudio de la Estratigrafía Secuencial de la Formación Farrat en Shaullo y Puyllucana.

Por lo que se ha formulado el siguiente problema: ¿Qué características estratigráficas secuenciales presenta la Formación Farrat en Shaullo y Puyllucana?

Para lo cual se tiene la siguiente justificación: la realización de la presente tesis tiene por finalidad identificar y describir las características estratigráficas secuenciales de la Formación Farrat en Shaullo y Puyllucana.

Para ello se van a elaborar dos columnas estratigráficas secuenciales de forma local en Shaullo y Puyllucana respectivamente, para poder determinar las condiciones de depositación y el tipo de ambiente sedimentario.

Para cumplir todo esto se ha realizado la delimitación espacial y temporal para desarrollar de forma correcta el estudio: la recolección de datos y el análisis de la Estratigrafía Secuencial de la Formación Farrat se realizará en Shaullo y Puyllucana, todo el estudio se llevará a cabo entre el mes de Julio del 2015 al mes de Octubre del 2016.

La Investigación se basará en el análisis y síntesis de la Estratigrafía Secuencial de la Formación Farrat en Shaullo y Puyllucana.

Durante el desarrollo de la investigación y recolección de datos de campo se identificaron las siguientes limitaciones: dificultad para el acceso a ciertas partes de la zona de estudio por la desconfianza de los pobladores y por la topografía.

Tomando en cuenta el planteamiento del problema y con la finalidad de realizar la ejecución del estudio se planteó como objetivo principal Estudiar la Estratigrafía Secuencial de la Formación Farrat en Shaullo y Puyllucana.

Además para poder desarrollar y complementar dicho objetivo principal también se plantearon los siguientes objetivos específicos: Elaborar dos columnas estratigráficas secuenciales de la Formación Farrat en Shaullo y Puyllucana de la cuenca de Cajamarca y Descompactar la Formación Farrat en Shaullo y Puyllucana.

Habiendo identificado el problema, formulado, delimitado y definido los objetivos de la investigación; se elaboró la hipótesis del trabajo de investigación, la cual se presenta a continuación: la estratigrafía secuencial de la Formación Farrat presenta una gran madurez textural evidenciada en la redondez y selección de sus granos, lo que nos puede indicar una gran distancia recorrida por los sedimentos desde la zona de aporte hasta la zona de sedimentación.

De todo ello tenemos como variable dependiente a la litología, textura, correlación estratigráfica mientras que como variables independientes están el ambiente de sedimentación, facies, estrato guía, estructuras sedimentarias y estratigrafía secuencial.

El capítulo II se refiere a los antecedentes y trabajos previos correspondientes al tema de estudio, de igual forma se mencionan las bases teóricas que son parte de la metodología de trabajo.

El capítulo III enfoca lo relacionado con los materiales y métodos utilizados, donde se explica cómo se recolectaron los datos, la ubicación y accesibilidad. Además se muestra la toma de datos obtenidos y sus análisis en gabinete.

El capítulo IV muestra los resultados de la investigación mostrando las columnas elaboradas y la descompactación de la formación.

El capítulo V presenta las conclusiones a las que se ha llegado en base a los objetivos planteados y se proporcionan algunas recomendaciones.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES

BARRAGÁN, R., et al. (2004) Estratigrafía Secuencial del Cretácico de la Cuenca Oriente Del Ecuador. Tesis. Estudio que trata sobre las características estratigráficas de la cuenca Oriente en los periodos comprendidos entre el Aptiano y Maastrichtiano.

DOMINIQUE. (1981), Données géologiques pour un modèle d'évolution des Anes nord-péruviennes entre 5°S et 7°S. Les écailles du Maranon, les district minier de Hualgayoc et la région de Jaen-Cutervo. L'Unisersite Pierre et Marie Curie Paris. Estudio realizado con el objetivo de determinar el origen, ambientes y elaborar las columnas estratigráficas de las secuencias silicoclásticas del sector minero Hualgayoc.

LAGOS, A., et al (2007), Aportes al Análisis de cuencas Sedimentarias en los Alrededores de las localidades de Los Baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco, Distrito de Cajamarca, XIII Congreso Peruano de Geología. (Sociedad Geológica del Perú). En este estudio se analizan tanto los fósiles y las rocas que pertenecen a las formaciones (fms.) Santa y Carhuáz de edad Cretácico inferior, hallados en las localidades de San Marcos y Cajamarca, el análisis ha permitido determinar su edad y las condiciones de depositación.

REYES, 1980. Boletín N° 31, Cuadrángulo de Cajamarca - San Marcos – Cajabamba. Analiza y describe regionalmente todas las secuencias del área de estudio en base a un cartografiado 1:100000 realizado por el equipo de geólogos del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Estratigrafía secuencial**

De acuerdo a Vail (1987) define a la estratigrafía secuencial como una metodología que permite definir un cuadro cronoestratigráfico a la escala global basándose en la datación precisa de las líneas de tiempo, jalonadas por discordancias de origen eustático, que limitan las unidades genéticas de depósito. Sin embargo, se quiere plantear desde el primer momento que en el uso del término estratigrafía secuencial se pueden diferenciar claramente dos acepciones, distintas y complementarias, una que responde a un concepto analítico y otro a un concepto sintético.

- El concepto analítico de la Estratigrafía secuencial se refiere a la interpretación y modelización estratigráfica de las asociaciones de facies, elaborada a partir de datos de geología del subsuelo (suministrados por la Estratigrafía sísmica) o de datos de observación en el campo, que permitan reconocer los límites de ciclos, y en su caso, las diferentes fracciones de un ciclo, a nivel de una cuenca sedimentaria. El objetivo básico consiste en el reconocimiento dentro de los materiales que constituyen el relleno de una cuenca sedimentaria, de unidades (conjuntos de estratos) limitados por superficies que marquen un cambio en las condiciones genéticas que afecte al conjunto de la cuenca. A estas unidades se les denomina, genéricamente, unidades genéticas y su reconocimiento es un objetivo obligado en todo análisis de cuencas.
  
- El concepto sintético de la Estratigrafía secuencial se basa en la consideración de que durante la historia de la Tierra se han ido sucediendo diferentes cambios globales que han podido quedar reflejados en los rellenos de cuencas sedimentarias, muy diversas y distantes. Pretende elaborar una escala temporal de dichos cambios globales (cronoestratigrafía secuencial) que sea complementaria de la escala cronoestratigráfica usual, basada en los datos bioestratigráficos y magnetoestratigráficos. Este planteamiento sintético de la

Estratigrafía secuencial implica una carga de subjetividad, ya que los mismos datos pueden ser explicados de manera distinta por diferentes autores. Por ello la elaboración de la citada escala crono-estratigráfica secuencial se debe realizar a partir de múltiples datos analíticos, obtenidos con la mayor fiabilidad, para de este modo eliminar al menos en parte los errores subjetivos de interpretación.

### **2.2.2 Unidades estratigráficas genéticas**

Con el nombre genérico de "unidades estratigráficas genéticas" se denominan a los volúmenes de materiales que rellenan una cuenca sedimentaria separada por superficies que indiquen o reflejen acontecimientos representados en el conjunto de la cuenca. El rasgo estratigráfico más fácilmente constatable, tanto en observación de campo como en información de subsuelo (sísmica), son las discontinuidades estratigráficas reconocibles, esencialmente en el borde de las cuencas sedimentarias, que hacia el interior de las mismas pasan a superficies de continuidad correlativas.

### **2.2.3 Cortejos sedimentarios**

Brown y Fisher (1977) usaron por primera vez el término de cortejo sedimentario, y explicaron su relación con el de sistema depositacional, considerando ambos términos como posibles subdivisiones de las secuencias depositacionales.

Los sistemas depositacionales son divisiones de los materiales estratificados en función de las características sedimentarias. El término cortejo sedimentario se introduce para denominar al conjunto de sistemas depositacionales contemporáneos y formados bajo unas mismas condiciones del nivel del mar. Por ejemplo, un cortejo sedimentario lo constituyen los sistemas depositacionales fluvial, costero, de plataforma y de talud que pasan lateralmente entre sí, que están dentro de una secuencia depositacional, y que se depositaron en un intervalo de tiempo de una polaridad definida del nivel del mar (subida, bajada o estabilización). Los modelos de cortejos sedimentarios se establecen en función de sus límites, su posición dentro de la secuencia depositacional, su geometría y su carácter transgresivo o regresivo, progradante o retrogradante.

#### **2.2.4 Fluctuaciones del nivel de base**

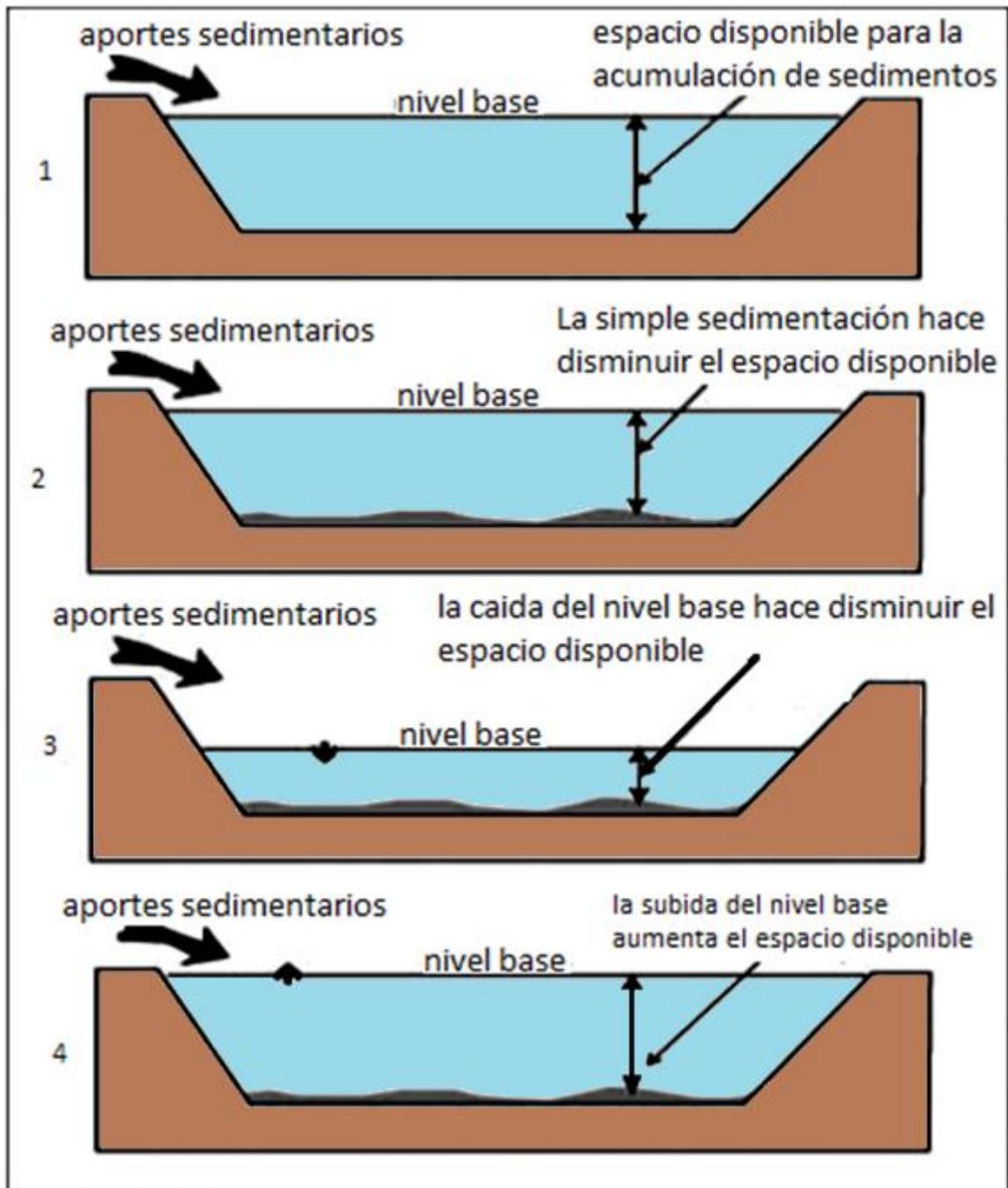
El concepto de espacio disponible para la sedimentación, concepto definido por es uno de los conceptos de base de la estratigrafía secuencial. Este espacio se crea o se destruye con las fluctuaciones del nivel de base. Hay que tomar en cuenta que el espacio disponible se reduce gradualmente debido a la acumulación sedimentaria (Jervy, 1988).

La Figura N° 1 muestra la influencia de la acumulación sedimentaria y de la fluctuación del nivel de base sobre el espacio disponible para la sedimentación.

A la diferencia del espacio disponible que depende, en parte, de la sedimentación, las fluctuaciones del nivel de base, ellas, son completamente independientes de la acumulación sedimentaria.

Estas fluctuaciones reflejan modificaciones de numerosos factores de control:

- Externos (eustatismo, tectónica, clima).
- Diagenéticos (compactación de los sedimentos).
- Ambientales (energía de las olas, corrientes marinas).



**Figura N° 1** Creación o desaparición de espacio disponible dentro de una cuenca.  
 (Modificado de Maroco, 2009)

### **2.2.5 Estructuras sedimentarias**

Tras el establecimiento de las secuencias de depositacionales, el análisis sedimentológico debe volver al estudio detallado de las estructuras sedimentarias para realizar las interpretaciones paleoambientales más detalladas, es decir hay que volver a las fuentes en un proceso de ajuste de las observaciones constante (Arche, 2010).

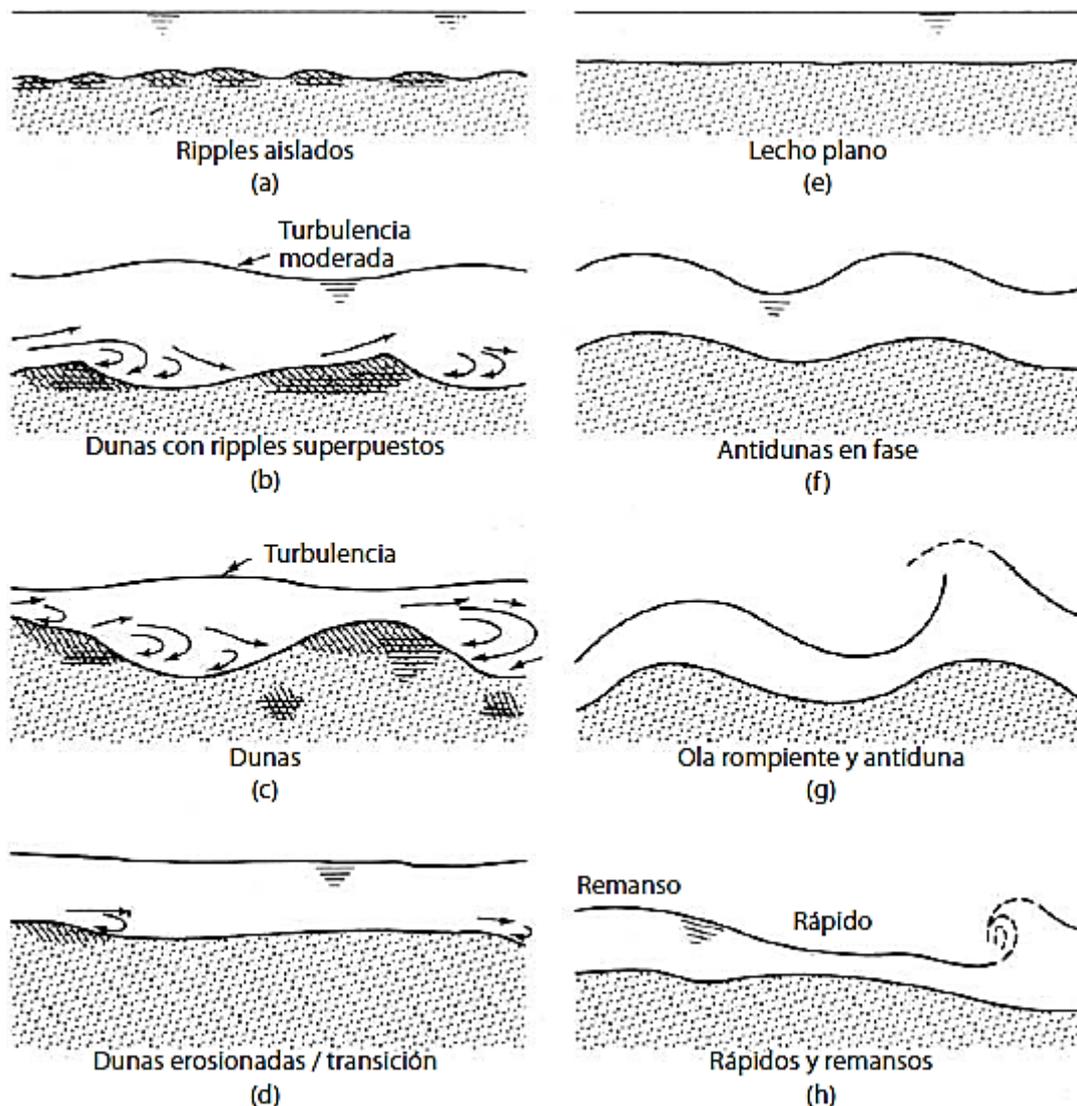
Las estructuras sedimentarias, a diferencia de los fósiles o la litología, siempre se forman in situ y no pueden ser transportadas ni reelaboradas; también son el elemento clave en la comparación de sedimentos antiguos con medios sedimentarios actuales y estudios experimentales bajo condiciones controladas. Las estructuras sedimentarias pueden dividirse en tres categorías: pre-, sin- y postsedimentarias.

#### **a) Estructuras presedimentarias**

Las estructuras presedimentarias se forman en el basamento antes de que se depositen los sedimentos. Por tanto, son siempre erosivas, y no deben confundirse con procesos post-depósito que deforman la base de la capa, como los moldes de carga. Entre otras son los canales, marcas de escurridura y turboglifos. Suelen observarse mucho mejor los moldes en la capa superior que las estructuras en sí mismas y dan buenas indicaciones sobre la dirección y/o el sentido de las corrientes que las originaron.

#### **b) Estructuras sinsedimentarias**

Las estructuras sinsedimentarias son de tres tipos fundamentales: estratificación planar, estratificación cruzada, con sus variedades de surco y planar, y microlaminación de ripples. Cuando un sedimento granular se ve sometido a una corriente de velocidad ascendente, desarrolla configuraciones externas que se reflejan en una estructura interna con una secuencia regular: ripples o capas planas, dunas, capas planas de alta energía y antidunas.



**Figura N° 2** Tipos de estructuras de fondo observadas bajo flujo constante en lechos arenosos de canales naturales (a). (a) hasta (d): en régimen de flujo bajo; (e) hasta (h): en régimen de flujo alto. Modificado de Blatt et al., 1982. (Arche, 2010).

### c) Estructuras postsedimentarias

Las que significan una organización en la vertical de la estratificación, como los moldes de carga («load casts») y pseudonódulos, formados cuando capas de arenas se hunden en capas arcillosas inferiores por diferencias de densidad y carga y las diversas estructuras de fluidificación, producidas por movimientos de fluidos en el interior de sedimentos no consolidados por carga diferencial o un efecto tixotrópico causado por sacudidas bruscas debidas a terremotos u otras vibraciones.

## ORGÁNICAS



## QUÍMICAS



**Figura N° 3** Estructuras postsedimentarias Químicas y Orgánicas. (Imágenes extraídas del software SedLog 3.1)



**Figura N° 4** Estructuras sedimentarias sinsedimentarias. (Imágenes extraídas del software SedLog 3.1)

### 2.2.6 Medida de la estratificación

En condiciones normales el espesor de un conjunto de estratos, será la distancia entre sus límites medida perpendicularmente a ellos y representa el espesor actual de los materiales sedimentados durante un determinado intervalo de tiempo.

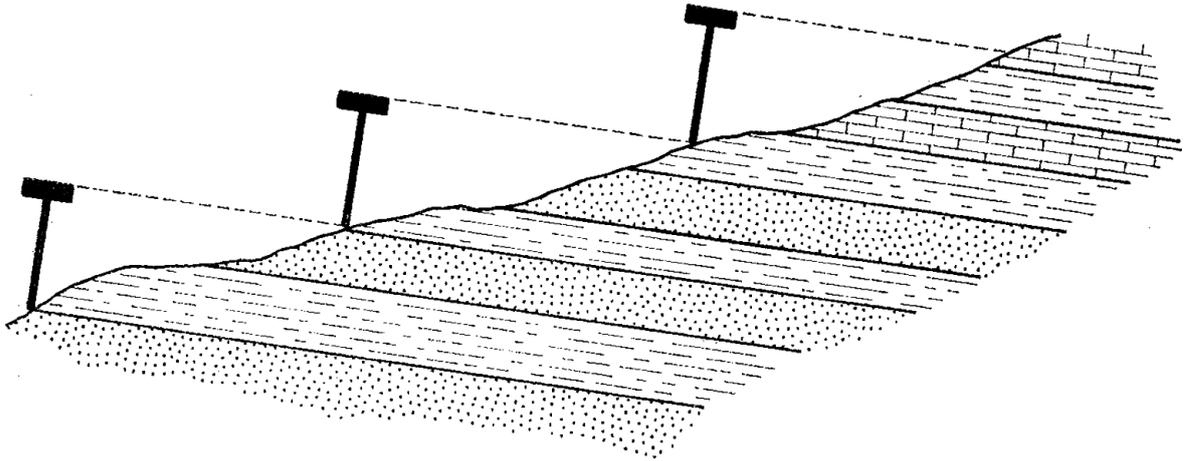


Figura N° 5 Medida de espesores (vara de Jacob). (J.A. Agueda-2004)

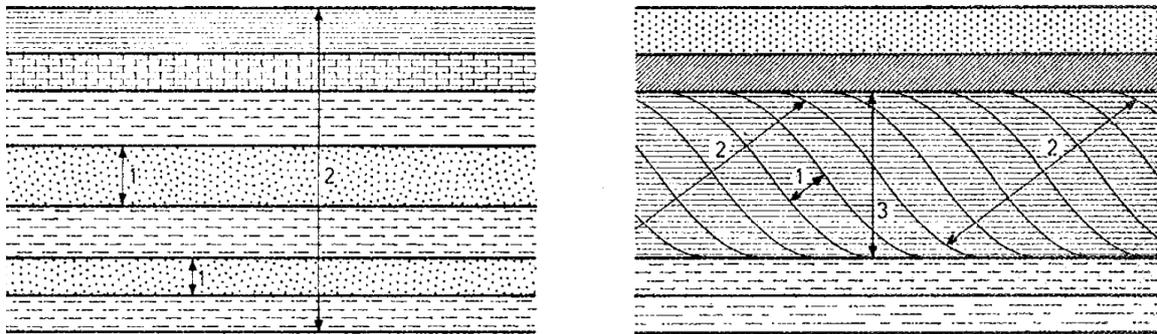


Figura N° 6 Medida de espesor de estratos: 1. Espesor de estrato; 2. Espesor de conjunto de estratos; 3. Espesor total de la unidad. (J.A. Agueda-2004)

### 2.2.7 Clasificación de las rocas clásticas

Son rocas que poseen una textura clástica formada por fragmentos de clastos o cristales englobados en una matriz, o en algún material precipitado o diagenético (cemento).

- **PETTIJHÓN:** la matriz define el tipo de triángulo a utilizar, es decir, si la matriz es menor que 15 %, la roca que se está clasificando pertenece a la familia de las arenitas que conforman el primer triángulo; si la matriz está comprendida entre 15 % y 50 %, la roca pertenece a la familia de

las grauvacas y, finalmente, si la matriz es mayor que 50 %, la roca pertenece a las lutitas, cuya clasificación se emplea de una manera diferente a las areniscas y no es tema de discusión en este estudio.

➤ **FOLK (1970):** En relación a los anteriores, Folk cambia el alcance (proporciones relativas) con el que se utilizan esos criterios y la terminología a la que dan lugar.

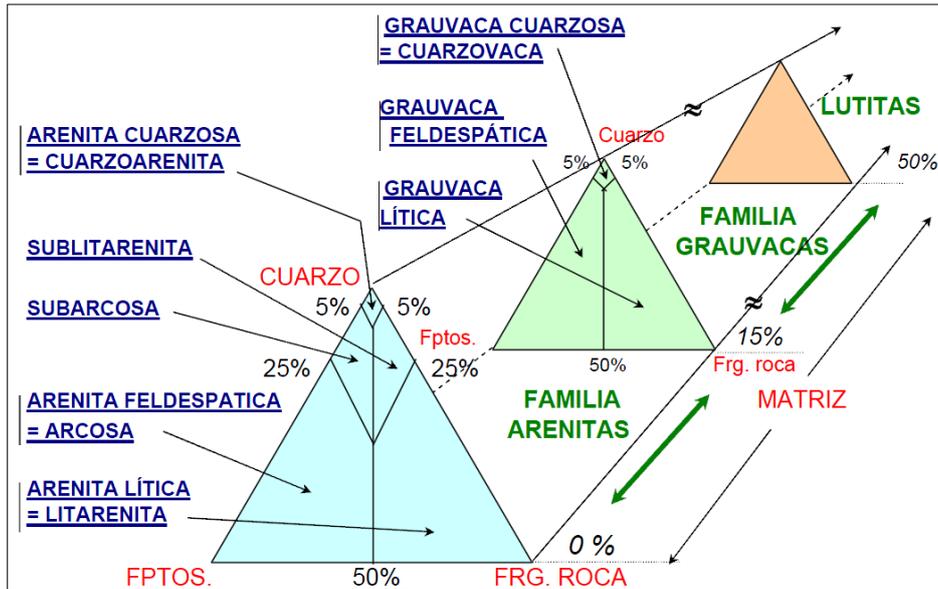


Figura N° 7 Clasificación de areniscas según Peitijón

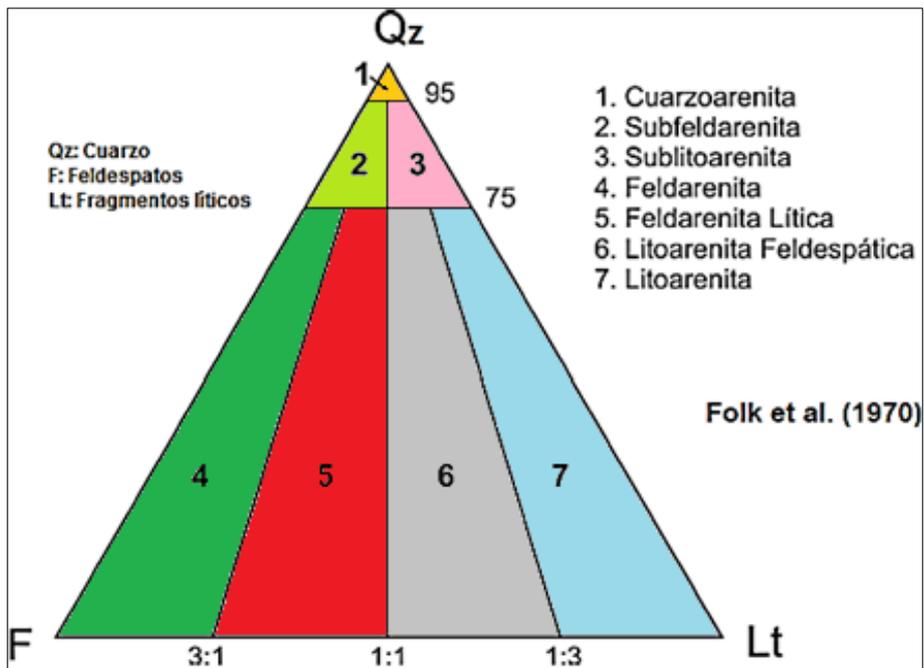


Figura N° 8 Clasificación de areniscas según Folk et al. 1970

### 2.2.8 Deltas

Podemos definir los deltas como sistemas sedimentarios de geometría generalmente convexa, que destacan en una costa frente a la desembocadura de un río y que se forman cuando el aporte de sedimentos procedentes de este río supera la redistribución de estos sedimentos por parte de procesos marinos tales como olas, corrientes y mareas. Los estudios sedimentológicos que se realizan actualmente sobre los sistemas deltaicos, parten de los trabajos de Gilbert (1885, 1890) en los deltas pleistocenos del lago Bonneville, en Utah, Estados Unidos, de los que se derivó la denominación de «Deltas de Gilbert». Los deltas actuales se comenzaron a estudiar más tarde, básicamente por razones de mejoras de puertos y vías de navegación y prevención de avenidas. Este fue el origen de los estudios de Russell (1936, 1939) y, sobre todo de Fisk (1944, 1947), en el Mississippi, que dominaron cerca de treinta años de tal manera, que todos los ejemplos antiguos y modernos se comparaban con esta especie de «holotipo» de deltas. (Arche, 2010)

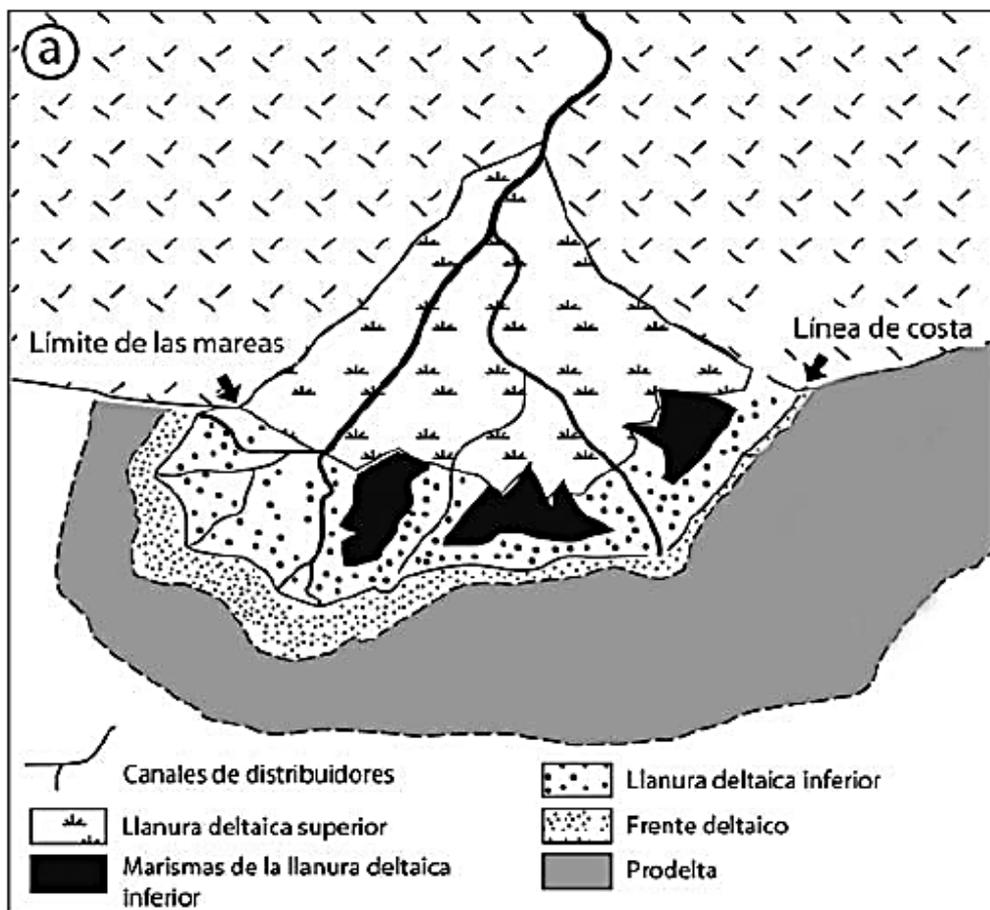
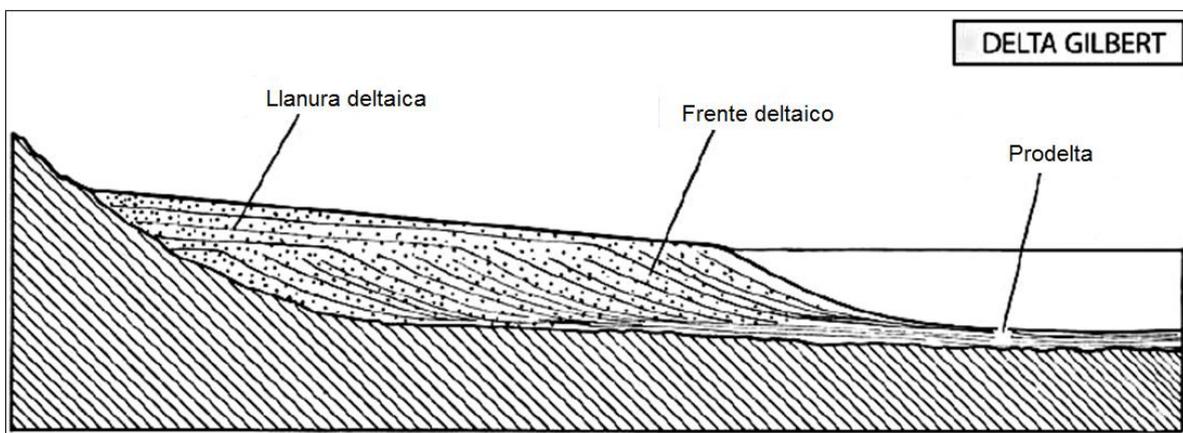


Figura N° 9 a) Zonación teórica de un delta; Arche, 2010

### 2.2.8.1 Partes de un delta

Todo delta posee dos partes bien diferenciadas: una subaérea o llanura deltaica y otra subacuática, dividida a su vez en una parte proximal o frente deltaico de pendiente acusada ( $1^\circ$  a  $5^\circ$ ) y otra distal o prodelta, de mucha menor inclinación.

Basándose en las primeras descripciones de Gilbert, se han utilizado como sinónimos de llanura deltaica, frente deltaico y prodelta los términos topset, foreset y bottomset pero esta nomenclatura se reserva en la actualidad para formas menores como ripples y megaripples. (Arche, 2010)



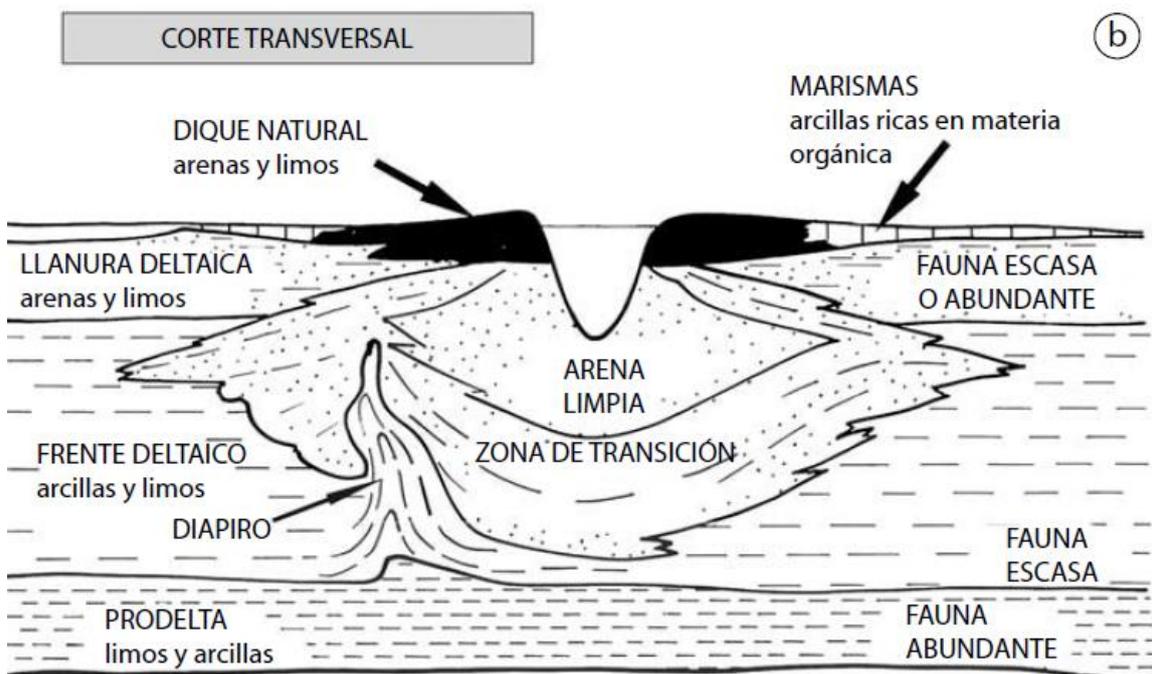
**Figura N° 10** Llanura deltaica, Frente deltaico y Prodelta de un delta. Modificado de Arche, 2010

La llanura deltaica puede a su vez dividirse en dos partes: una superior o interna, siempre por encima de la acción marina, que está dominada por los procesos fluviales y otra inferior o externa, donde se da la interacción de procesos fluviales y marinos y que alcanza hasta el límite superior de la marea (Coleman y Prior, 1982; Coleman, 1976)

La llanura deltaica puede tener áreas activas y áreas abandonadas, pues el río tiende a buscar el camino más corto hacia el mar, es decir, la máxima pendiente, y abandona un lóbulo cuando ha crecido en demasía. Mientras la parte activa crece, la abandonada puede sufrir el ataque de olas y corrientes, mientras se compacta por expulsión de aguas intersticiales de los sedimentos. Esta combinación de procesos hace disminuir su tamaño con el tiempo.

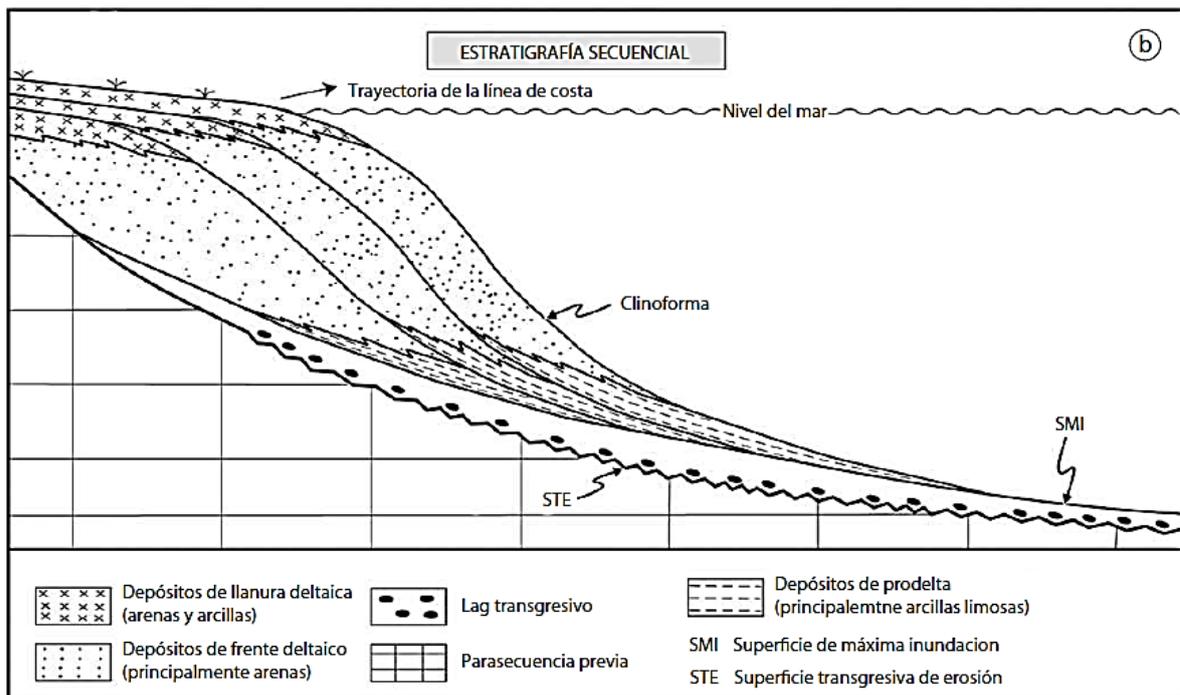
En el frente deltaico se produce una gradación de tamaños de grano, desde la parte superior, donde dominan las arenas, hacia la parte inferior donde hay materiales finos procedentes de decantación, en transición gradual al prodelta, donde se depositan sólo sedimentos finos. La plataforma continental adyacente también puede recibir abundantes sedimentos finos. La parte superior del frente deltaico puede tener características sedimentológicas muy variadas, debido a que los sedimentos aportados por los canales distribuidores en la desembocadura están sometidos a la interacción de procesos marinos someros (oleaje, mareas y otras corrientes).

El prodelta es la zona del sistema deltaico donde se acumulan limos y arcillas por decantación y procesos gravitacionales, por debajo de la acción del oleaje. En su fondo más distal, el prodelta pasa gradualmente al fondo abisal de la cuenca marina. La tasa de sedimentación en el prodelta es muy elevada y los sedimentos de grano fino están intensamente bioturbados.



**Figura N° 11** Barra de desembocadura: corte transversal de la barra de desembocadura y distribución espacial de las principales asociaciones de facies.

Arche, 2010



**Figura N° 12** Representación correcta de los límites de facies respecto a las líneas de tiempo. Arche, 2010

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- **Facies:** El concepto de facies es fundamental en Sedimentología, pues, ya en el siglo XVIII, los primeros estudios de las rocas sedimentarias antiguas demostraron que todas ellas presentaban características tales como composición, geometría y contenido de fósiles que permitían agruparlas en un número finito de tipos. El término original fue definido por Gressly en 1838, como: “conjunto de características litológicas y faunísticas de una unidad estratigráfica que permite distinguirla de las adyacentes”. Este concepto ha sido uno de los más debatidos en la historia de la Geología y sus avatares están recogidos en los trabajos de Middleton (1973), Anderton (1985) y Reading (1996). De acuerdo con Selley (1970), definiremos una facies como un conjunto de rocas sedimentarias que puede ser definido y separado de otros por su geometría, litología, estructuras sedimentarias, distribución de paleocorrientes y fósiles. (Arche, 2010)

- **Compactación:** Los sedimentos se compactan bajo el peso de la sobrecarga (material depositado sobre ellos). La capacidad de compactación es máxima en los sedimentos finos y mínima en los más gruesos. (Oyarzún, Geol. Dr. Sc. Diccionario Geológico. Chile 2009)
  
- **Estrato:** cuerpo (generalmente tabular) de roca o sedimento, con litología homogénea o gradacional que se ha depositado durante un intervalo de tiempo determinado. La separación de estratos está ligada al reconocimiento de las superficies de estratificación y por tanto al espesor de cada unidad, por ello muchos autores admiten la división de estratos según el espesor, lo que ocasiona una cierta confusión en la nomenclatura. El término capa no tiene connotación genética, solo geométrica y es aplicable a cualquier tipo de rocas, mientras que estrato, engloba los aspectos geométrico y genético y sus uso quedando restringido su uso a las rocas sedimentarias. Por tanto no siempre serán sinónimos capa y estrato. (Agueda, 2004)
  
- **Sistema de depósito:** Conjunto tridimensional de facies cuyos procesos de formación son ligados y que registran los principales elementos de la paleogeografía. Ejemplos de sistemas de depósito son el sistema fluvial el sistema deltaico o el sistema de abanico profundo (deep sea fan). Un sistema de depósito evoluciona lateralmente hacia el sistema adyacente, constituyendo asociaciones lógicas de elementos paleo-geomorfológicos. Por ejemplo, el sistema fluvial pasa lateralmente al sistema deltaico. (Marocco, 2008)
  
- **Ciclos eustáticos:** Los cambios globales del nivel del mar implican una alternancia de episodios de subida generalizada del mismo, seguidos de otros de descenso. Se llama ciclo eustático al intervalo de tiempo en el cual ocurrió una subida y una bajada del nivel del mar. El reconocimiento de los ciclos eustáticos implica el poder diferenciar los ciclos debidos a factores locales y regionales (especialmente de origen tectónico) de los globales. (Oyarzún, Geol. Dr. Sc. Diccionario Geológico. Chile 2009)

- **Correlación:** La correlación estratigráfica es una de las técnicas de mayor interés en Estratigrafía y consiste en comparar dos o más secciones estratigráficas, de un intervalo de tiempo semejante, estableciendo la equivalencia entre los niveles o superficies de estratificación reconocibles en cada una de ellas. La correlación estratigráfica entre dos o más secciones estratigráficas locales relativamente cercanas entre sí (correlación local) permite reconstruir la geometría de las unidades litoestratigráficas, valorar su posición en el tiempo, conocer sus cambios laterales, etc. Con ello se elabora una sección estratigráfica compuesta local en la que quedarán destacados los rasgos más significativos de las unidades estratigráficas presentes en un sector determinado. (Vera Torres, Catedrático de Estratigrafía de la Universidad de Granada, 1994)

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN

Las zonas de estudio se encuentran ubicadas en el continente americano. País: Perú, Departamento: Cajamarca, Provincia: Cajamarca y Distrito: Baños del Inca.

La zona de estudio está ubicada concretamente en Shaullo y Puyllucana. A continuación se muestra la tabla 1 con las coordenadas de estudio para cada uno de los flancos del anticlinal, las coordenadas están en sistema UTM-WGS84.

**Tabla 1** Coordenadas de la zona de estudio en Shaullo y Puyllucana

SHAULLO			PUYLLUCANA		
VÉRTICE	NORTE	ESTE	VÉRTICE	NORTE	ESTE
A	9208150	782065	E	9206309	780911
B	9208150	786213	F	9206309	784456
C	9206521	786213	G	9204616	784456
D	9206521	782065	H	9204616	780911

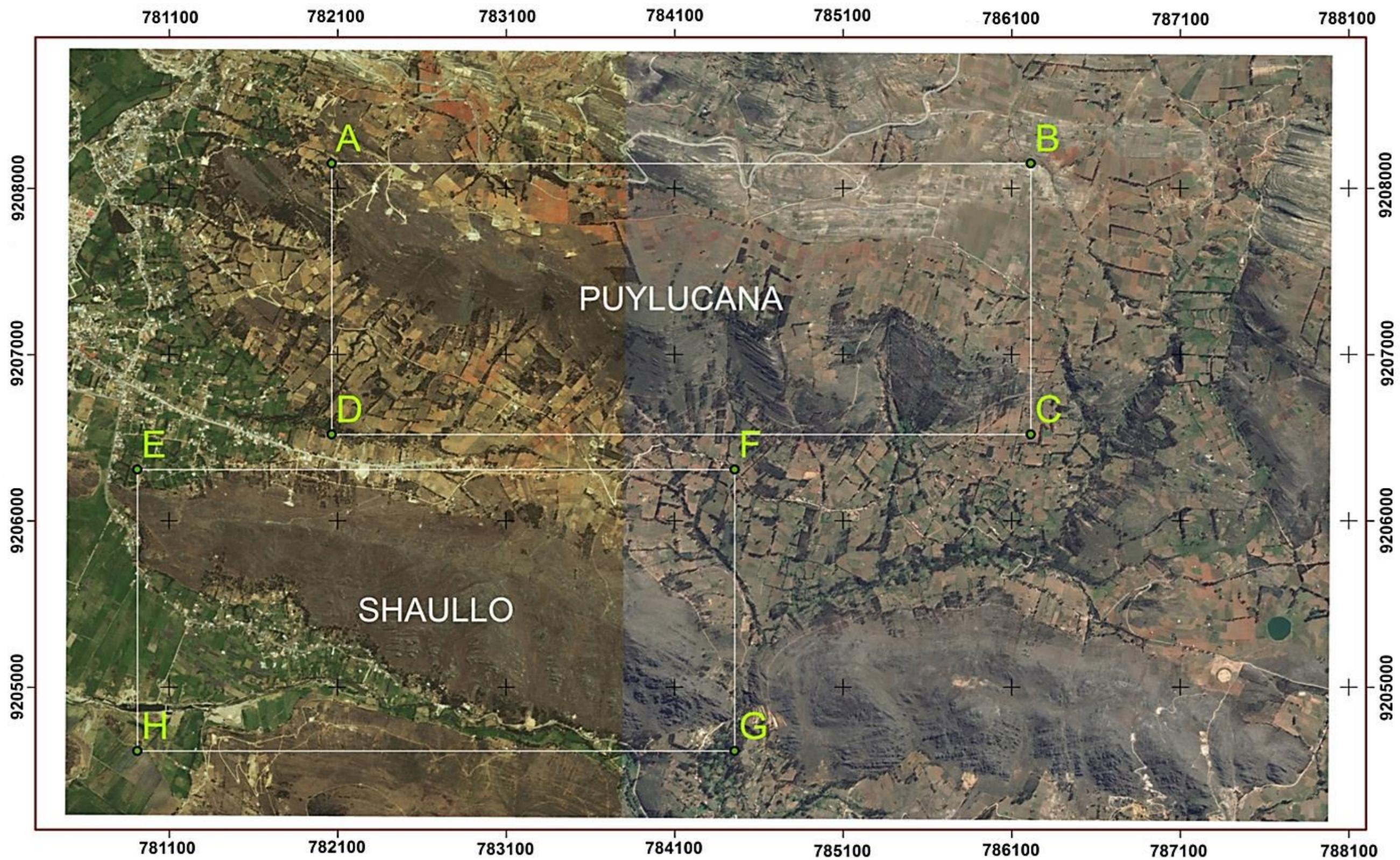


Figura N° 13 Ubicación de la zona de estudio.

### **3.2. ACCESIBILIDAD**

Para poder llegar a la zona de estudio se debe de realizar dos formas de movilización tanto para la zona de Puyllucana como para la zona de Shaullo. Primero debemos de tomar la línea de transporte público 55 o la línea A (micro) para poder llegar hasta el centro poblado de Puyllucana, de igual manera se debe de tomar la línea A (combi) para desplazarse hasta Shaullo, en ambos casos una vez llegado al paradero final de las líneas se debe de caminar unos 20 o 30 minutos para llegar a la zona de estudio y comenzar con las mediciones.

### **3.3. TIPO Y MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN**

El de tema de investigación es de tipo descriptivo- explicativo, debido a que se va analizar y describir tomando criterios litoestratigráficos y sedimentológicos la Formación Farrat, en Shaullo y Puyllucana, para poder así elaborar la estratigrafía secuencial y generar las correlaciones estratigráficas.

### **3.4. UNIDAD DE ANÁLISIS, POBLACIÓN Y MUESTRA.**

#### **3.4.1 Unidad de análisis**

Las secuencias estratigráficas de la Formación Farrat en Shaullo y Puyllucana de la cuenca de Cajamarca.

#### **3.4.2 Población**

Los afloramientos de la formación Farrat en Shaullo y Puyllucana de la cuenca de Cajamarca.

#### **3.4.3 Muestra**

Las rocas, fósiles, texturas y estructuras sedimentarias.

### **3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN**

Para la presente investigación se utilizarán fichas para la recolección de datos concernientes en la elaboración de columnas de la estratigrafía secuencial de la Formación Farrat en Shaullo y Puyllucana de la cuenca de Cajamarca, para lo cual se realizarán salidas al campo para recopilar información sobre el

espesor de los estratos y estructuras sedimentarias, dichos datos serán plasmados a escala de modo que la representación permita hacer una interpretación clara, finalmente toda la información recolectada en campo se digitalizará en el programa SedLog 3.1.

### **3.5.1 Técnicas**

- Observación Dirigida a las estructuras sedimentarias, granulometría, facies.
- Análisis Documental.

### **3.5.2 Instrumentos**

- Plano Topográfico (para cartografiado) (Escala: 1/10,000), DATUM UTM WGS – 84.
- Plano Geológico (ubicación de rumbos, buzamientos e identificación de litologías) (Escala: 1/10,000), DATUM UTM WGS – 84.
- GPS Garmin Live CX tipo Navegador.
- Brújula BRUNTON.
- Protactor
- Picota geológica.
- Escobilla de mano.
- Lupa (20X) IWAMOTO.
- Lápiz de dureza (Rayador).
- Ácido clorhídrico al 18%.
- Wincha 50 m.
- Flexómetro 3 y 5 m.
- Libreta de campo.
- Bolsas de Muestreo.
- Cámara fotográfica digital Nokia E7 (8 MP).
- Computadora personal.
- Útiles de escritorio como papel, lápices, borradores y otros.
- Software (Sedlog 3.1, Arc Gis 10.3)

### 3.6. ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL DE LA FORMACIÓN FARRAT

La toma de datos de la estratigrafía secuencial en el área de Shaullo se efectuó en el flanco sur del anticlinal del mismo nombre mientras que la toma de datos en Puyllucana se inicia a unos 30 minutos a pie con dirección noreste desde el centro poblado de Puyllucana. Se realizó una medición directa de los estratos de areniscas que constituyen a la Formación Farrat, para ellos se hizo uso de flexómetros de 3 - 5 m de longitud, así como emplearon picotas para poder fracturar los estratos y obtener muestras de mano con superficies frescas que permitan observar las características de la roca como su granulometría o estructuras internas (laminación, bioturbación). Los puntos de inicio para ambas zonas de estudio se muestran en la tabla 2.

**Tabla N° 2** Coordenadas de los puntos de inicio en Shaullo y Puyllucana

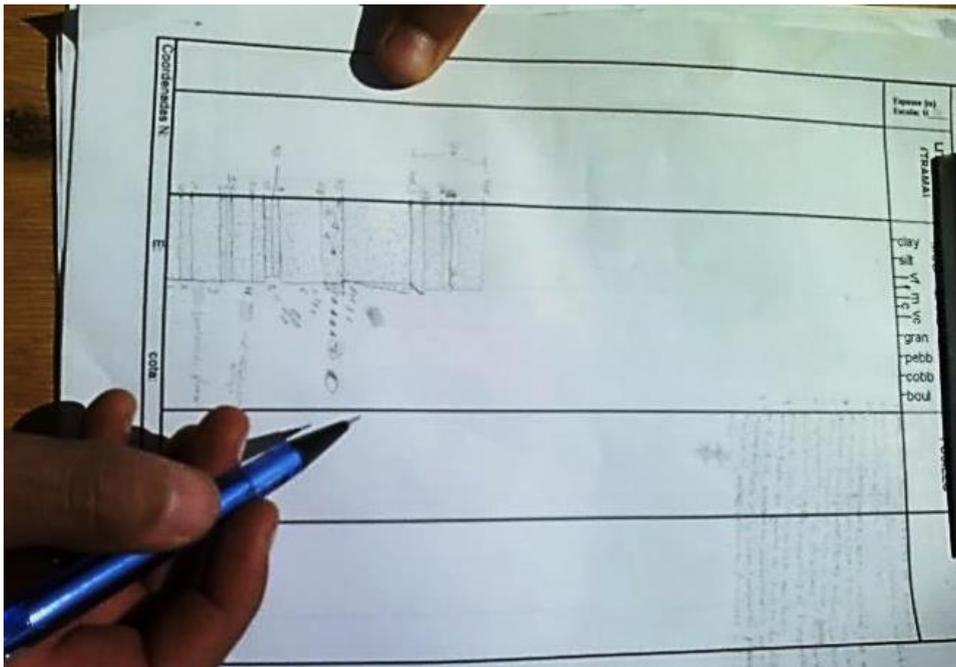
Área	Latitud	Longitud	Cota
Shaullo	9205898	782749	2957
Puyllucana	9208378	782027	2883



**Figura N° 14** Punto de inicio Shaullo. La medición fue hecha de forma ascendente desde la base hasta el techo. Base de la Formación Farrat, constituida por areniscas grises, con un contenido de 15 % de líticos (todo clasto que sea diferente a los granos de cuarzo de las areniscas) y 5 % de arcillas, con presencia de óxidos férricos.



**Figura N° 15** Punto de inicio Puyllucana. La medición comenzó en el techo de la formación de forma descendente hasta la base.

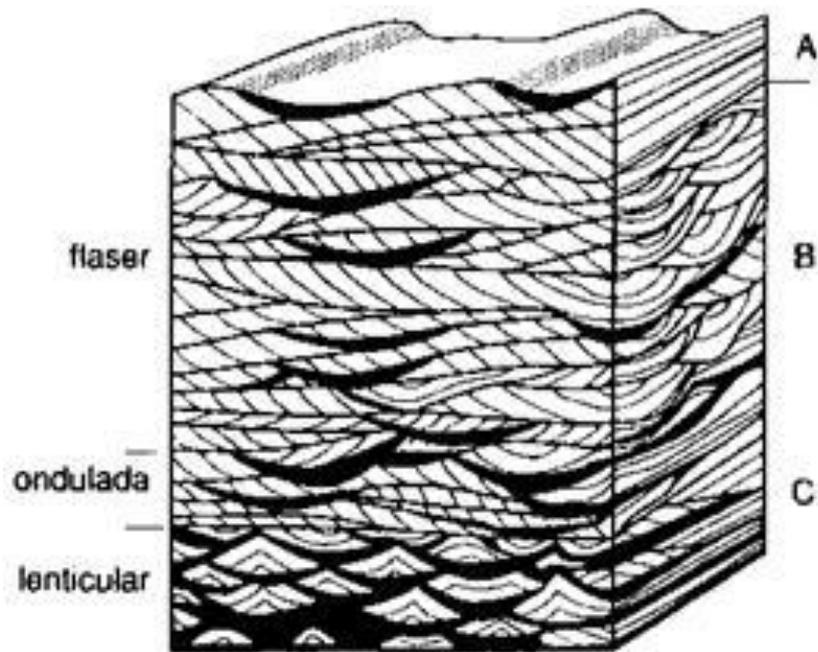


**Figura N° 16.** Representación de los datos de campo, para lo cual se ha utilizado el formato de columna (ver anexos), guías de estructuras estratigráficas (Ver Figura 3 y 4).



**Figura N° 17** Base de la Formación Farrat, presenta estratos con espesores entre 8 y 40 cm, con estratificación sesgada, granos finos en el inicio pasando a partir de los 3 metros a areniscas de granos medio, hay presencia de muscovita, oxidación 5-10%, bioturbación de media a alta por la presencia de burrows horizontales en su mayoría.

Las secuencias estratigráficas de la Formación Farrat se mantienen constantes desde el inicio hasta aproximadamente los 14 metros en los cuales se presentan areniscas laminares y posteriormente el nivel de arcillas en las areniscas laminares de grano fino va en aumento, presentando hasta clastos arcillosos de 1cm como diámetro mayor, sobre estas se presenta una laminación flaser (Ver figura 18) de 11.5 cm, posteriormente nuevamente areniscas arcillosas.



**Figura N° 18** Laminación Flaser. Este tipo de estratificación se produce en áreas donde existe una sedimentación de tipo ripple y van alternando periodos de corriente con otros de quietud. Si se parte de la base que posee arena y arcilla, la arena puede formar ripples, mientras la arcilla permanezca en suspensión depositándose en el momento en que se calme la corriente. (Fuente: <https://www.aiu.edu/spanish/publications/student/spanish/180-207/sedimentologia-sedimentology.html>)



**Figura N° 19** Laminación flaser, presente en la parte media de areniscas arcillas de grano fino, además tomando la parte inferior a las areniscas laminares que presentan areniscas de grano grueso podemos ver que hubo una crecida de flujo de corriente, depositándose de forma directa los clastos hasta llegar a un punto de tranquilidad en la cual las arcillas se depositaron dentro de las arenas de grano fino. La denominación flaser ha sido optada por las dimensiones que van menores de 1cm. (ver Anexos)



**Figura N° 20 A:** se puede observar las secuencias de areniscas arcillosas de grano fino las cuales infrayacen y suprayacen al nivel de laminación flaser (Ver Figura N° 18 y N°19), las cuales poseen un espesor que varía entre 7 y 30 cm. **B:** areniscas laminares con un nivel de oxidación de 70 – 100%, muscovita.

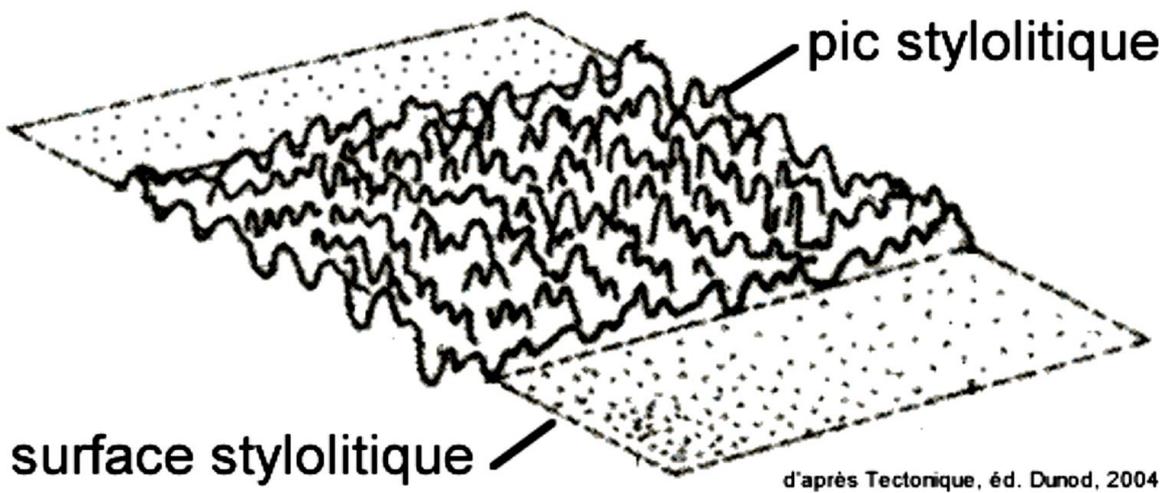
A partir de los 20 metros se empieza a producir secuencias rítmicas de estratos de 21- 30 cm con estratos de espesor 60 – 100 cm, secciones que se caracterizan por la estratificación sesgada de los estratos de menor espesor, presencia de estilolitas en techo y base, diques de arenas que además aprovechan la presencia de laminación paralela para distribuirse por las areniscas de grano medio de color lechoso. Como estructuras sedimentarias orgánicas presentan burrows en su mayoría horizontales, mientras que de tipo vertical casi no se encuentra presente.



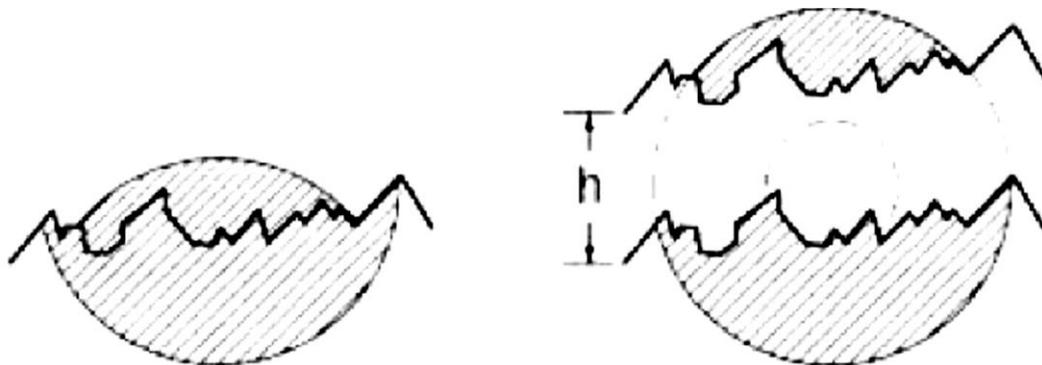
**Figura N° 21** Intercalación de estratos de pequeño espesor con estratos grandes, como se puede observar en la los estratos de menor espesor presentan estratificación sesgada (parte inferior de los estratos). Presencia de muscovita y una oxidación que oscila entre 60 a 80%.



**Figura N° 22** En el lado izquierdo Estilotilas en techo y base de los estratos, generados por la presión litostática generando recristalización y disolución sobre las areniscas. En el lado derecho se puede ver una muestra de mano obtenida del techo del estrato. (Ver Figura 23 y 24)



**Figura N° 23** Diagrama de estilolitas para muestra de mano. (Dunod, 2004)



**Figura N° 24** Diagrama de estilolitas en techo y base de estratos. (Schwab, 2004)



**Figura N° 25** Laminación paralela en las areniscas blanquecinas de la Formación Farrat. En el lado izquierdo podemos observar diques de arena que han aumentado su tamaño de forma lateral debido a que la oxidación ha aprovechado esos planos de laminación para ingresar y afectar a la roca. En el lado derecho se puede apreciar de forma clara la laminación paralela de las areniscas.

A continuación el espesor de los estratos crece de forma notable llegando hasta tener un promedio de 140 a 170 cm, con presencia de estratos de 9 a 40 cm. Las areniscas pasan a tener laminación cruzada paralela, con bases erosivas al tener grano grueso, niveles de areniscas arcillosas con muy baja a baja presencia de laminación flaser (por la presencia de lentes cóncavos de arcillas de color rojo oscuro). La presencia de estilolitas es frecuente, por ser las areniscas muy compactas lo que indica un proceso de mucha presión, en las cuales es un poco difícil apreciar el tamaño de grano a simple vista, dentro de las mismas existen algunos granos de cuarzo de hasta 4 mm de diámetro. En algunos estratos se ha podido observar superficies endurecidas las cuales son laminaciones de areniscas pero que han obtenido mayor dureza y reducción de porosidad por la presencia de óxidos. Esta secuencia termina al disminuir el espesor de estratos en promedio de 12 a 20 cm con presencia de diques de arena, en la parte superior encontramos un nivel de arcillas de 20 cm.

Después de las limolitas se presentan nuevamente estratos silicoclásticos de espesores que van desde los 12 hasta 43 cm, presentando estructuras de cargar diques de arena, laminación paralela, baja presencia de arcillas (2-3%), y algunos clastos (0.5%) con tamaños 2mm de diámetro dentro de las areniscas de grano medio.

Posteriormente un crecimiento progresivo de los granos, presentándose inicialmente alternancia de areniscas de grano grueso con areniscas de grano medio, algunos estratos de granos grueso llegan a tener una gradación directa rítmica (aquellos que tienen una medida que va desde 60 hasta 170 cm), empezando con una base erosiva de granos muy gruesos o gruesos hasta llegar a granos entre medio y gruesos y nuevamente muy gruesos o gruesos, laminaciones paralelas y paralelas cruzadas, diques de arena presentes en los estratos de espesor pequeños que oscila entre 12 y 40 cm. Algunos estratos presentan estratificación sesgada.



**Figura N° 26** Intercalación de limolitas y areniscas de grano fino a medio.



**Figura N° 27** Contacto entre limolitas y areniscas de grano fino a medio en la parte superior de la Formación Farrat en Puylucana. Encerradas en elipses de color amarilla se aprecian estructuras de carga generadas por la presión litostática y la diferencia de granulometría entre las areniscas (estrato superior) y las limolitas (estrato inferior).

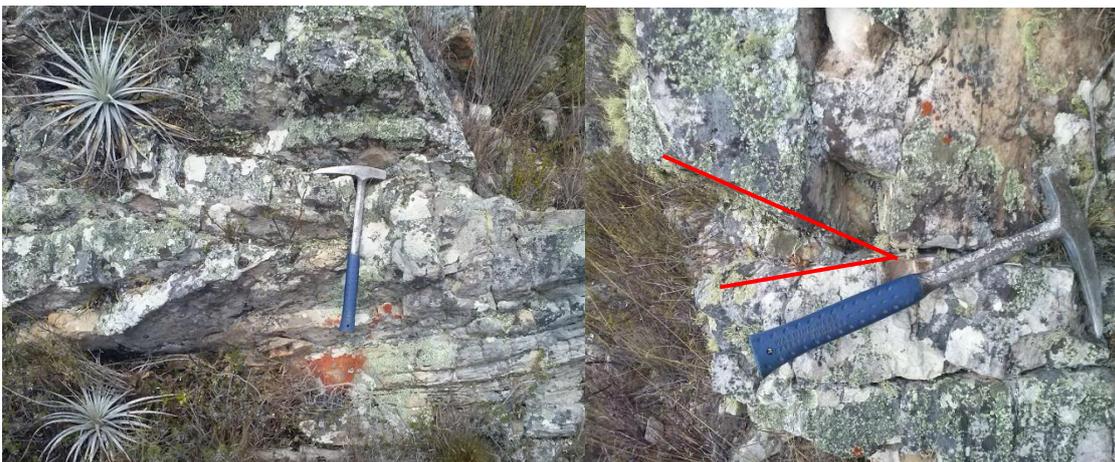


**Figura N° 28** Areniscas blanquecinas con bases erosivas de grano grueso a muy grueso. Como se puede ver en la figura la base posee una coloración rojiza por la presencia de óxidos, en este caso los óxidos trabajan como cemento y generan una superficie endurecida. La roca presenta laminación oblicua paralela con gradación rítmica de sus granos. La roca posee un 10 % entre líticas y arcillas.



**Figura N° 29** Secuencias de areniscas de granos grueso.

A partir aproximadamente de los 100 metros desde la base, la estratificación disminuye su espesor nuevamente y pasa a ser una secuencia rítmica de estratos de 40 a 60 con estratos de 6 a 30 cm. Se hace muy notoria la estratificación sesgada en este parte de la serie silicoclásticas de la Formación Farrat.



**Figura N° 30** Estratificación sesgada. Lado izquierdo, en la parte inferior se aprecian estratos de areniscas de un espesor pequeño entre 6 y 15 cm, suprayacente a estos (izquierda de la figura) se encuentran estratos de 30 a 40 cm los cuales muestran una estratificación sesgada. Lado derecho, se puede apreciar un acuñamiento lateral.

La presencia de diques de arena aumenta, el tamaño de grano pasa a ser de grano medio, pero en su mayoría cada estrato posee una base erosiva, laminación paralela, gradación directa en los estratos que pasan de una base de grano muy grueso a grano medio o grano grueso.



**Figura N° 31** Diques de arena. Se observa los diques de arena que llegan a tener hasta 60 cm de longitud, los óxidos se desplazan de forma lateral aprovechando la laminación paralela de las areniscas.

Conforme se avanza en la sección la laminación pasa a ser oblicua paralela, pero con disminución del espesor de los estratos, en este caso la intercalación que se produce es de estratos de 30 - 45 cm con estratos de 8 - 20 cm de espesor



**Figura N° 32** Laminación oblicua.

Por los 120 – 130 metros aproximadamente, la granulometría crece de grano medio-grosso a grano grueso-muy grueso, con bases erosivas y gradaciones rítmicas directas, laminación paralela, el espesor de los estratos vuelva a crecer, inicialmente son estratos de 40 - 50 cm de espesor, pasan a estratos de 70 – 250 cm. Esta secuencia posee unos 30 metros, para luego regresar al nivel inferior de la misma con estratos con menor espesor, a tal punto de presentarse nuevamente un nivel arcilloso de 15 cm, al igual que con el primer nivel arcilloso identificado la granulometría de las areniscas de le infrayacen y suprayacen baja hasta grano medio y medio-fino. Luego la granulometría aumente de grano medio a grano grueso y se mantiene así por unos 20 metros con estratos de 30 y 60 cm.



**Figura N° 33** Areniscas de grano muy grueso. Las areniscas de esta secuencia poseen bases erosivas, presentando niveles con clastos que pueden llegar hasta los 5 – 6 mm.

A continuación las areniscas pasan a grano medio y medio-fino, con una disminución de sus espesores que van de 7 hasta los 30 cm. Diques de arena presentes en casi todos los estratos, el contenido de muscovita es de un 4 %, el nivel de oxidación es de 70 – 100%, no se hay presencia de laminación. Esta secuencia es de aproximadamente 8 – 9 metros. Termina con el crecimiento tanto de la granulometría que van desde grano medio grueso en la base a grueso-muy grueso y de los espesores que van de 25 a 40 cm en la base y

entre 80 a 200 cm, presencia de laminación paralela, una oxidación de la roca entre 60 a 80 %, muscovita, y estratos con gradación rítmica directa.



**Figura N° 34** Gradación rítmica directa. Dentro de los estratos de grano grueso se pudo observar la presencia de bases erosivas constituidas por granos muy gruesos, representado por areniscas conglomeráticas, luego se va gradando de forma directa los granos hasta llegar a un nuevo nivel de granos muy gruesos y nueva gradación directa.



**Figura N° 35** Secuencia de areniscas de grano fino-medio a fino, con un contenido de arcillas de un 10%. Resaltan con respecto a las secuencias anteriores por tener los estratos unos espesores pequeños que varían entre 7 a 20 cm, esto se puede observar en la base de la figura un estrato de unos 100 cm y luego estratos pequeños. Aproximadamente son 10 metros.



**Figura N° 36** Secuencias de areniscas de grano grueso en la parte alta del anticlinal de Shaullo flanco sur. En esta sección las areniscas presentan bases erosivas (una base erosiva se da cuando la base de un estrato posee una granulometría mayor que la del techo del estrato suprayacente) con granos gruesos, laminación paralela.

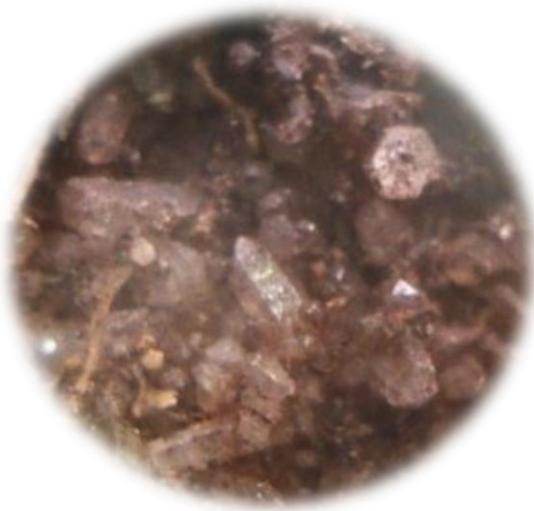
### 3.6.1 Estructuras sedimentarias

➤ Estilolitas



**Figura N° 37** Son estructuras sedimentarias generadas por la presión litostática que sufren las areniscas y el contenido de arcillas. A la derecha se muestra de forma frontal estilolitas, que además vienen a formar superficies endurecidas por la presencia de óxidos en esta discontinuidad. (Ver Figura 23 y 24)

➤ Recristalización de cuarzo



**Figura N° 38** Así como la presión litostática genera las estilolitas también tiene otro efecto sobre las areniscas de la Formación Farrat, el cual viene a estar representado por la recristalización de cuarzo, llegando a formar nuevamente pequeños cristales de dicho mineral en la parte basal de la formación. (Aumento 3X)

➤ Laminación paralela



**Figura N° 39** Es la disposición paralela de las láminas a las superficies límites del estrato y asimismo paralelas entre sí. Las areniscas de la Formación Farrat en Shaullo presentan esta característica entre un 60 y 70 % de sus afloramientos.

➤ Laminación paralela oblicua



**Figura N° 40** Laminación Oblicua, se presenta en las areniscas cuarzosas.

➤ Riples



**Figura N° 41** Los ripples de oscilación, también llamados “ripples de olas” (wave ripples), son ondulaciones simétricas o ligeramente asimétricas originadas por acción del oleaje. La figura muestra ripples de olas en el techo de un estrato.

➤ Estratificación sesgada



**Figura N° 42** Estratificación sesgada.

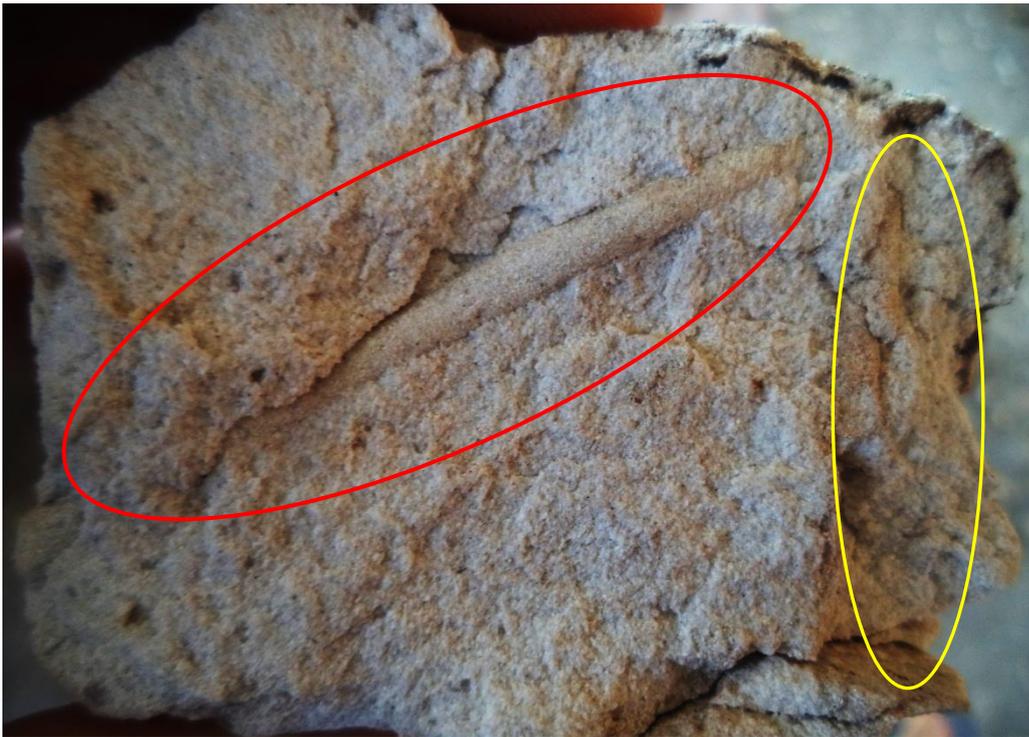


**Figura N° 43** La estratificación sesgada cumple los mismos mecanismos que la laminación sesgada pero a mayor escala. Este tipo de estructuras está muy presente en las secuencias de la Formación Farrat en Shaullo, sobre todo en las areniscas de menor espesor.

➤ Burrows (Bioturbación)



**Figura N° 44** Son estructuras del tipo biológico, formadas por la presencia de organismos que hacen madrigueras o pequeños agujeros para vivir durante la sedimentación. En la base de la formación donde las areniscas son muy compactas se las puede encontrar sobre todo del tipo horizontales.



**Figura N° 45** Muestra de Burrow horizontal (rojo) y verticales (amarillo) en los estratos de arenisca de la Formación Farrat en Shaullo.

➤ Diques de arena



**Figura N° 46** Son estructuras generadas por la percolación de óxidos en fracturas verticales, lo que produce un endurecimiento al actuar como cemento, en algunos casos sobresalen con respecto a la roca debido a que se vuelven más resistentes a la erosión.

➤ Estructuras de carga



**Figura N° 47** Las estructuras de carga son el resultado de la interacción de sedimentos de mayor densidad que suprayacen a sedimentos de menor densidad y menor tamaño de grano. En la figura se puede apreciar la estructura de carga generada entre areniscas de grano medio sobre areniscas arcillosas.

➤ Superficies endurecidas



**Figura N° 48** Normalmente son generadas por la precipitación de óxidos sobre un fondo de sedimentos, en donde los sedimentos se cementan y compactan perdiendo porosidad y ganando dureza. En la zona de estudio se han encontrado este tipo de estructuras en la base de los estratos.

➤ Improntas de plantas



**Figura N° 49** Huellas de restos vegetales presentes en las limolitas de la Formación Farrat. Estos se presentan en la base de una secuencia de limolitas de color gris claro. Ver anexos.

### 3.7. DESCOMPACTACIÓN DE LA SERIE SILICOCLÁSTICA DE LA FORMACIÓN FARRAT

La disminución del espesor debido a la compactación es mayor en sedimentos que se ubican en la parte inferior de la cuenca donde existe mayor presión litostática.

Para la descompactación de las areniscas de la Formación Farrat, debemos obtener la porosidad inicial, porosidad actual, la medida de todas las secuencias que la suprayacen (tomaremos las medidas de la columna de la tesis de Herrera, Edita 2012), utilizando los gráficos de Profundidad vs Porosidad de Hegarty et al 1988 y la ecuación de Gergard Einsele, 1991:

$$H \text{ inicial} = \frac{(1-n \text{ actual}) \times (H \text{ actual})}{1-n \text{ inicial}}$$

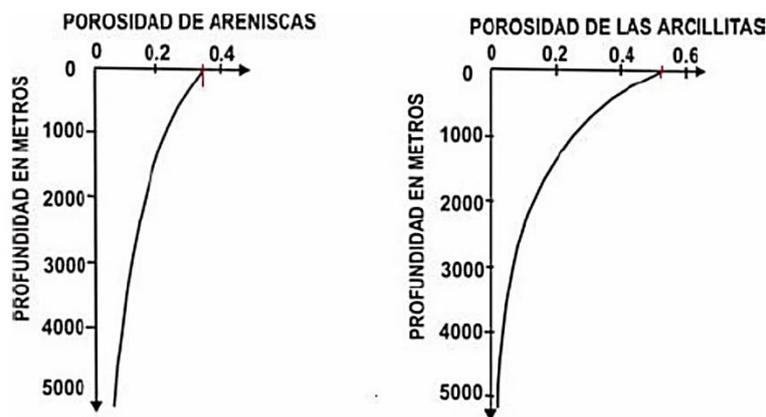
Donde:

H actual: que es el espesor actual medido en campo

N inicial: que es la porosidad inicial

N actual: que es la porosidad actual

H inicial: que es lo que buscamos.



**Figura N° 50** Gráficos de Profundidad vs Porosidad de Hegarty et al (1988). Este gráfico lo utilizaremos para interpolar la profundidad que viene a estar dada por todos sedimentos suprayacentes a las areniscas de la Formación Farrat.

### 3.7.1 Shaullo

Debemos tomar en cuenta que en campo se han identificado areniscas y limo-arcillas, estas últimas en un nivel muy pequeño respecto de la medida total de la columna que a escalas grandes no se puede apreciar, pero para esta sección del estudio si será tomado durante el proceso.

Tomando como profundidad total de 2877,23m, obtenemos una porosidad actual para las arenas de 0.12, mientras que para las arcillas un valor de 0.08. La porosidad inicial se obtiene tomando como profundidad un valor de 0, con lo cual los valores para arenas y arcillas es de 0.34 y 0.525 respectivamente. Para el cálculo del espesor inicial tomaremos los datos en metros 452.07m de arenas y 2m de arcillas.

**Tabla N° 3** Tabla de datos para la descompactación – Shaullo.

	Solo arenas	arenas	arcillas
<b>Porosidad inicial (n inicial)</b>	0,34	0,34	0,525
<b>Espesor suprayacente</b>	2877,23	2877,23	2877,23
<b>Porosidad actual (n actual)</b>	0,12	0,12	0,08
<b>Espesor actual (Farrat) (H actual)</b>	454,07	452,07	2
<b>H inicial</b>	605,42	602,76	3,87

**Tabla N° 4** Descompactación y porcentaje de reducción - Shaullo

	Arenas	Arcillas
<b>Espesor inicial (m)</b>	602,76	3,87
<b>Espesor Actual (m)</b>	452,07	2
<b>Compactación (m)</b>	150,69	1,87
<b>% de compactación</b>	25	48,37

En la tabla N°3 podemos ver todos los datos necesarios como son porosidad inicial, porosidad actual, estos obtenidos de los Gráficos de Profundidad vs Porosidad de Hegarty et al (1988) (ver figura 50), y el espesor actual obtenido de forma directa en campo con sus valores respectivos. Se ha tomado tres cálculos, en el primero se obtiene un resultado considerando que toda la

medida fueran arenas, los otros dos se ha calculado de forma separada tanto para arenas y arcillas con los datos de campo de tal forma que se pueda apreciar cual es el efecto de la presión litostática en cada uno.

### 3.7.2 Puyllucana

En el área de Puyllucana se han identificado dos tipos de sedimentos Limos y Arenas, por lo cual la descompactación se hará para cada uno de ellos. La medida de la Formación Farrat en esta zona es de 462.4 metros, por lo tanto el espesor suprayacente a considerar para determinar la porosidad inicial es de 2881.12 metros. Las medidas obtenidas fueras las siguientes:

**Tabla N° 5** Tabla de datos para la descompactación – Puyllucana

	Arenas (m)	Arcillas (m)
<b>Porosidad inicial (n inicial)</b>	0,34	0,525
<b>Espesor suprayacente</b>	2881,4	2881,4
<b>Porosidad actual (n actual)</b>	0,12	0,08
<b>Espesor actual (Farrat) (H actual)</b>	441,26	21,14
<b>H inicial</b>	588,34	40,94
<b>Espesor total (arenas + arcillas)</b>	629,29	

**Tabla N° 6** Descompactación y porcentaje de reducción - Puyllucana

	Arenas	Arcillas
<b>Espesor inicial (m)</b>	588,35	40,94
<b>Espesor Actual (m)</b>	441,26	21,14
<b>Compactación (m)</b>	147,09	19,80
<b>% de compactación</b>	25	48,37

En los cuadros se puede ver los resultados obtenidos para la descompactación de la Formación Farrat en el área de Puyllucana. Las arenas han sufrido un proceso de compactación de un 24,7 % mientras que las arcillas han sufrido un mayor porcentaje de compactación llegando hasta un 48,37 %, esto es comprensible teniendo en cuenta que las arcillas son mucho más porosas y por lo tanto pueden perder mayor volumen por la carga litostática.

### 3.8. IDENTIFICACIÓN DE FACIES (ANÁLISIS PETROGRÁFICO)

La determinación de los porcentajes de los componentes de cada muestra se hace de forma macroscópica, con el uso de una lupa de mano de 10X. Los nombres otorgados a las rocas fueron hechas mediante el uso de los triángulos de clasificación de Flok y Petijhon.

➤ **Muestra N° 01 – Facie de areniscas cuarzosas**

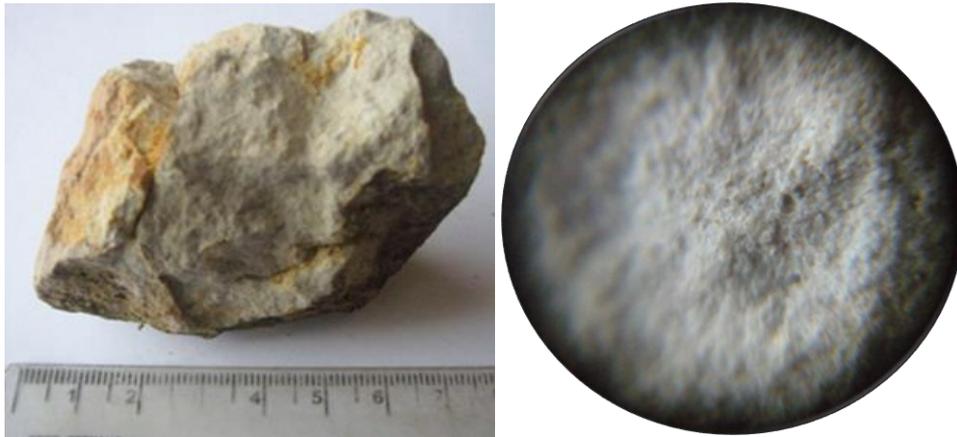


**Figura N° 51** Areniscas Cuarzosas (Aumento 3X)

**Tabla N° 7** Areniscas cuarzosas

ASPECTOS GENERALES			COMPOSICIÓN	
<b>COLOR</b>	S. Intemperada	Gris oscura, roja	<b>GRANOS CLASTOS</b>	<b>%</b>
	s. Fresca	blanca	<b>CUARZO</b>	90
<b>BRILLO</b>		Vítreo	<b>FELDESPATO</b>	-
<b>DUREZA</b>		6 -7	<b>BIOTITA</b>	1
<b>POROSIDAD</b>		Alta	<b>CLORITA</b>	-
<b>RAYA</b>		Blanca	<b>MUSCOVITA</b>	1
<b>FRACTURA</b>		Irregular	<b>FRAGMENTO DE ROCA</b>	1
<b>REACCIÓN CON HCL</b>		No reacciona	<b>MATRIZ</b>	3
<b>TEXTURA Y ESTRUCTURA</b>			<b>CALCITA</b>	-
<b>TEXTURA/LAMINACIÓN</b>		Clástica/ SI	<b>PEDERNAL</b>	-
<b>CLASIFICACIÓN</b>			<b>PIRITA</b>	-
ESFERICIDAD	<b>VALOR</b>	4.5	<b>OXIDOS DE Fe</b>	4
	<b>GRADO</b>	Esférica	<b>OXIDOS DE Mn</b>	-
REDONDEZ	<b>VALOR</b>	2.5	<b>OTROS</b>	-
	<b>GRADO</b>	Sub angular	<b>TOTAL</b>	100
<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>				
<b>FOLK</b>	<i>Cuarzoarenita</i>			
<b>PETTIJHON</b>	<i>Arenita cuarzosa</i>			

➤ **Muestra N° 02 – Facie de Areniscas limosas y Areniscas Arcillosas**



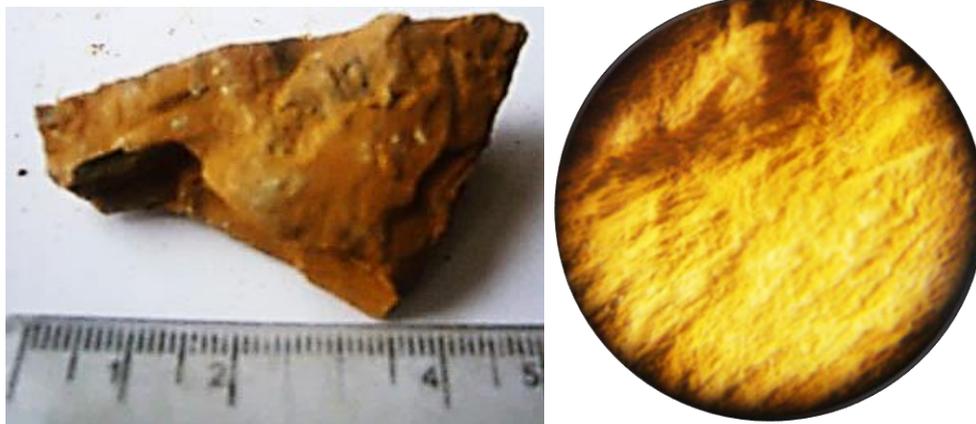
**Figura N° 52** Arenisca arcillosa (AUMENTP 3X)

**Tabla N° 8** Arenisca arcillosa

ASPECTOS GENERALES			COMPOSICIÓN	
COLOR	S. Intemperada	Gris oscura	GRANOS CLASTOS	%
	s. Fresca	Gris blanquecina	CUARZO	75
BRILLO		Opaco	FELDESPATO	-
DUREZA		4.5 – 5.5	BIOTITA	-
POROSIDAD		Baja	CLORITA	-
RAYA		Blanca	MUSCOVITA	1
FRACTURA		Irregular	FRACMENTO DE ROCA	5
REACCIÓN CON HCL		No reacciona	MATRIZ	10
TEXTURA Y ESTRUCTURA			CALCITA	-
TEXTURA		Clástica	PEDERNAL	-
ESTRUCTURA		Primaria	DOLOMITA	-
LAMINACIÓN		No presenta	GLAUCONITA	-
CLASIFICACIÓN			PIRITA	-
ESFERICIDAD	VALOR	4.5	OXIDOS DE Fe	5
	GRADO	Esférica	OXIDOS DE Mn	1
REDONDEZ	VALOR	2.5	OTROS (arcilla)	13
	GRADO	Sub angular	TOTAL	100
TAMAÑO DE GRANO		d = 0.1 mm		
<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>				
Rocas intermedias			<i>Arenisca arcillosa</i>	

➤ **Muestra N° 03 – Facie de limolitas**

También se pudo apreciar que entre la variedad de rocas arcillosas en la Formación Farrat con gran presencia de óxidos de hierro. Estos óxidos de hierro actúan como cemento lo que le da una mayor resistencia a la roca.

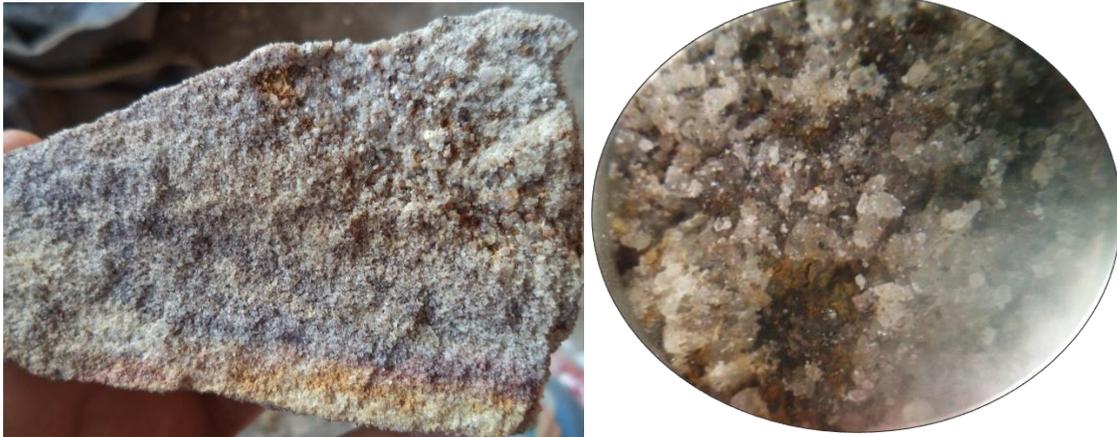


**Figura N° 53** Limolita (AUMENTO 3X)

**Tabla N° 9** Limolita

ASPECTOS GENERALES			COMPOSICIÓN	
<b>COLOR</b>	<b>S. Intemperada</b>	Negra	<b>GRANOS CLASTOS</b>	%
	<b>S. Fresca</b>	Marrón rojiza	<b>CUARZO (arenas)</b>	5
<b>BRILLO</b>		opaco	<b>CLORITA</b>	-
<b>DUREZA</b>		2- 3	<b>MUSCOVITA</b>	-
<b>POROSIDAD</b>		baja	<b>FRACMENTO DE ROCA</b>	1
<b>RAYA</b>		Anaranjada, roja	<b>Arcilla</b>	54
<b>FRACTURA</b>		Paralela	<b>CALCITA</b>	-
<b>REACCIÓN CON HCL</b>		No reacciona	<b>PEDERNAL</b>	-
<b>TEXTURA Y ESTRUCTURA</b>			<b>GLAUCONITA</b>	-
<b>TEXTURA</b>		Clástica	<b>OXIDOS DE Fe</b>	40
<b>ESTRUCTURA</b>		Primaria	<b>OXIDOS DE Mn</b>	-
<b>LAMINACIÓN</b>		Paralela	<b>TOTAL</b>	100
<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>				
<b>CLASIFICACION DE ARCILLAS</b>		<i>Limolita Ferruginosa</i>		

➤ **Muestra 04 – Facie de Grauvacas o Areniscas impuras**



**Figura N° 54** Grauvaca Lítica (AUMENTO 3X)

**Tabla N° 10** Grauvaca

ASPECTOS GENERALES			COMPOSICIÓN	
<b>COLOR</b>	<b>S. Intemperada</b>	Gris oscura, negra	<b>GRANOS CLASTOS</b>	<b>%</b>
	<b>s. Fresca</b>	gris	<b>CUARZO</b>	90
	<b>BRILLO</b>	Vítreo	<b>FELDESPATO</b>	-
	<b>DUREZA</b>	6 -7	<b>BIOTITA</b>	1
	<b>POROSIDAD</b>	Alta	<b>CLORITA</b>	-
	<b>RAYA</b>	Blanca	<b>MUSCOVITA</b>	0
	<b>FRACTURA</b>	Irregular	<b>FRACMENTO DE ROCA</b>	5
	<b>REACCIÓN CON HCL</b>	No reacciona	<b>MATRIZ</b>	8
	<b>TEXTURA Y ESTRUCTURA</b>		<b>CALCITA</b>	-
	<b>TEXTURA</b>	Clástica	<b>PEDERNAL</b>	-
	<b>ESTRUCTURA</b>	Primaria	<b>DOLOMITA</b>	-
	<b>LAMINACIÓN</b>	paralela	<b>GLAUCONITA</b>	-
	<b>CLASIFICACIÓN</b>		<b>PIRITA</b>	-
ESFERICIDAD	<b>VALOR</b>	4.5	<b>OXIDOS DE Fe</b>	4
	<b>GRADO</b>	Esférica	<b>OXIDOS DE Mn</b>	-
REDONDEZ	<b>VALOR</b>	2.5	<b>OTROS</b>	-
	<b>GRADO</b>	Sub angular	<b>TOTAL</b>	100
TAMAÑO DE GRANO		d >= 2. mm		
<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>				
<b>FOLK</b>			<i>Litoarenita</i>	
<b>PETTIJHON</b>			<i>Grauvaca lítica</i>	

## CAPÍTULO IV

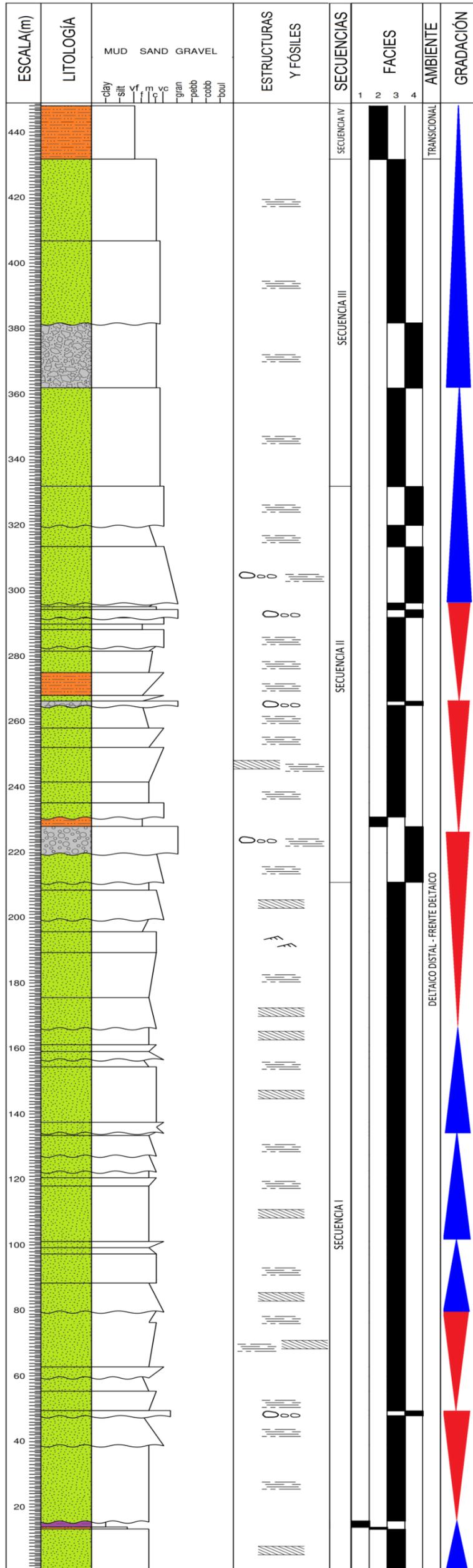
### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Una vez terminada la recolección de datos de campo, se procedió a su análisis e interpretación, para lo cual se ha recurrido al programa SedLog 3.1 para digitalizar estos datos en dos columnas estratigráficas secuenciales correspondientes una a Shaullo y la otra a Puyllucana, para con ello representar las secuencias, facies y miembros de la Formación Farrat.

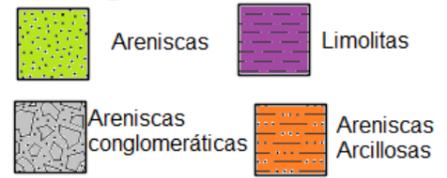
Los datos de los espesores de cada columna obtenidos con las mediciones directas en campo se presentan en la tabla N°11.

**Tabla N° 11** Medidas de las columnas de Shaullo y Puyllucana

	<b>SHAULLO</b>	<b>PUYLLUCANA</b>
<b>Espesor (metros)</b>	454,07	462,4
<b>Arenas (metros)</b>	452,07	441,26
<b>Limos (metros)</b>	2,00	21,24



### Litología



### Estructuras



### Tipo de base

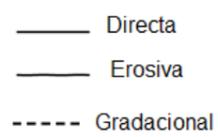


Figura N° 55 Columna general de la Estratigrafía Secuencial de la Formación Farrat en Shaullo.

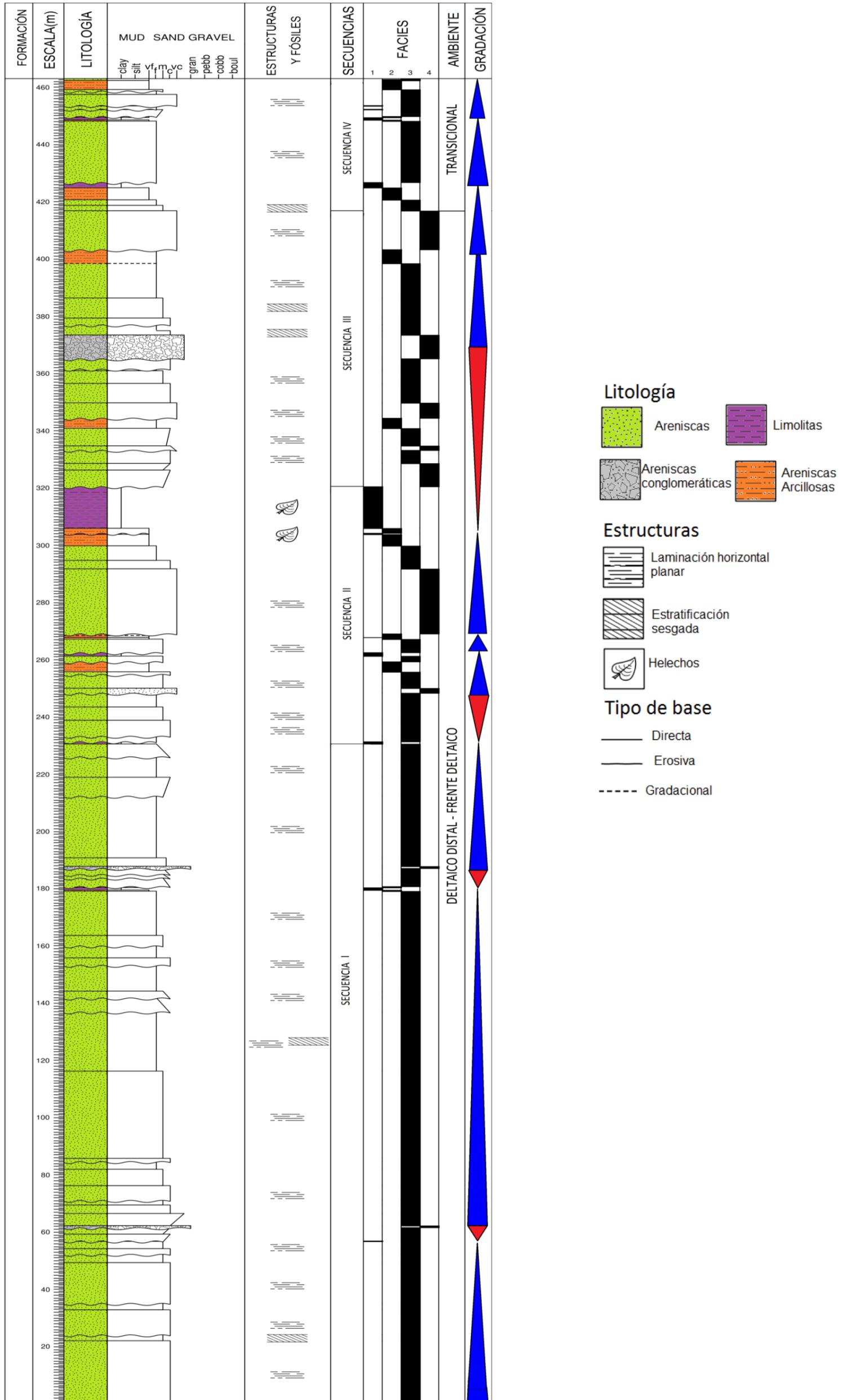
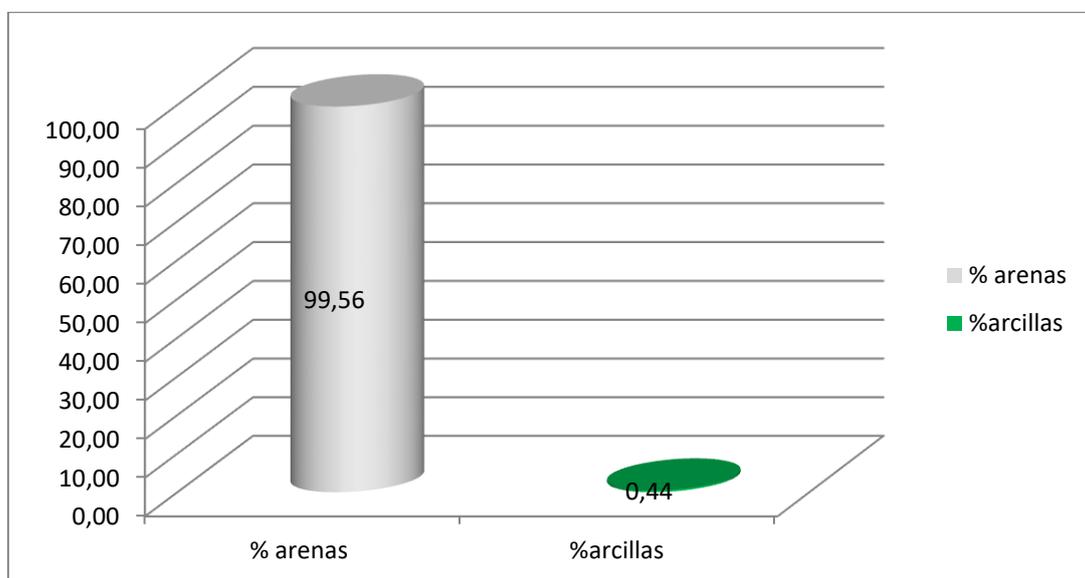


Figura N° 56 Columna general de la Estratigrafía Secuencial de la Formación Farrat - Puyllucana

#### 4.1. Descompactación Shaullo

El proceso de descompactación realizado nos ha dado como resultados los espesores iniciales tanto de arcillas (menos del 0.44%) y arenas (99,56%), además de un total del valor de la suma de ambos.



Los datos iniciales y datos obtenidos se muestran en el siguiente cuadro:

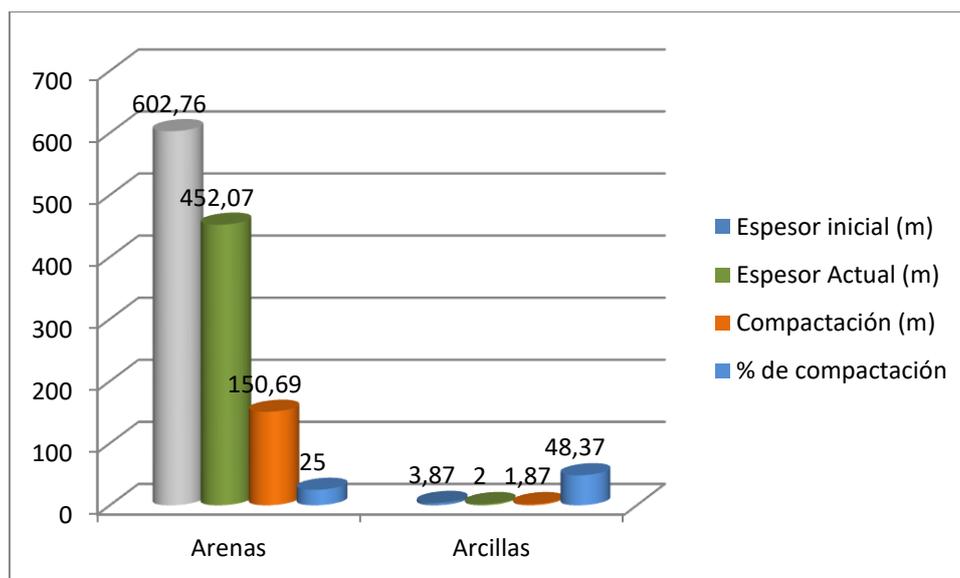
**Tabla N° 12** Datos de descompactación - Shaullo

	Solo arenas	arenas	arcillas
<b>Porosidad inicial (n inicial)</b>	0,34	0,34	0,525
<b>Espesor suprayacente</b>	2877,23	2877,23	2877,23
<b>Porosidad actual (n actual)</b>	0,12	0,12	0,08
<b>Espesor actual (Farrat) (H actual)</b>	454,07	452,07	2
<b>H inicial</b>	605,4266667	602,76	3,87
	Total	606,6336842	

Como se puede apreciar existen tres columnas de descompactación, cada una realizada para la descompactación de arenas y arcillas y una tercera ubicada en el lado izquierdo en donde se toma la medida total de la columna como si fueran sólo arenas con la finalidad de ver su variación.

**Tabla N° 13** Espesor descompactado de arenas vs arenas

	<b>Arenas</b>	<b>Arcillas</b>
<b>Espesor inicial (m)</b>	602,76	3,87
<b>Espesor Actual (m)</b>	452,07	2
<b>Compactación (m)</b>	150,69	1,87
<b>% de compactación</b>	25	48,37



Comparemos, la medida obtenida del espesor inicial tomando solo presencia de arenas sería 605,42m, mientras que si se toma en cuenta la presencia de las arcillas el espesor inicial toma el valor de 606,63m. Como vemos la diferencia es muy pequeña 1,20m., es decir un poco más de un metro, si esto lo comparamos con toda la columna es muy pequeño hasta despreciable, pero esto puede ser aplicado en este caso en el cual las arcillas representan menos del 0.2 % de toda la columna estratigráfica.

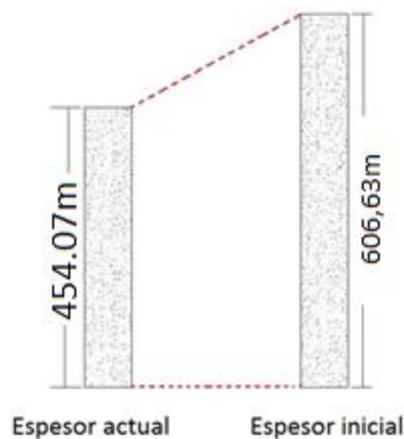
Veamos a continuación el porcentaje de variación de descompactación de la Formación Farrat en Shaullo:

La medida tomada en total de forma directa en campo fue de 454.07 metros, se ha tomado en cuenta tanto arenas y arcillas, estas últimas no se aprecian graficadas en la figura 55 por un tema de escala ya que su medida total (2 metros) es poco representativa a determinada a escala.



**Figura N° 57** Espesor actual de la Formación Farrat en Shaullo, dato obtenido a través de la medición directa de los afloramientos en campo.

Ahora veamos la columna descompactada y comparemos con el espesor actual:



**Figura N° 58** Descompactación de la Formación Farrat. A la derecha se observa el espesor inicial de la Formación Farrat en Shaullo, el cual es mayor que el espesor actual por 152,56 metros.

Aplicando una regla de tres simple obtendremos la reducción o compactación sufrida por las arenas luego de su depositación:

$$\begin{array}{l} 606.63 \text{ -----} 100\% \\ 452.07 \text{ -----} X \end{array}$$

$$X = [(452.07) \cdot 100] / 606.63$$

X=75.00 % (porcentaje que representa el espesor actual)

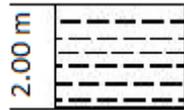
La compactación (C) viene a estar dada por la diferencia entre 100 – X

$$C=100\% - 75.00\%$$

$$C = 25.00\%$$

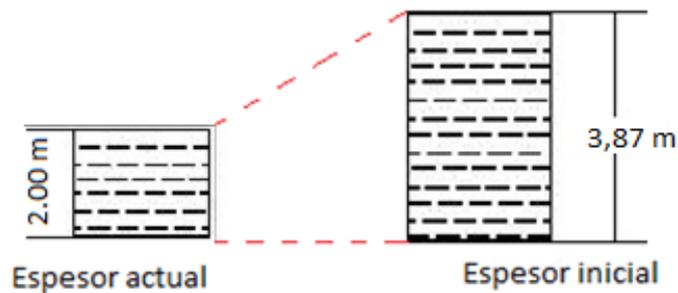
Como podemos ver que las arenas que conformas la Formación Farrat han sufrido una reducción del 25.00% posterior a su depositación.

Ahora realicemos la descompactación para las arcillas:



**Figura N° 59** Espesor actual de arcillas, medido de forma directa.

Ahora veamos la columna descompactada y comparemos con el espesor actual:



**Figura N° 60.** Descompactación de las arcillas de la Formación Farrat en Shaullo.

De igual forma que en el proceso anterior usaremos una regla de tres simple:

$$3.87 \text{ -----} 100\%$$

$$2.00 \text{ -----} Y$$

$$Y = [(2.00)*100]/ 3.87$$

$$Y = 51,63\% \text{ (porcentaje del espesor actual)}$$

La compactación (C) viene a estar dada por la diferencia entre 100 – Y

$$C=100\% - 51,63\%$$

$$C = 48,37\%$$

Como podemos ver en el resultado obtenido, la compactación de las arcillas es mayor que el de las arenas, es de casi la mitad de su espesor inicial, en el caso de la Formación Farrat puede que no sea tan significativo por ser como vimos 99.56 % arenas.

Ahora una vez realizada la descompactación de ambos tipos de sedimentos, comparemos la medida inicial en el caso de que solo fueran arenas versus la medida calculada con los datos de campo.

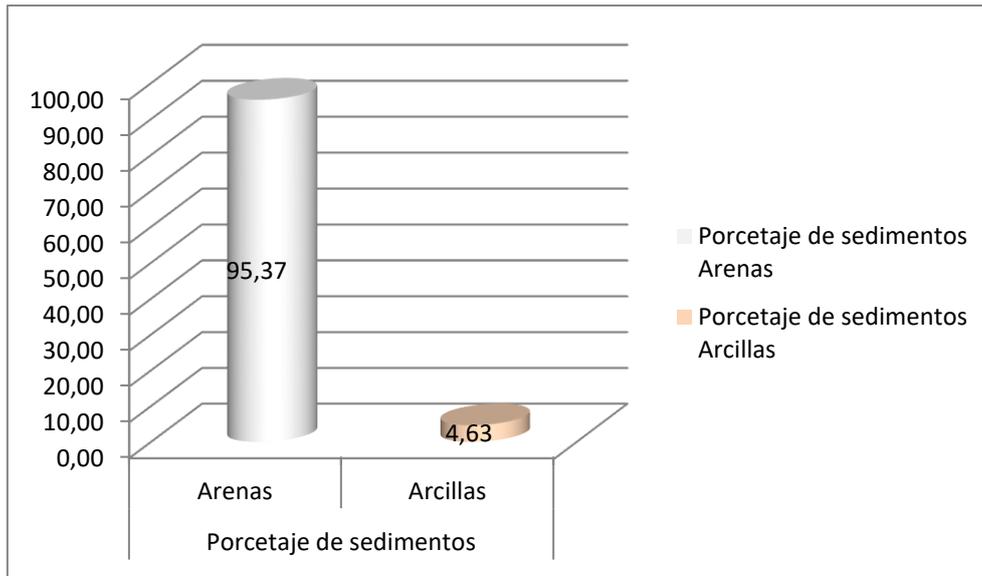
**Tabla 14** Datos de los espesores iniciales y finales

	Solo arenas	arenas	arcillas
<b>Porosidad inicial (n inicial)</b>	0,34	0,34	0,525
<b>Espesor suprayacente</b>	2877,23	2877,23	2877,23
<b>Porosidad actual (n actual)</b>	0,12	0,12	0,08
<b>Espesor actual (Farrat) (H actual)</b>	454,07	452,07	2
<b>H inicial</b>	605,426	602,76	3,87
	Total	606,63	

Basándonos nuevamente en esta tabla, el resultado de la descompactación si tomáramos toda la medida como si fueran solo arenas es de 605,42m metros, mientras que la descompactación final de los datos de campo incluyendo la presencia de las arcillas es 606,63m metros. La diferencia es de 1,20m metros, esta diferencia es producida por las arcillas que se compactan muchos más por tener una porosidad mayor.

#### **4.2. Descompactación Puyllucana**

El proceso de descompactación realizado nos ha dado como resultados los espesores iniciales tanto de arcillas (4.63%) y arenas (95.37 %), además de un total del valor de la suma de ambos.

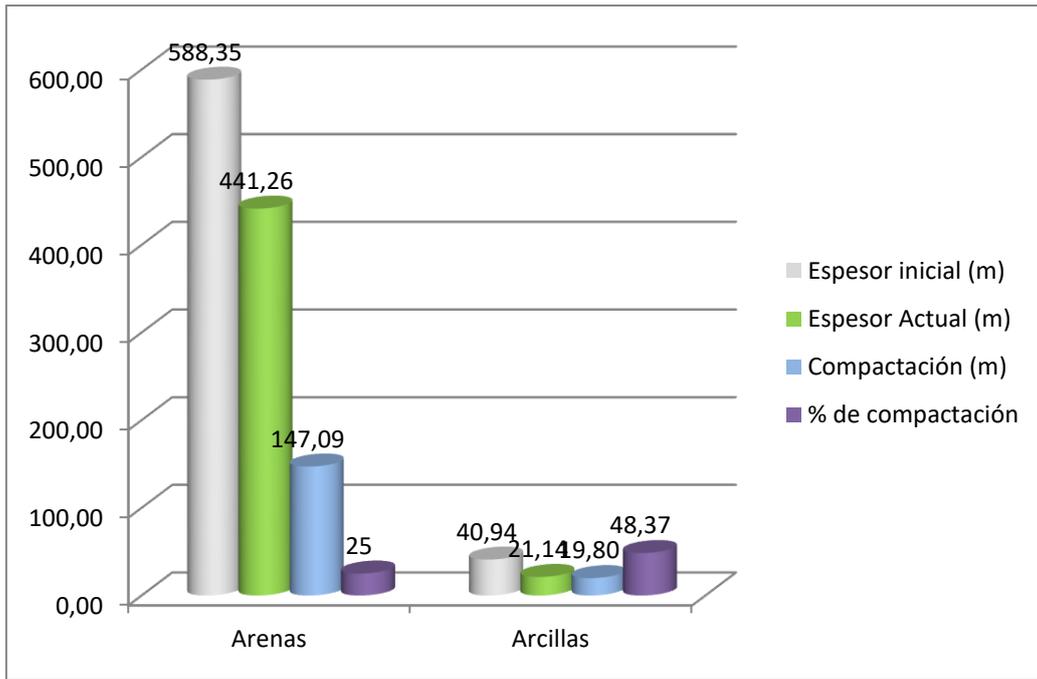


Los datos iniciales y datos obtenidos se muestran en el siguiente cuadro:

**Tabla N° 15** Datos de descompactación - Puyllucana

	Arenas (m)	Arcillas (m)
<b>Porosidad inicial (n inicial)</b>	0,34	0,525
<b>Espesor suprayacente</b>	2881,4	2881,4
<b>Porosidad actual (n actual)</b>	0,12	0,08
<b>Espesor actual (Farrat) (H actual)</b>	441,26	21,14
<b>H inicial</b>	588,346667	40,94484211
<b>Espesor total (arenas + arcillas)</b>	629,2915088	

Como se puede apreciar existes dos columnas de descompactación, una para cada tipo de sedimento donde se muestra de forma clara cuál es la variación de sufrida por la compactación a causa de la presión litostática.



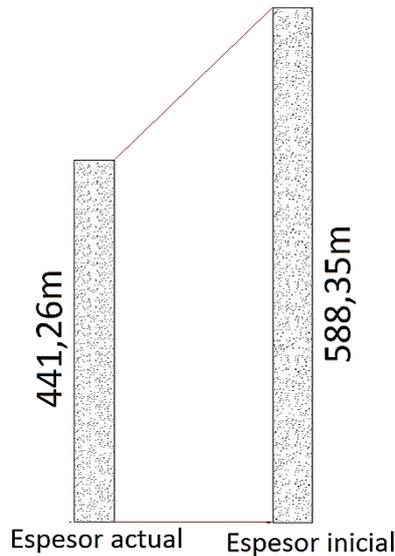
Veamos a continuación el porcentaje de variación o de descompactación de la Formación Farrat en Puyllucana:

La medida tomada en total de forma directa en campo fue de 462,4 metros, se ha tomado en cuenta tanto arenas como arcillas, estas últimas al presentarse de forma esporádica y en estratos muy delgados (en comparación con las arenas) no se pueden apreciar en el gráfico por un tema de escala, por lo tanto a continuación se muestra la descompactación para cada tipo de sedimento para que se pueda apreciar que es lo que ha sucedido con cada uno, así mismo se presenta la descompactación general de la Formación Farrat en el área de Puyllucana.



**Figura N° 61** Espesor actual de la Formación Farrat en el área de Puyllucana, dato obtenido a través de la medición directa de los afloramientos en campo (la medida muestra sólo lo que corresponde a arenas).

Ahora veamos la columna descompactada y comparemos con el espesor actual:



**Figura N° 62** Descompactación de la Formación Farrat - Puyllucana. A la derecha se observa el espesor inicial de la Formación Farrat en Puyllucana, el cual es mayor que el espesor actual (la descompactación que se muestra sólo está hecha en base a arenas).

Aplicando una regla de tres simple obtendremos la reducción o compactación sufrida luego de su depositación:

$$\begin{array}{l} 588,35 \text{ -----} 100\% \\ 441,26 \text{ -----} X \end{array}$$

$$X = [(441,26) \cdot 100] / 588,35$$

$$X = 74.99957 \% \text{ (porcentaje que representa el espesor actual)}$$

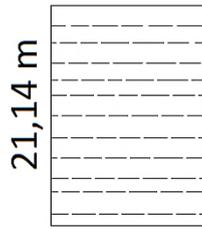
La compactación (C) viene a estar dada por la diferencia entre  $100 - X$

$$C = 100\% - 74.99957\%$$

$$C = 25.0004\%$$

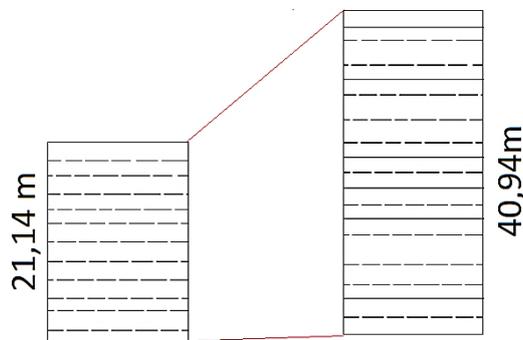
Como podemos ver que la formación ha sufrido una reducción del 25.0004% posterior a su depositación de los sedimentos de arena.

Ahora veamos la descompactación de las arcillas:



**Figura N° 63** Espesor actual de arcillas, medido de forma directa.

Ahora veamos la columna descompactada y comparemos con el espesor actual:



**Figura N° 64.** Descompactación de las arcillas de la Formación Farrat-Puyllucana.

De igual forma que en el proceso anterior usaremos una regla de tres simple:

$$40,94 \text{ -----} 100\%$$

$$21,14 \text{ -----} Y$$

$$Y = [(21,14) \cdot 100] / 40,94$$

$$Y = 51.3\% \text{ (porcentaje del espesor actual)}$$

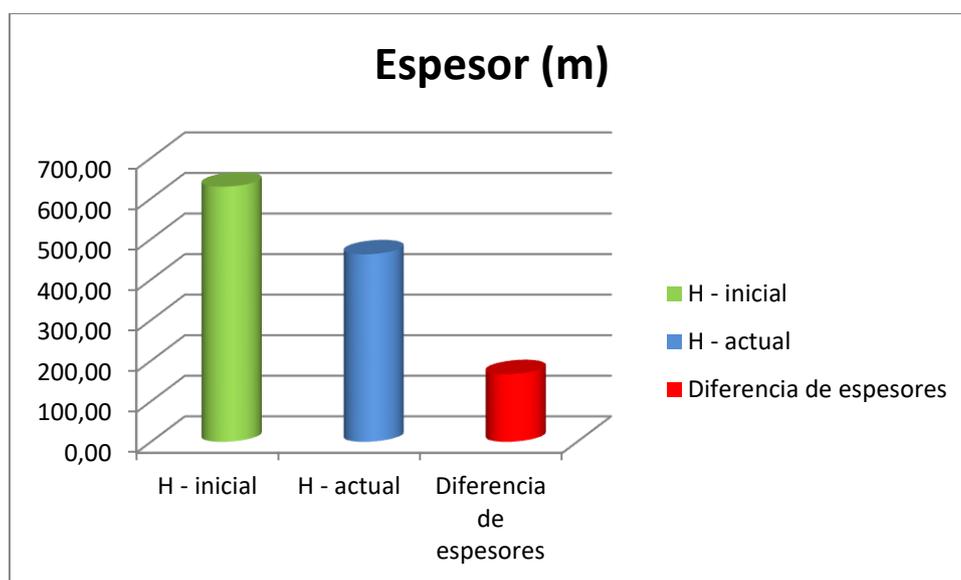
La compactación (C) viene a estar dada por la diferencia entre  $100 - Y$

$$C = 100\% - 51.3\%$$

$$C = 48,37\%$$

Como podemos ver en el resultado obtenido, la compactación de las arcillas es mayor que el de las arenas, es de casi la mitad de su espesor inicial, en el caso de la Formación Farrat puede que no sea tan significativo por ser como vimos 95,37% arenas, aun así es bueno resaltar este punto para algún trabajo futuro en donde se trabaje con mayores porcentajes de arcillas.

Una vez que tenemos la descompactación de arenas y arcillas obtenemos un espesor inicial de 629,29 m, por lo tanto tomando la medida de toda la columna que es de 462,4 m se obtiene una diferencia de 166,89 m.



Tomando toda la secuencia estratigráfica de la Formación Farrat en Shaullo y Puyllucana y tomando en cuenta las estructuras presentes se han identificado y definidos cuatro facies, cuatro secuencias y tres miembros dentro de la formación:

- Facies
  - Facie 1: Limolitas
  - Facie 2: Areniscas arcillosas y areniscas de grano muy fino
  - Facie 3: Areniscas cuarzosas
  - Facie 4: Areniscas sucias o grauvas
- Secuencias
  - SECUENCIA I: Areniscas cuarzosas de grano medio-grueso muy compactas, con presencia de estratificación sesgada y laminación planar paralela, estilolitas en techo y base de los estratos.

- SECUENCIA II: Areniscas de grano fino, areniscas arcillosas y limolitas, estas últimas en niveles muy variables y pequeños a excepción de un tramo de 14 metros en donde se ubican en la base presencia de helechos.
- SECUENCIA III: Areniscas cuarzosas de grano grueso a muy grueso con niveles de grauvacas y conglomerados de grano fino (los granos llegan hasta 1 cm de diámetro), presencia de laminación paralela y estratificación sesgada en la parte superior.
- SECUENCIA IV: Esta secuencia se ubica en el techo de la formación y corresponde a la parte transicional de la Formación Farrat con la base de la Formación Inca, contiene niveles de areniscas arcillosas ferruginosas, areniscas de grano fino-medio y limolitas ferruginosas.
- Miembros
  - MIEMBRO INFERIOR: La parte basal de la Formación Farrat está formada por toda la SECUENCIA I con un total de 229.65 metros.
  - MIEMBRO MEDIO: la parte intermedia de la Formación Farrat está representada por la SECUENCIA II con un total de 89.60 metros.
  - MIEMBRO SUPERIOR: La parte superior de la formación está constituida por las SECUENCIAS III y IV, es decir tiene niveles de areniscas de grano muy grueso, grauvacas y la parte transicional entre el techo de la Formación Farrat y la base de la Formación Inca. Su espesor llega hasta los 143.15 metros.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- Se estudió la Estratigrafía Secuencial de la Formación Farrat en Shaullo y Puylucana de la serie silicoclástica, la cual está caracterizada por una gradación inversa - directa que empieza con areniscas de grano medio en la base para luego pasar a areniscas de grano grueso – muy grueso hacia la parte media, mientras que la granulometría pasa a ser de grano medio a fino hacia el techo ya que se inicia la parte transicional con la base de la Formación Inca.
- Se elaboraron dos columnas estratigráficas de la Formación Farrat, una correspondiente a Shaullo y la otra a Puylucana, las cuales tienen una medida de 454.07 metros y de 462.4 metros respectivamente.
- Se descompactó la secuencia silicoclástica de la Formación Farrat en Shaullo y Puylucana. Para Shaullo nos muestra que inicialmente tenía un espesor de 606,63m el cual mediante la presión litostática ha sufrido una disminución de 152.56m llegando a un espesor actual de 454,07m. Mientras que en Puylucana presentaba un espesor inicial de 629.29 m, el cual ha sufrido una compactación de 166.89m llegando a su espesor actual de 462.4m.
- La Formación Farrat presenta una gran abundancia de estructuras sedimentarias, tanto singenéticas como post-genéticas, entre las cuales se encontró estratificación sesgada, laminación planar oblicua, laminación paralela, ripples, estructuras de carga, diques de arena, laminación flaser, estilolitas, burrows (bioturbación).
- Las secuencias están marcadas en la base por la presencia de areniscas limosas, mientras que en la parte media y techo hay mayor

presencia de areniscas cuarzosas de grano grueso, sublitoarenitas, con lo cual podemos ver que el ambiente de depositación es sub-acuático. De acuerdo a la granulometría y a las estructuras identificadas el ambiente de depositación de la Formación Farrat es Deltaico intermedio-distal. (Ver figura N° 11).

- La facie de mayor presencia en la Formación Farrat es la Facie 3 lo que marca una estabilidad de la cuenca o un equilibrio entre sedimentación y subsidencia, los cambios de granulometría nos muestran pequeños ciclos de regresión y transgresión, mientras que los cambios puntuales están dados por cambios climáticos como tormentas que pueden incrementar el nivel del mar, la turbulencia de las aguas y por ende un re-trabajo de los sedimentos. (Ver figura 12).

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Para ampliar el conocimiento de forma lateral y en profundidad se pueden realizar estudios geofísicos como pruebas sísmicas o sondeos eléctricos verticales (SEV).
- La secuencia silicoclástica de la Formación Farrat del Grupo Gollarisquizga tiene una gran presencia de estructuras sedimentarias, las cuales podrían ser parte de un tema de tesis como un análisis de cuencas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arche, A. 2010. Sedimentología del proceso físico de la cuenca sedimentaria. Gráficas Blanco, S. L. Madrid – España.

Barragán, R., Rivadeneira, M., Rodas, J., Baby, P., Christophoul, F., White, H., Ramírez, F. 2004. Estratigrafía Secuencial del Cretácico de la cuenca oriente del Ecuador.

Fernández. 2010. Estudio Sedimentológico y Estratigráfico en el Área de Cruz Blanca y alrededores. Tesis Profesional. Cajamarca – Perú. Universidad Nacional de Cajamarca.

Herrera, E. 2012. Estudio estratigráfico del Cretácico superior en los alrededores de la ciudad de Cajamarca. Tesis Profesional. Cajamarca-Perú. Universidad Nacional de Cajamarca.

Lagos Manrique, AL. Quispe Mamani, CZ. 2007. Aportes al Análisis de cuencas Sedimentarias en los Alrededores de las Localidades de Los Baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco, Distrito de Cajamarca, XIII Congreso Peruano de Geología. (Sociedad Geológica del Perú).

López. 1996. Estratigrafía secuencial de los sistemas deltaicos en cuencas antepaís (Paleógeno, cuenca antepaís surpirenaica). Barcelona – España. Universidad de Barcelona - Facultad de geología.

Oyarzún. Geol. Dr. Sc. 2009 Léxico sobre procesos y estructuras geológicas. Chile.

Marocco, R. 2008. Introducción a la Estratigrafía Secuencial. Instituto de Investigación para el Desarrollo. Lima-Perú.

Reyes, L. 1980. Ingemmet. Boletín N° 31 Cuadrángulo de Cajamarca - San Marcos – Cajabamba.

Vera Torres, J. 1994. Estratigrafía Principios y Métodos. Editorial Rueda – Madrid. Págs. 631- 668.

Tucker. 2011. Sequence Stratigraphy: Methodology and Nomenclature. Gebrüder Borntraeger. Stuttgart, Germany.

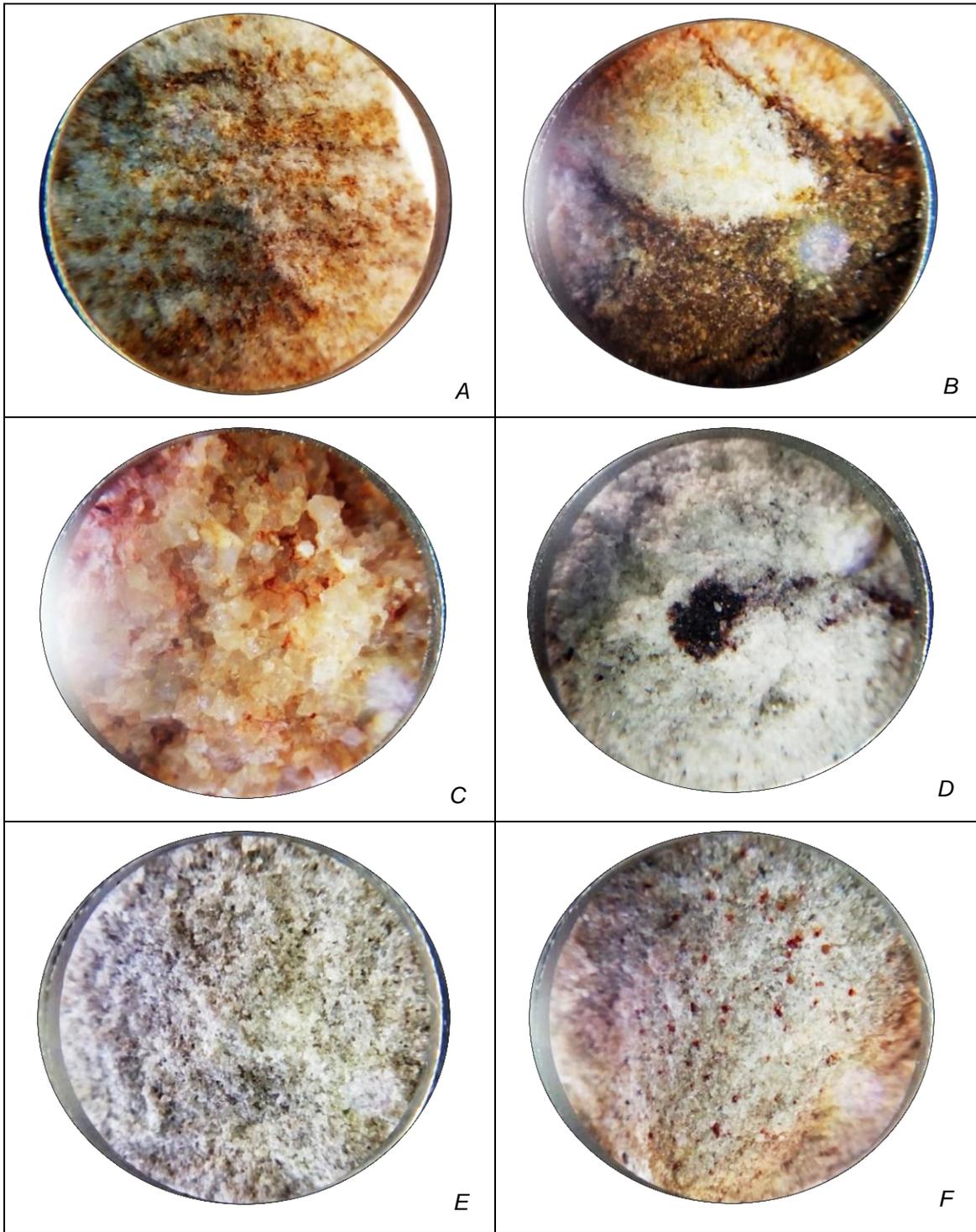
Dominique. 1981. Données géologiques pour un modèle d'évolution des Anes nord-péruviennes entre 5°S et 7°S. Les écaïlles du Maranon, les district minier de Hualgayoc et la région de Jaen-Cutervo. L'Unisersite Pierre et Marie Curie Paris.

Jaillard, E., Paz, M., Dhondt, A., Bulot, L., Villagómez, R., Rivadeneira, M., Robert, E. 1998. La transgresión del Cretáceo Inferior en el margen andino (Perú y Ecuador): datos preliminares. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú v. 88 (1998) p.73-86

# ANEXOS

Espesor (m) Escala: 1/	LITOLOGÍA (TRAMA)	MUD SAND GRAVEL								ESTRUCTURAS/ FÓSILES	DESCRIPCIÓN	
		-clay	-silt	vf	m	vc	gran	pebb	cobb			boul
LATITUD:		LONGITUD:						COTA:				

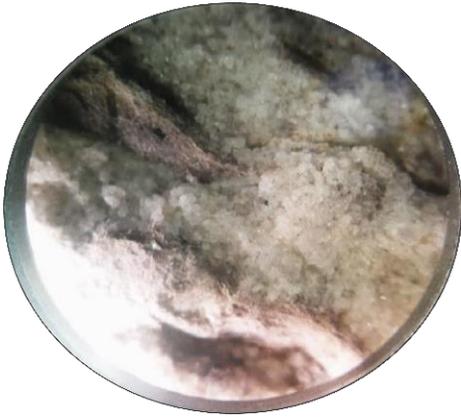
**Figura N° 65** Modelo de columna estratigráfica de campo para la recolección de datos de la estratigrafía secuencial de la Formación Farrat.



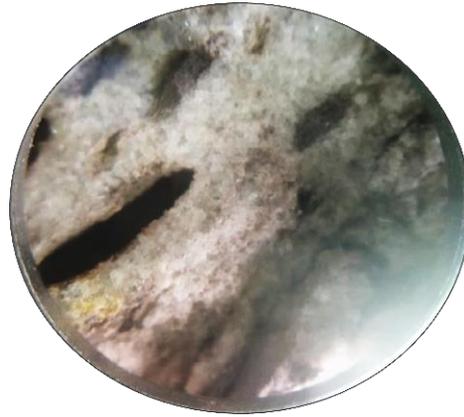
*Variaciones de la facie de areniscas cuarzosas. A) areniscas cuarzosas ferruginosas de grano medio, el óxido se encuentra entre la laminación de la roca. B) Areniscas cuarzosas ferruginosas de grano fino-medio, el óxido es parte de diques de arena. C) Areniscas cuarzosas de grano medio-grueso. D) Areniscas de grano fino con pequeños puntos de óxido. E) Areniscas de grano fino, presencia de 3% de líticos los cuales están oxidados y aparecen como puntos oscuros en la roca. F) Areniscas cuarzosas de grano fino-medio con óxidos de hierro. (AUMENTO 3X)*



A



B

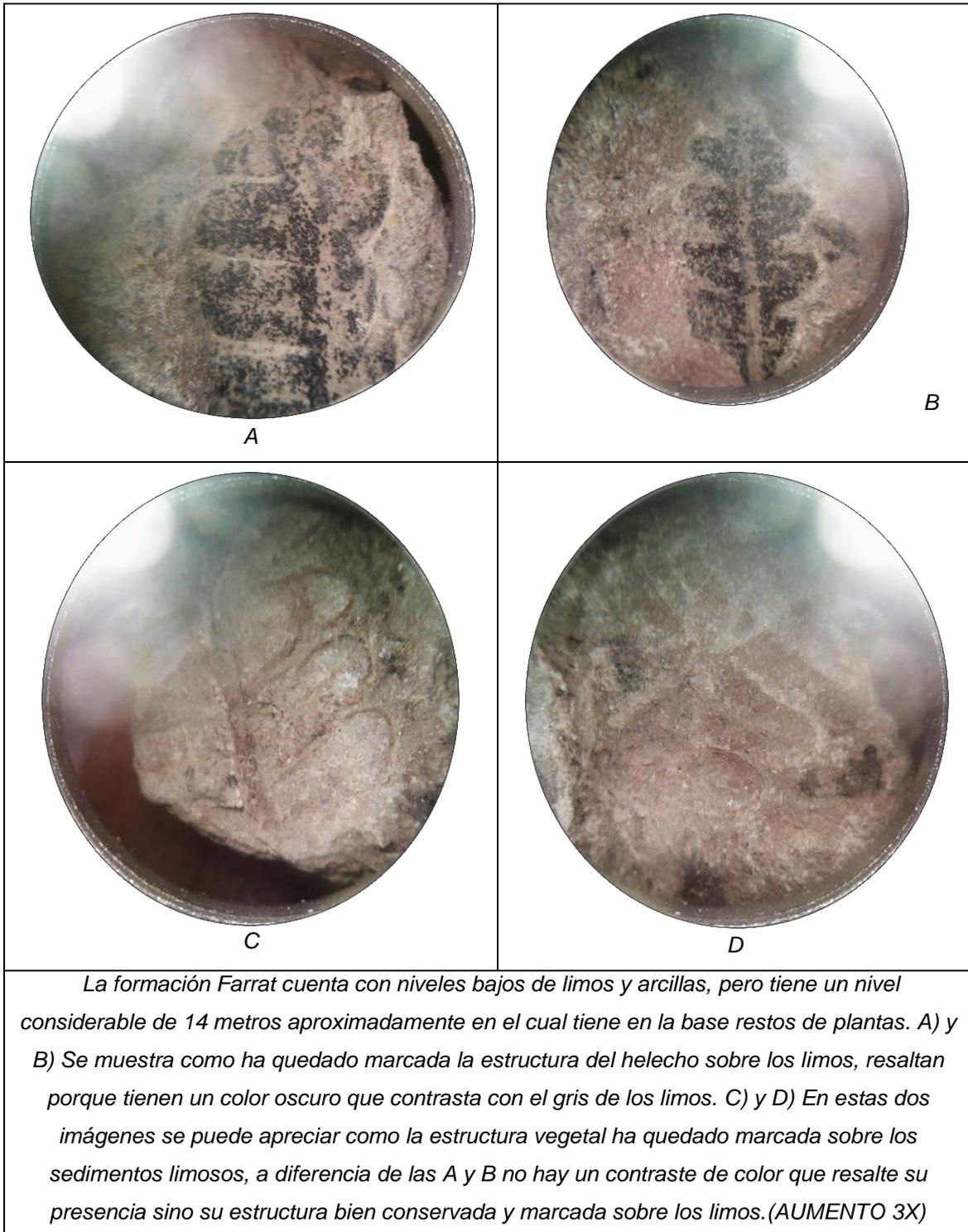


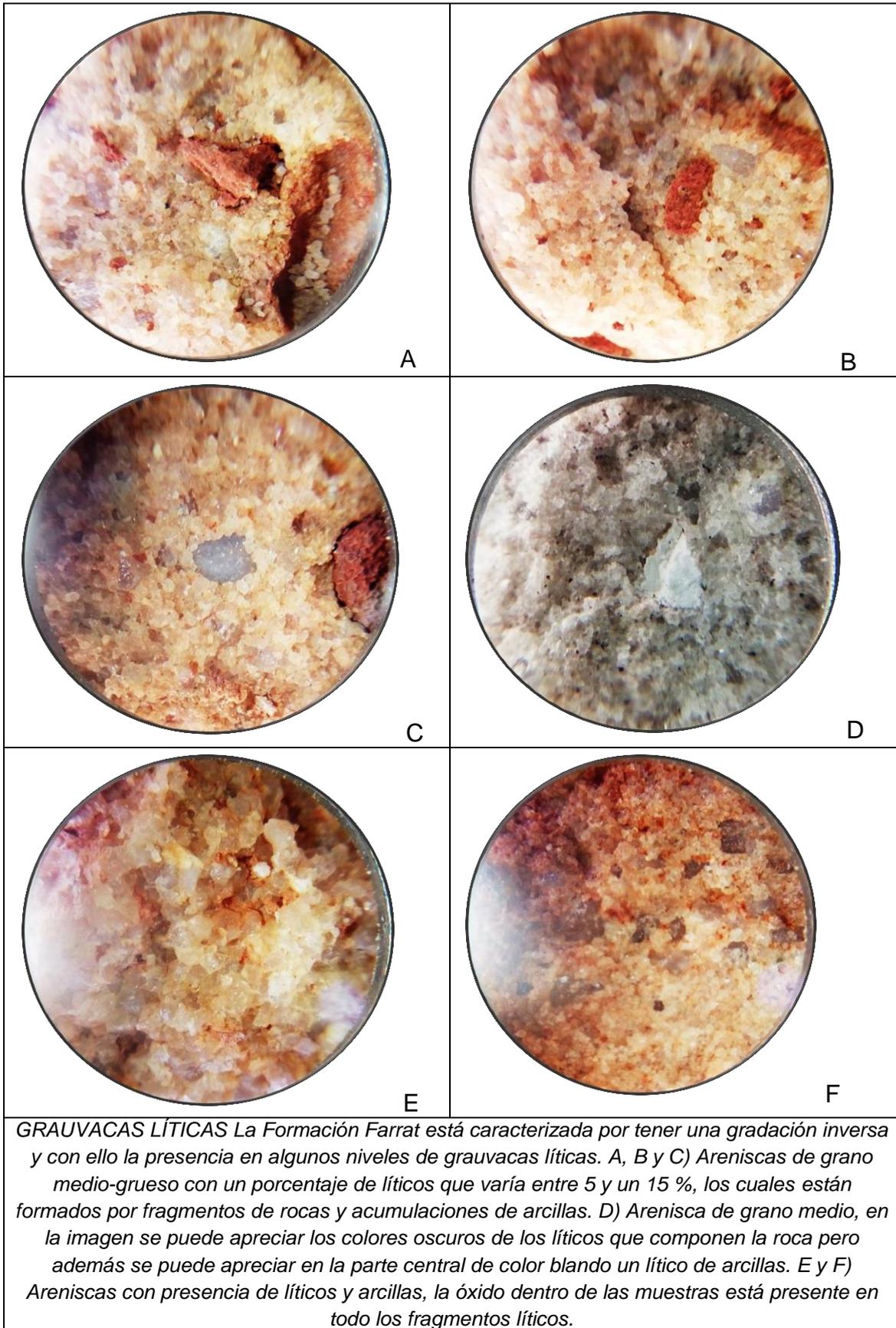
C

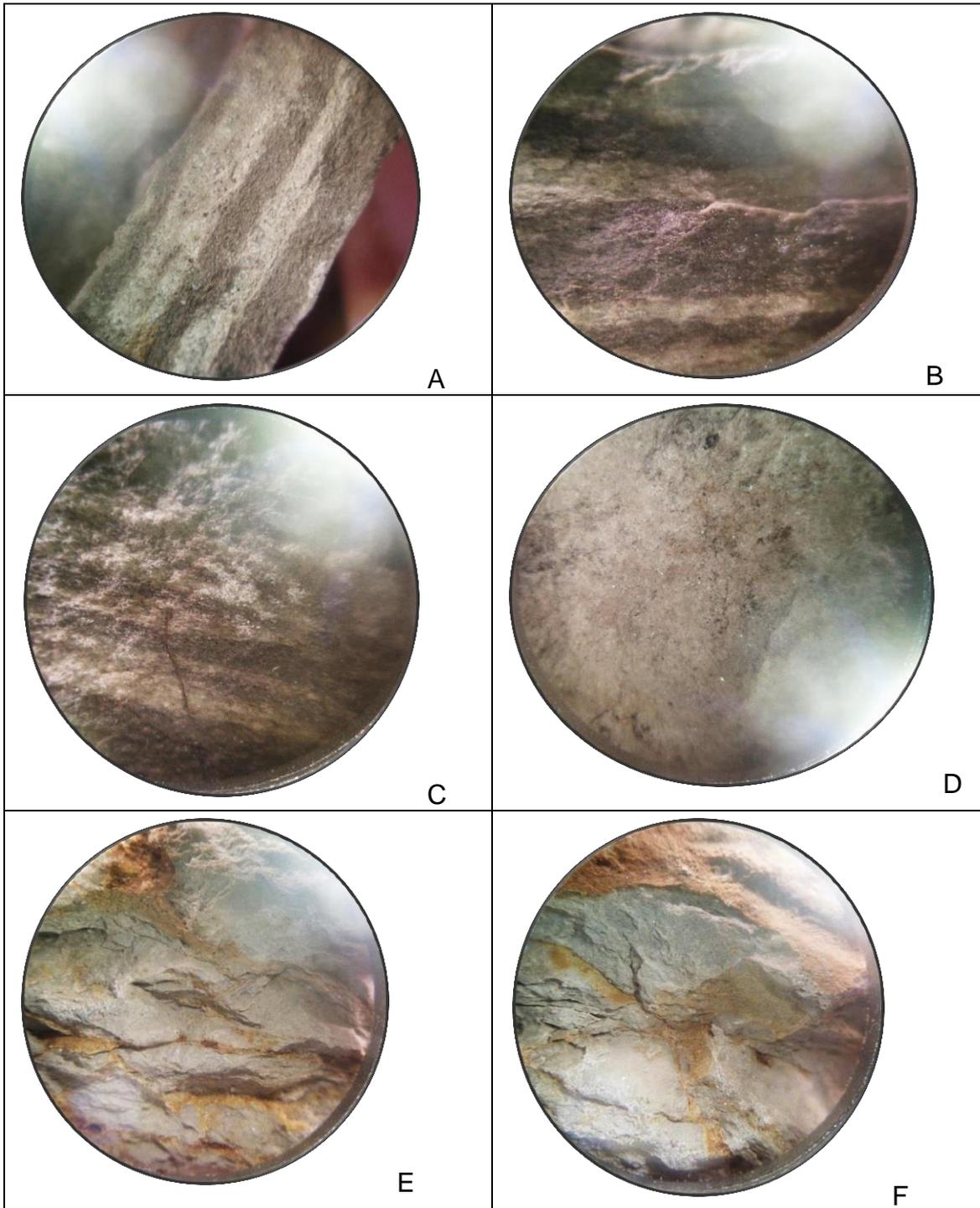


D

**LAMINACIÓN FLASER.** En la secuencia silicoclástica de la Formación Farrat está presente este tipo de estructura sedimentaria que está caracterizada por pequeños niveles de arcillas dentro de arenas muy finas-finas. A) muestra de mano obtenida en Shaullo. B) Arenisca de grano fino en donde se aprecian unas pequeñas laminaciones u ondulaciones de color gris, los cuales vienen a estar formados por limos y arcillas. C) Se pueden observar las formas lenticulares de las arcillas lo que nos da un indicio de que la depositación fue tranquila, además hay espacios vacíos a causas de la actividad orgánica. D) Se aprecia como los lentes de arcillas son muy delgados a causa de la gran presión litostática sufrida ya que dicha estructura está ubicada casi en la base de la formación. (AUMENTO 3X)







*LIMOLITAS. A, B y C) Limolitas ubicadas en Shaullo, presentan una laminación horizontal que se ve de forma clara en el bandeamiento e intercalación de colores gris claros y gris oscuros. D) Los puntos que resaltan son Muscovita, mica que se presenta en muchas de las facies de grano medio-fino de la Formación Farrat. E y F) Muestra de limolita con presencia de óxidos de hierro, los cuales están ubicados entre la laminación y fracturas de la roca.*