

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS**

**SEDIMENTOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN  
CARHUÁZ EN EL DISTRITO DE LA ENCAÑADA.**

**Para optar El Título Profesional de:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**Presentado por:**

Bach. Reiner Alí Balcázar Rojas

**ASESOR:**

M.Cs. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani

CAJAMARCA-PERÚ

2019

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por haberme guiado y darme la fuerza para seguir esta carrera profesional.  
A mis padres por sus consejos, enseñanzas, buenos principios y el amor brindado.

A mi casa de estudios, la Universidad Nacional de Cajamarca y a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, por sus enseñanzas no solo en la materia sino para afrontar los diversos retos de la vida, también debo dar las gracias a mi asesor M.Cs. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani por el apoyo para el desarrollo de la presente tesis y a los jurados por la revisión en este trabajo.

Un agradecimiento especial a las grandes familias que me apoyaron constantemente durante mi formación profesional, a la familia Zelada Rojas, Malca Balcázar y Heras Salazar, a quienes estaré agradecido eternamente. A mi amigo, hermano y colega Ing. Kristian Fernando Heras Salazar por su apoyo de siempre.

## **DEDICATORIA**

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida y ver logrado mis objetivos, además de su infinita bondad y amor. A mi madre, que está junto al altísimo, quien me inculcó valores y me oriento en mis inicios para ser mejor persona, pero sobre todo por su amor abnegable, sé que este momento hubiese sido muy especial para ti. A mi padre, por su esfuerzo, apoyo incondicional y lucha constante en contra de muchas adversidades para formarme profesionalmente. A mis hermanos Toño y Nati por su apoyo y por estar siempre conmigo.

## RESUMEN

El estudio fue realizado en el distrito de la Encañada, específicamente entre los sectores Punre -Tuyupampa de la Comunidad Campesina de Michiquillay y tuvo como objetivo determinar las características sedimentológicas y estratigráficas de la Formación Carhuáz, para lo cual se realizó un análisis y descripción de los estratos, identificando secuencias, facies y estructuras sedimentarias. Teniendo como referencia estudios previos que determinan que esta formación pertenece a un ambiente típico lacustre (Lagos y Quispe, 2007), es que surgió como hipótesis que a partir de un análisis sedimentológico y estratigráfico se interpreta y ubica cada secuencia dentro del ambiente de origen sedimentario; dicha hipótesis ha sido contrastada con los datos de campo mediante la elaboración de columnas estratigráficas. La sedimentación que dio origen a esta unidad es completamente detrítica, presentando un dominio de arcillolitas y limolitas en la base, característica de las zonas profundas de los lagos en los que la sedimentación es producto de procesos de decantación (Anadón 1984). De la parte media a superior se observan estratos de areniscas de grano fino a medio con facies deltaicas asociadas y hacia el techo el dominio de secuencias de areniscas características de un ambiente lacustre somero (Anadón 1984), determinan esta tendencia granocreciente. A partir de las características sedimentológicas y estratigráficas se determinaron cinco facies (arcillolitas grises, arcillolitas bituminosas, limolitas, areniscas de grano fino y grano medio) y siete secuencias que permitieron delimitar los ambientes y eventos que originaron la Formación Carhuáz.

**Palabras claves:** Sedimentología, estratigrafía, ambiente lacustre, secuencia, facie.



## **ABSTRACT**

The study was conducted in the district of La Encañada, specifically between the sectors of Punre and Tuyupampa of the Community of Michiquillay and had the objective of determining the sedimentological and stratigraphic characteristics of the Carhuaz Formation, for which an analysis and description of the strata was carried out, identifying sequences, facies and sedimentary structures. Taking as reference previous studies that determine that this formation belongs to a typical lacustrine environment (Lagos and Quispe 2007) is that it emerged as a hypothesis that from a sedimentological and stratigraphic analysis each sequence is interpreted and located within the environment of sedimentary origin ; this hypothesis has been contrasted with the field data through the elaboration of stratigraphic columns. The sedimentation that gave rise to this unit is completely detritic, presenting a domain of claystones and siltstones at the base, characteristic of the deep zones of the lakes where sedimentation is the product of decanting processes (Anadón 1984). From the middle to the upper part, strata of fine to medium-grained sandstones with associated deltaic facies are observed, and towards the ceiling, the domain of sandstone sequences characteristic of a shallow lacustrine environment (Anadón 1984), determine this growing grain trend. From the sedimentological and stratigraphic characteristics, five facies were determined (gray clay, bituminous clay, siltstone, fine grain and medium grain sandstones) and seven sequences that allowed to delimit the environments and events that originated the Carhuaz Formation.

Keywords: Sedimentology, stratigraphy, lacustrine environment, sequence, facie.

## TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
AGRADECIMIENTO .....	i
DEDICATORIA .....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT .....	iv
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
2.1.1. INTERNACIONALES .....	4
2.1.2. NACIONALES.....	9
2.1.3. LOCALES .....	11
2.2.BASES TEÓRICAS.....	12
2.2.1.Principios básicos de la estratigrafía .....	12
A. Principio de superposición de los estratos-planteado por Steno y desarrollado por Lehmann.....	12
B. Principio de horizontalidad original y continuidad lateral de los estratos-Emitido por Steno. ....	13
C. Principio del uniformismo o actualismo-emitido por Hutton y desarrollado por Lyell. ...	13
D. Principio de la simultaneidad de eventos.....	14
2.2.2. Estratificación y secuencia de rocas .....	14
A.Tipos de estratificación.....	15
B.Superficie de estratificación.....	15
C.Medida de la estratificación .....	16
D.Geometría de los estratos .....	17
2.2.3.Determinación del espesor de los estratos.....	18
2.2.4. Asociación de estratos .....	20
2.2.5.Facies sedimentarias .....	21
2.2.6. Sedimentología .....	23
2.2.7. Lagos y sistemas lacustres .....	25
2.2.7.1. Dinámica del medio lacustre .....	26
2.2.7.2. Sedimentación en lagos.....	27
2.2.7.3. Modelos de facies .....	28
2.2.7.4. Facies de lagos con sedimentación detrítica predominante .....	29

2.2.8. Estructuras sedimentarias.....	36
2.2.8.1. Laminación. ....	36
2.2.8.2. Estratificación.....	36
2.2.8.3. Otras estructuras.....	40
2.2.9. Clasificación de conjunto de las rocas sedimentarias, según (Pettijohn 1957), (Krumbein y Sloss 1963), (Hatch y Rastall 1965) y (Vatan 1967).....	42
2.2.10. Ley o regla de Walther .....	45
2.2.11. La columna estratigráfica .....	47
2.2.12. La correlación estratigráfica .....	48
2.3. Definición de términos básicos.....	48
<b>CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>51</b>
3.1 . Ubicación de la investigación .....	51
3.1.1. Ubicación geográfica.....	51
3.1.2. Ubicación política.....	51
3.1.3. Accesibilidad .....	53
3.2. Procedimientos .....	55
A.Etapa de gabinete .....	55
B.Etapa de campo .....	55
C.Etapa de gabinete final.....	55
3.2.1. Metodología .....	56
3.2.2. Definición de variables .....	57
3.2.3. Técnicas .....	58
3.2.4 Instrumentos y equipos .....	58
A. Instrumentos y equipos usados en gabinete.....	58
B. Instrumentos y equipos usados en campo .....	59
3.3. Descripción del marco estratigráfico regional.....	59
3.3.1. Geología local .....	62
3.3.1.1 Grupo Goyllarisquizga.....	62
3.3.1.2. Grupo Crisnejas .....	66
3.3.3. Rocas intrusivas.....	66
3.4. Geología estructural.....	67
3.5. Estructuras sedimentarias.....	68
3.5.1. Laminación .....	68
3.5.1.1. Laminación paralela .....	69
3.5.2. Estratificación.....	70

3.5.2.1. Estratificación paralela .....	70
3.5.2.2. Estratificación sesgada planar .....	70
3.5.2.3. Estratificación sesgada en artesa.....	71
3.5.3. Ripples.....	72
3.6. Descripción petrográfica de la formación Carhuáz .....	72
CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	81
4.1. Sedimentología y estratigrafía de la formación carhuáz .....	81
4.1.1. Estación N° 01 .....	81
4.1.2. Estación N° 02 .....	84
4.1.3. Estación N° 03 .....	86
4.1.4. Estación N° 04 .....	88
4.1.5. Estación N° 05 .....	91
4.1.6. Estación N° 06 .....	93
4.1.7. Estación N° 07 .....	95
4.2. Facies sedimentarias .....	96
4.3. Secuencias estratigráficas .....	97
4.4. Constratación de la hipótesis .....	98
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	99
5.1. Conclusiones .....	99
5.2. Recomendaciones .....	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
ANEXOS.....	103

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01.Coordenadas UTM de la Ubicación de la zona de estudio .....	51
Tabla 02. Vías de acceso a la zona de estudio.....	53
Tabla 03. Variables independientes y dependientes.....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Perfil sedimentológico de la Formación Mollar y ubicación de los niveles paleontológicos muestreados Spalletti y Zavattieri (2009).....	6
Figura 2: Principio de superposición (Varela 2014).....	12
Figura 3: Principio de horizontalidad original y continuidad lateral de estratos.....	13
Figura 4: Estrato y estratificación.....	15
Figura 5: Tipos de superficies de estratificación.....	16
Figura 6: Medidas de la estratificación.....	17
Figura 7: Tipos más simples de geometrías de estratos.....	18
Figura 8: Método directo, estrato horizontal.....	19
Figura 9: Método directo. Estrato vertical.....	19
Figura 10: Método de Jacob.....	20
Figura 11: Tipos de asociaciones de estratos de acuerdo con la distribución de los espesores y de las litologías presentes.....	21
Figura 12: Tipos de asociación de facies .....	23

Figura 13: Distribución de los diferentes Ambientes Sedimentarios (Skiner, 1999).....	24
Figura 14: Dinámica del medio lacustre.....	27
Figura 15: Esquema de sedimentación detrítica en un lago (Twenhofel, 1932).....	29
Figura 16: Esquema de mecanismos de transporte y deposición asociados a una desembocadura en un lago de aguas estratificadas.....	30
Figura 17: Clasificación genética de los deltas .....	33
Figura 18: Distribución de mecanismos y tipos de resultantes de sedimentos para la sedimentación detrítica en lagos (STRUM y MATTER 1978).....	35
Figura 19: Rasgos de los estratos y medidas de estratificación. (Vera 1994).....	37
Figura 20: Estratificación horizontal y laminación paralela (Harms 1975).....	37
Figura 21: Estratificación sesgada tabular o planar formada por migración de sand waves (Anadon, 1984).....	38
Figura 22: Estratificación cruzada en artesa o surco generada por la migración de megaripples de crestas sinuosas y en forma de media luna (Harms 1975)....	39
Figura 23: Estratificación flasher.....	39
Figura 24: Estratificación lenticular.....	40
Figura 25: Formación de un paleocanal (Harms 1975).....	41
Figura 26: Tipos de ripples en relación con el tipo de sedimento movido por el flujo (Harms 1975).....	41
Figura 27: Clasificación de areniscas y grauvacas según su composición (Pettijohn, 1987).....	43
Figura 28: Clasificación textural, modificada de Folk (1974).....	44
Figura 29: Aplicación de las Ley de Walther (Vera y Torres 1994).....	45
Figura 30: Esquema general de distribución de facies, en emplazamiento de deltas: F-Prodeltas; G-Base del frente deltaico, H-Frente deltaico medio ; I-Frente deltáico superior; J-Llanura deltáica inferior; K-Llanura deltáica abandonada; L-	

Plataforma carbonatada b) a g) Secuencias elementales (Universidad de Oviedo 1981).....	46
Figura 31: Block diagrama para obtener las secciones estratigráficas (Vera 1994) .....	47
Figura 32: Ubicación del área de estudio. ....	52
Figura 33: Accesibilidad a la zona de estudio.....	54
Figura 34: Etapas de la investigación.....	56
Figura 35: Técnicas de la investigación.....	58
Figura 36: Columna estratigráfica generalizada (Lagos y Quispe 2007).....	61
Figura 37: Estratos de la Formación Chimú, observados en el Sector Punre....	62
Figura 38: Estratos de capas de areniscas rojizas intercaladas con arcillolitas grises de la Formación Carhuáz, observados en el sector Tuyupampa, cerca al cruce de la carretera que va a Micuyupampa . ....	64
Figura 39: Contacto entre las Formaciones Carhuáz y Farrat observados en el Sector Michiquillay.....	65
Figura 40: Estratos de calizas arenosas intercaladas con lutitas calcáreas de la Formación Chúlec observados en el Sector Michiquillay.....	66
Figura 41: Pórfido cuarzodiorita identificado en el sector de Tuyupampa .....	67
Figura 42: Pórfido cuarzodiorita en contacto con estratos de la Formación Chimú.....	67
Figura 43: Laminación paralela observada en estratos de arenisca ubicados en el Sector Tuyupampa.....	69
Figura 44: Laminación sesgada en estrato de areniscas ubicado en el sector de Tuyupampa .....	69
Figura 45: Estratificación paralela observada en afloramiento de la formación Carhuáz cerca al cruce a Micuyupampa .....	70
Figura 46: Estratificación sesgada en areniscas observadas en sector Michiquillay,.....	71
Figura 47: Estratificación lenticular en secuencia de areniscas y arcillolitas.....	71
Figura 48: Ripples de oscilación observados en estrato de areniscas.....	72

Figura 49: Muestra de sublitoarenita.....	73
Figura 50: Arcillolitas bituminosas .....	74
Figura 51: Arcillolitas gris pardas.....	75
Figura 52: Sublitoarenita de grano medio .....	76
Figura 53 Limolita pardo amarillenta .....	77
Figura 54 Limolitas grises .....	78
Figura 55. Arcillolita bituminosa... ..	79
Figura 56: Arenisca de grano fino.....	80
Figura 57: Secuencia estrato decreciente a estrato creciente de areniscas de grano fino. ....	82
Figura 58: Secuencia de arcillolitas bituminosas (a) y areniscas gris oscuras (b), identificadas en la zona de El Punre, cerca al cruce a Michiquillay.....	82
Figura 59: Arcillolitas bituminosas (b) intercaladas con areniscas grises (a).....	83
Figura 60: Secuencia de limolitas pardo amarillentas (a) intercaladas con arcillolitas grises (b). (C-D) Estratos de areniscas blanquecinas (a) intercaladas con arcillolitas grises (b) Ubicadas en el sector Tuyupampa.....	84
Figura 61: Laminación paralela en estratos de areniscas gris blanquecinas.....	85
Figura 62: Secuencia estrato decreciente de areniscas rojizas (a) intercaladas con arcillolitas grises (b), observadas cerca al cruce de Micuyupampa.....	86
Figura 63: Secuencia estratodecreciente de areniscas rojizas (a) intercaladas con arcillolitas grises (b), observadas en el sector Jatunsacha.....	87
Figura 64: Laminación sesgada en areniscas grises de la Formación Carhuáz...87	
Figura 65: Estratificación lenticular en areniscas rojizas de grano fino.....	88
Figura 66: Estratos de areniscas dispuestos de forma tabular y lenticular.....	89
Figura 67: Paleocanales identificados en la secuencia de areniscas rojizas intercaladas con arcillolitas grises, observados en el sector de Jatunsacha.....	89
Figura 68: D Estratos de areniscas rojizas de 20 cm intercaladas con arcillolitas bituminosas altamente fisibles observados en el sector Jatunsacha.....	90
Figura 69: Diseminación de sulfuros en las capas de arcillolitas bituminosas ....	90



Figura 70: Secuencias estrato crecientes de areniscas de grano medio .....	92
Figura 71: Laminación paralela en estratos de areniscas blanquecinas.....	92
Figura 72: Secuencias de arcillolitas grises intercaladas con limolitas rojizas observadas en tramo de la carretera Tuyupampa-Quinuamayo.....	93
Figura 73: Secuencia aleatoria de areniscas rojizas de grano fino y arcillolitas bituminosas observadas en el sector Tuyupampa.....	94
Figura 74. Secuencias estratodecipientes de areniscas grises de grano fino observadas en el sector Tuyupampa.....	94
Figura 75. Ripple marks en el techo de estrato de areniscas.....	94

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

El conocimiento de la sedimentología y estratigrafía es importante, ya que brinda información de la superficie terrestre en tiempos pasados, por lo tanto, gracias a esos conocimientos se puede realizar una reconstrucción del tipo de ambiente de depositación de los sedimentos, además nos ayuda a interpretar la historia geológica en el pasado y el proceso constructivo por el cual se formaron los estratos a través del análisis de algunas secuencias sedimentológicas.

La Formación Carhuáz en el distrito de La Encañada según los estudios previos realizados a medida que avanzamos al NE sufre una disminución en grosor (Benavides , 1956 ), entonces, puesto que se carece de un estudio sedimentológico y estratigráfico de detalle a nivel local, surge la necesidad de realizarlo para tener una mejor visión de las características estratigráficas de su afloramiento y de esta manera analizar el origen de su génesis mediante la identificación y clasificación de las rocas, la interpretación de la depositación sedimentológica y estratigráfica, así como también de las estructuras sedimentarias; todos estos datos de estudio e interpretación servirán para realizar la columna estratigráfica detallada interpretando los cambios de facies, caracterizando los ambientes sedimentarios en las cuales se formó, así como los procesos sedimentarios que han ocurrido.

El estudio aporta conceptos para el mejor entendimiento de la evolución de la cuenca sedimentaria, además servirá como fuente de conocimientos básicos para investigaciones posteriores que se realicen con el fin de incrementar la gama de conocimientos de la estratigrafía para lo cual se ha formulado el siguiente problema: ¿Cuáles son las características Sedimentológicas y Estratigráficas de la Formación Carhuáz en el Distrito de La Encañada?

Como información previa se tiene que la Formación Carhuáz está compuesta por una alternancia de arcillolitas, limolitas y areniscas de grano fino, pertenecientes a un ambiente típico lacustrino (Lagos y Quispe 2007), por lo cual se induce que las características sedimentológicas y estratigráficas de la Formación Carhuáz en el distrito de La Encañada están relacionadas a los procesos sedimentarios de formación, características litoestratigráficas, textura y estructura relacionadas con el tiempo, espacio cronoestratigráfico y ambiente sedimentario.

La presente investigación se justifica en la importancia de realizar un estudio detallado de la secuencia sedimentológica y estratigráfica de la Formación Carhuáz en el distrito de La Encañada; este estudio servirá para analizar los diferentes procesos sedimentarios de formación, las características estratigráficas, las estructuras sedimentarias y la génesis de su formación y así tener mayor entendimiento de los procesos sedimentarios que han venido afectando; además el mismo servirá y contribuirá como base para los diversos estudios posteriores.

Para ello se ha elaborado columnas estratigráficas de forma local en la cual se ha identificado las distintas secuencias y facies sedimentarias con la finalidad de interpretar el ambiente de sedimentación al cual corresponden.

El proyecto de investigación se ha desarrollado en el distrito de La Encañada, provincia y departamento de Cajamarca, el mismo proyecta establecer procedimientos adecuados y secuenciales para elaborar un estudio sedimentológico y estratigráfico, conociendo la evolución de la cuenca por los procesos sedimentarios de formación, características estratigráficas y estructuras sedimentarias.

Se planteó como objetivo principal: determinar las características sedimentológicas y estratigráficas de la Formación Carhuáz en el distrito de La Encañada; así mismo se plantea como objetivos específicos: Elaborar la columna Estratigráfica generalizada, caracterizar la Litoestratigrafía e Interpretar la depositación en el ambiente sedimentario.

Habiendo identificado el problema, formulado, delimitado y definido los objetivos de la investigación; se elaboró la hipótesis del trabajo de investigación; la Formación Carhuáz está marcada por una serie de facies y estructuras características de un

ambiente lacustre y por tanto después del análisis se interpreta y ubica cada secuencia dentro del ambiente sedimentario de origen.

Para la investigación se identificaron como variable dependiente a la litología, textura, correlación estratigráfica y como variables independientes están el ambiente de sedimentación, facies y estructuras sedimentarias.

Para el desarrollo de la tesis se han tomado en cuenta V Capítulos, en el Capítulo I se muestra el origen del problema, importancia y objetivos de la investigación, en el Capítulo II que corresponde al marco teórico se ha seleccionado antecedentes para la investigación entre ellas algunos nacionales y locales, además de la base teórica y definición de términos. En el Capítulo III se han descrito algunas generalidades del proyecto, procedimientos en la recopilación de información de campo, materiales y métodos, se manifiesta la geología, geología estructural, petrología y estructuras sedimentarias identificadas, en el Capítulo IV se procedió a analizar y discutir los resultados siguiendo el orden de los objetivos planteados; en Capítulo V se dan a conocer las conclusiones a las cuales se han llegado a si como las recomendaciones y referencias bibliográficas usadas en el proyecto de investigación.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. INTERNACIONALES

**Spalletti y Zavattieri (2009).** Realizaron el estudio del sistema lacustre de la Formación Mollar en el depocentro triásico de Santa Clara (provincia de Mendoza, Argentina).

Los sistemas lacustres muestran sucesiones de centro de lago (offshore) y zonas marginales (shoreface), con facies deltaicas asociadas. Los depósitos de offshore conforman cuerpos tabulares de pelitas finamente laminadas con abundante contenido de micas y materia orgánica, Las facies de shoreface muestran bancos tabulares de areniscas finas bioturbadas. Los sistemas deltaicos muestran el típico arreglo grano creciente, generado por la progradación de areniscas finas a medias correspondientes a un frente deltaico (Paz M. 2007).

En este estudio se realizó un análisis de facies y procesos sedimentarios, estableciendo que la Formación Mollar se caracteriza por una sucesión de más de 350 m de espesor que aparece intercalada entre depósitos netamente fluviales correspondientes a las formaciones Cielo (subyacente) y Montaña (suprayacente). En su mayor parte, y más específicamente en sus 2/3 basales, la Formación Mollar está dominada por lutitas oscuras en sucesiones multiepisódicas ('multistorey') espesas y de gran continuidad lateral (Nesossi, 1945; Yrigoyen y Stover, 1969; Harrington, 1971; Furque y Cuerda, 1979; Bellosi et al, 2001), entre las que se intercalan, en forma subordinada, cuerpos heterolíticos (compuestos por la

alternancia de capas de areniscas y fangolitas), y niveles delgados de areniscas muy finas hasta finas macizas y ondulíticas, y de carbonates estromatolíticos. Hacia arriba, la Formación Mollar muestra un diseño de superposición claramente granocreciente con la aparición de sucesiones heterolíticas y cuerpos de areniscas de textura más gruesa y de mayor espesor, caracterizados por variadas estructuras sedimentarias -tales como capas planas, ondulíticas, entrecruzadas de variado tipo, e incluso frecuentes cuerpos con deformación sinsedimentaria- entre las que se intercalan fangolitas laminadas de tonalidades verdosas y grisáceas.

El análisis sedimentológico estuvo destinado a la definición de facies, asociaciones de facies y secuencias sedimentarias. El estudio facial con criterio observacional se basó en la caracterización litológica de los estratos (textura y composición), estructuras primarias y arquitectura bidimensional de los cuerpos de roca (Spalletti 2001)



La facies de lutitas negras es absolutamente dominante en la mayor parte del registro de la Formación Mollar, y muy en especial en un potente sector inferior de la unidad. Son fangolitas físciles que se presentan en cuerpos que varían en espesor desde unos pocos centímetros hasta más de 10 m y poseen una notable continuidad lateral, medida en centenares de metros. En las lutitas negras es rara la presencia de fósiles; no obstante, en ellas se han podido identificar restos transportados de artrófitas (*Equisetites* sp.) de hábitos hidrófilos, típicas de las riberas de los cursos de agua, en las márgenes de los lagos o lagunas y/o en ambientes pantanosos. Estos depósitos lutíticos se interpretan como el producto de la decantación a partir de plumas suspensivas ('overflows' e 'interflows') en un ambiente subácueo de muy baja energía, y condiciones anóxicas en la interfase agua-sedimento (Ghibaudo, 1992; Talbot y Alien, 1996; Spalletti, 1997, 2001b). Por su textura fina, sus estructuras laminares y la preservación de la materia orgánica representan a los depósitos distales ('offshore') de un sistema lacustre hidrológicamente cerrado (Dam et al, 1995) de condiciones meromícticas caracterizado por la estratificación de sus aguas por muy largos períodos (cf Katz, 1995; Martinek et al, 2006).

En los términos superiores de la Formación Mollar los depósitos atribuidos a ambiente lacustre costa afuera ('offshore') son diferentes. Algunas sucesiones pelíticas de hasta 6 m de espesor están formadas por lutitas y fangolitas laminadas y macizas, de tonalidades verdosas, que muestran evidencias de bioturbación (estructuras moteadas). Por su textura fina y sus estructuras primarias estos sedimentos reflejan también la depositación en las áreas distales de un sistema lacustre, pero con un bajo contenido de materia orgánica y apreciable valor de la relación hierro ferroso/hierro férrico (Potter *et al*, 1980; Mack y Stout, 2005), lo que refleja un fondo con pobre oxigenación aunque no de condiciones tan extremas como en el caso de las lutitas negras (cf. Martinek *et al.*, 2006) muy posiblemente debido a cambios en la profundidad de la cubeta, en el nivel del lago e incluso a una mayor mezcla en las aguas más profundas por incremento en la energía de los vientos superficiales. Una alternativa menos probable en el presente caso es que estos depósitos pelíticos puedan haberse acumulado por encima de la termoclina en un cuerpo lacustre en el que en el hipolimnion perduraban las condiciones de sedimentación anóxicas (cf. Melchor, 2007). Los intervalos pelíticos que aparecen



hacia la parte superior de la Formación Mollar están dominados por limolitas grisáceas pálidas, macizas, con frecuencia moteadas. Estos depósitos sugieren un cambio en los ambientes de sedimentación hacia condiciones que reflejan incrementos de energía y/o en la textura de los materiales disponibles para la decantación suspensiva, así como altos niveles de oxigenación en la interfase sedimentaria del ambiente lacustre costa afuera. Esto sugiere el desarrollo de un sistema lacustre holomórfico de circulación abierta.

Las areniscas intercaladas en estas sucesiones de grano fino son de textura muy fina a mediana con moderada selección. Se presentan en capas macizas no gradadas hasta normalmente gradadas. Los espesores de las capas van de 5 a 20 cm, pueden ser seguidas lateralmente por varias decenas de metros, y los límites de los estratos son -en general- planos y netos. En la base de estas capas son frecuentes las lineaciones subestratales muy delicadas y de pequeña dimensión producidas por objetos, como calcos de surco ('groove casts'), de punzamiento ('prod casts') y de roce ('bounce casts') que evidencian la acción de corrientes débiles. Algunos de estos depósitos portan restos de plantas. Esta facies se atribuye a corrientes de turbidez de baja densidad en las que se produjo un proceso de depositación muy rápido grano por grano desde una suspensión turbulenta que no permitió el desarrollo de formas de lecho (Lowe, 1982; Smith, 1986; Ghibaudo, 1992; Horton y Schmitt, 1996). Estas corrientes pueden vincularse con flujos friccionales muy distales producidos por ingreso de aguas fluviales así como con el desarrollo de flujos de fondo derivados del oleaje (Spalletti, 1997).

En estrecha asociación con los depósitos de lutitas negras se registra la aparición de niveles muy delgados (entre 7 y 12 cm) de carbonates micríticos y margas de tonalidad grises intensas a oscuras. A pesar de su escaso espesor, estas capas muestran una singular extensión lateral, medida en decenas de metros. Esta facies refleja un cambio en las condiciones de sedimentación en el ambiente de lacustre costa afuera, en el que se mantuvieron las condiciones anóxicas a subóxicas, pero se produjo una singular variación en la relación entre los aportes terrígenos y la productividad de material carbonático en el propio cuerpo lacustre (cf. Johnson y Graham 2004).

En la Formación Mollar son comunes las facies heterolíticas, constituidas por la alternancia de capas delgadas y muy delgadas de fangolitas grises macizas y areniscas castañas con laminación ondulítica y ondulaciones simétricas hasta ligeramente asimétricas (de flujo combinado) en las que también se registra la presencia de grietas de sinéresis. Sobre la base de las proporciones entre sedimento pelítico y psamítico, se reconocen estructuras ondulosas ('wavy') y lentiformes ('lenticular') (Reinek y Singh, 1980). Estos depósitos pueden ser interpretados como el producto de la sedimentación en un cuerpo de agua con marcadas oscilaciones en la energía, desde decantación suspensiva hasta acción de corrientes orbitales en la interfase sedimentaria.

Las facies de areniscas se diferencian esencialmente por sus estructuras internas: con capa plana o laminación paralela ('plane bed'), laminación ondulítica, 'hummocky cross stratification' ('hcs') y estratificación entrecruzada en artesa. Los depósitos con capa plana se interpretan como el producto de depositación traccional por actividad del oleaje en aguas poco profundas (Reineck y Singh, 1980; Casshyapy Aslam, 1992); en estos niveles aparecen grietas de sinéresis y/o de desecación en los planos de estratificación. Los cuerpos con laminación ondulítica muestran -al igual que en la facies heterolítica- la agradación de ondulaciones simétricas hasta ligeramente asimétricas; su geometría, longitud de onda y amplitud sugieren la actividad de olas orbitales y traslacionales en aguas poco profundas, y su escalonamiento un importante aporte de sedimento (Hortony Schmitt, 1996). Las areniscas con estructura monticular o 'hummocky' son el testimonio de la actividad de olas oscilatorias de tormenta (Eyles y Clark, 1986; Martel y Gibbling, 1991; Spalletti, 1997). Por su parte, las areniscas con estratificación entrecruzada en artesa son el resultado de la migración de dunas o barras subácuas en condiciones de régimen de flujo bajo (cf. Horton y Schmitt 1996).

### **2.1.2. NACIONALES**

**Jacay (2005).** Realiza un análisis de la Sedimentación del Sistema Cretáceo en los Andes del Perú, estableciendo que durante el intervalo de tiempo que va del Valanginiano Inferior al Aptiano Terminal, la margen occidental peruana recibió depósitos siliciclásticos de tipo deltaico, de proveniencia oriental, denominados: Grupo Goyllarisquizga, Formación Goyllarisquizga, o Grupo Oriente, según los lugares (Wilson, 1963; Mégard, 1978; Soto, 1979; Moulin, 1989); este arribo de

importantes aportes silicoclásticos refleja un cambio nítido de las fuentes detríticas y posiblemente un evento tectónico a escala regional.

Es en el sector occidental (cuenca occidental peruana) donde estas secuencias presentan un espesor entre 2000 y 2500 metros de espesor al interior del cual se pueden diferenciar cuatro unidades litoestratigráficas: Formación Chimú compuesta de gruesas secuencias fluviales que se intercalan con facies tidales, le suprayace la formación Santa que representa una plataforma carbonatada de borde, en la parte media superior la Formación Carhuaz caracterizada por facies de tidal flat (amplia llanura tidal) y al tope la Formación Farrat que caracteriza a medios fluviales.

**Palacios (1995).** En el estudio denominado “Boletín No 55” solicitado por el consejo directivo del INGEMMET, realiza un estudio de la estratigrafía del territorio peruano, el cual está formado por una amplia secuencia de rocas sedimentarias, volcánicas y metamórficas, cortadas por importantes cuerpos plutónicos. Estas rocas varían en edades que van desde el Precámbrico al Cuaternario reciente

En lo correspondiente al Cretáceo inferior, comprendiendo el Neocomiano, el Aptiano, y hasta el Cenomaniano, en la Cordillera Occidental como en la Región Subandina y en el Llatlo Amazónico, consiste de una serie elástica arenoarcillosa con intercalaciones calcáreas.

En la parte Norte y Centro de la Cordillera Occidental el Cretácico inferior está representado por sedimentos arenosos de facies mayormente marinas del Grupo Goyllarisquizga. Al Este, hacia la Cordillera Oriental al Cretácico inferior comprende, una serie deltaica casi continental que yace sobre el Grupo Pucará (Jurásico superior).

En la Cordillera Occidental, el Grupo Goyllarisquizga yace sobre la Formación Chicama, e infrayace a las calizas albianas de la Formación Inca del departamento de Cajamarca y a la Formación Pariahuanca del Callejón de Huaylas del Perú central.

El Grupo Goyllarisquizga ha sido diferenciado en cuatro Formaciones, de inferior a superior: Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat.

La Formación Carhuaz es principalmente arcillosa y está constituida de lutitas fosilíferas con intercalaciones de areniscas, yeso y capas delgadas de calizas en la parte inferior. Contiene fósiles (Dobrodrigeras / broggi Lisson, Buchotrigonia gerthii y Buchotrigonia inca), que indican una edad Valanginiano superior. La parte superior corresponde al Barremiano, con lutitas, lutitas arenosas y areniscas de color pardo rojizo, en capas delgadas.

### **2.1.3. LOCALES**

**Lagos y Quipe (2012).** Caracterización Litológica y Paleontológica del Cretáceo Inferior en Cajamarca: Las Formaciones Santa y Carhuáz. En este estudio se analizan tanto los fósiles y las rocas que pertenecen a las formaciones (fms.) Santa y Carhuáz de edad cretáceo inferior, hallados en las localidades de San Marcos y Cajamarca. Estos análisis han permitido determinar su edad y las condiciones de depositación.

La fm. Carhuaz, de edad cretácica inferior, consta de una alternancia de limolitas y areniscas de grano fino en estratos comúnmente delgados. En Namora y Matara se ha identificado una flora fósil que son: Weichselia peruviana ZEILLER (improntas de ramas y hojas): (Cassiope) neumayri (NAGAO), Pelcurdia sp. que indica una edad Hauteriviano medio a superior y una depositación en un ambiente continental y muy cercano a una zona transicional, con predominancia de climas cálidos y húmedos.

**Reyes (1980).** “Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba”. La formación Carhuáz descrita inicialmente por BENAVIDES (1956), en el área tiene aproximadamente un grosos de 500 m., con incremento hacia el sur y disminución hacia el noreste. Consta de una alternancia de areniscas con lutitas grises, las primeras con matices rojizos, violetas y verdosos (características principales para diferenciarla en el campo). Hacia la parte superior contiene bancos de cuarcitas blancas que se intercalan con lutitas y areniscas. Solamente en la bajada a la hacienda Jocos (Cajamarca) se ha observado por vez primera, delgados lechos carbonosos en esta formación.

La formación Carhuaz yace con suave discordancia sobre la formación Santa e infrayace concordantemente a la formación Farrat. Probablemente las edades, Valanginiano superior Hauteriviano y Barremiano corresponden a esta formación,

ya que encima se encuentra la formación Farrat que a su vez infrayace a sedimentos del Aptiano-Albiano. Es equivalente con la parte intermedia de la formación Llacanora.

## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. Principios Básicos de la Estratigrafía

#### A. Principio de superposición de los estratos-planteado por Steno y desarrollado por Lehmann

El principio es básico para la ordenación temporal de los estratos (o conjuntos de estratos) sub horizontales y se puede aplicar a los materiales estratificados en los que la deformación tectónica posterior a su depósito no implique la inversión de estratos. Existen algunas excepciones donde no se cumple el principio, siempre ligadas a discontinuidades que impliquen etapas de erosión de materiales previos, de manera que los sedimentos nuevos se depositen en cavidades excavadas en el seno de los otros.

En la actualidad, este principio se usa con gran frecuencia, aunque apoyándose además en el uso de criterios de polaridad vertical, y constituye la base del levantamiento de secciones estratigráficas, técnica por otra parte fundamental en todo estudio estratigráfico (Vera y Torres, 1994).

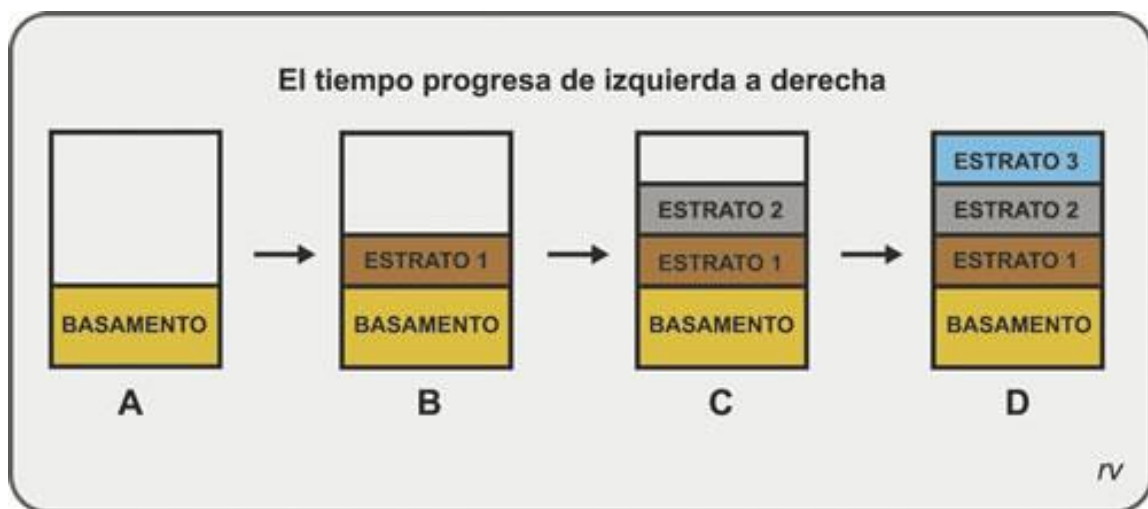


Figura 2: Principio de superposición. El estrato 2 es más joven que el Estrato 1, pero más antiguo que el estrato 3. (Varela 2014)

## **B. Principio de horizontalidad original y continuidad lateral de los estratos-Emitido por Steno.**

Determina que los estratos en el momento de su depósito son horizontales y paralelos a la superficie de depósito (horizontalidad original) y quedan delimitados por dos planos que muestran continuidad lateral. Los estudios recientes sobre la geometría de los estratos tanto en el campo como, especialmente, por técnicas del subsuelo permiten conocer excepciones a este principio en las que los estratos se disponen paralelos a las superficies de depósito, pero no necesariamente horizontales, sino más bien con una ligera inclinación original.

El principio es básico para la ordenación temporal de los estratos (o conjuntos de estratos) sub horizontales y se puede aplicar a los materiales estratificados en los que la deformación tectónica posterior a su depósito no implique la inversión de estratos (Torres 1994).



Figura 3: Principio de horizontalidad original y continuidad lateral de los estratos (Botella 2014)

## **C. Principio del Uniformismo o Actualismo-Emitido por Hutton y desarrollado por Lyell.**

Lyell (1833). Señala que los procesos que han tenido lugar a lo largo de la historia de la Tierra han sido uniformes (uniformismo) y semejantes a los actuales (actualismo). El desarrollo de la teoría originaria lleva a su correcta aplicación como método de trabajo con algunas ligeras correcciones (Solano, 2015).

Una primera es considerar que los procesos no son totalmente uniformes, sino que han cambiado en el ritmo e intensidad, y además en ellos hay un factor no repetible

como es los organismos que han ido cambiando de manera lineal (no cíclica) de acuerdo con las pautas establecidas en la teoría de la evolución. La interpretación de los materiales sedimentarios antiguos por comparación con los actuales, es una de las aplicaciones fundamentales de este principio (Solano, 2015).

Igualmente, el principio del actualismo, aunque tomando como referencia actual un intervalo de tiempo largo (p.ej. el Cuaternario) constituye la base de muchas de las interpretaciones estratigráficas. La frase originaria con la que se simplifica este principio el presente es la clave del pasado ha sido parafraseada por Matthews (1974) diciendo "el Cuaternario es la clave del pasado".

#### **D. Principio de la simultaneidad de eventos.**

Solano (2015). Este principio se basa en la doctrina del catastrofismo actualista (Vera 1990) o nuevo uniformismo (Berggren y Van Couvering, 1993). Sin embargo, se pueden encontrar antecedentes de este principio, a finales del siglo XVIII, en las ideas de Werner y sus discípulos quienes defendían la contemporaneidad global de las catástrofes que determinaban los límites de las grandes divisiones geológicas. Igualmente se pueden encontrar precedentes de este principio en las ideas de Cuvier para explicar el origen de los yacimientos fosilíferos.

Consiste en aceptar que en la naturaleza ocurrieron en tiempos pasados fenómenos normales como los que vemos en la actualidad, pero además otros raros y eventuales (eventos) que mayoritariamente coinciden con las grandes catástrofes. Estos eventos (p. ej. cambios climáticos, cambios del nivel del mar, cambios en el campo magnético terrestre, grandes terremotos, explosiones de volcanes) pueden quedar reflejados en los estratos de muy diferentes localidades, constituyendo de esta manera un excelente criterio de correlación, a veces a una escala mundial.

#### **2.2.2. Estratificación y Secuencia de Rocas**

Vera (1994). La estratificación es un fenómeno ligado a la sedimentación. Los sedimentos se depositan sin interrupción en el fondo de las cuencas sedimentarias. Forman capas apiladas unas encima de las otras que se denominan estratos horizontales y que constituyen series estratigráficas. De su estudio se encarga la estratigrafía.

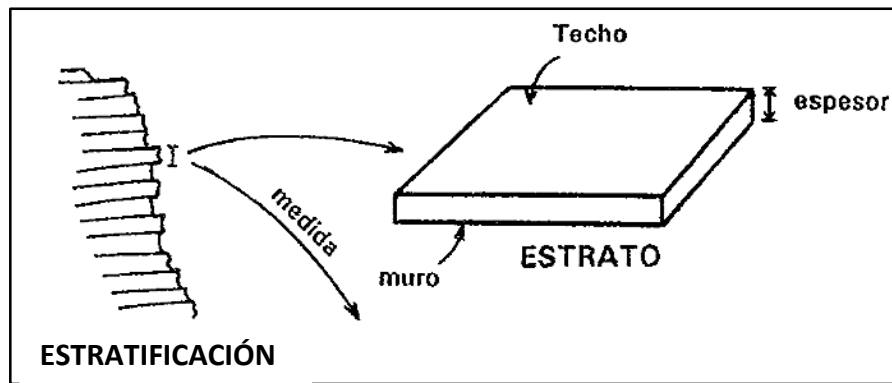


Figura 4: Estrato y estratificación (Vera 1994)

### A. Tipos de estratificación

Vera (1994). Los criterios que pueden servir para tipificar la estratificación son diversos, aunque esencialmente se basan en dos aspectos fundamentales: la geometría de los estratos individuales y los rasgos distintivos de las asociaciones de estratos sucesivos.

### B. Superficie de estratificación.

Vera (1994). Son las superficies que delimitan geoméricamente el estrato, llamando techo a la superior, y muro o base a al inferior. Representan una interrupción en la sedimentación, la duración de esta puede ser muy variable. Es muy frecuente que, en el techo, como en el muro, aparezcan estructuras sedimentarias, teniendo esta importancia para determinar la polaridad (cuál es la capa superior) y el sentido y/o dirección de la corriente de los aportes. Se pueden clasificar según:

Sus características físicas

- ✓ Superficies netas (erosivas o no)
- ✓ Superficies graduales (difusa)



Su geometría

- ✓ Difusa
- ✓ Neta
- ✓ Planares
- ✓ Con estructuras de corriente.
- ✓ Con pistas de organismos
- ✓ Con estructuras de carga
- ✓ Ondulada
- ✓ Irregular
- ✓ Bioturbada
- ✓ Nodulosa

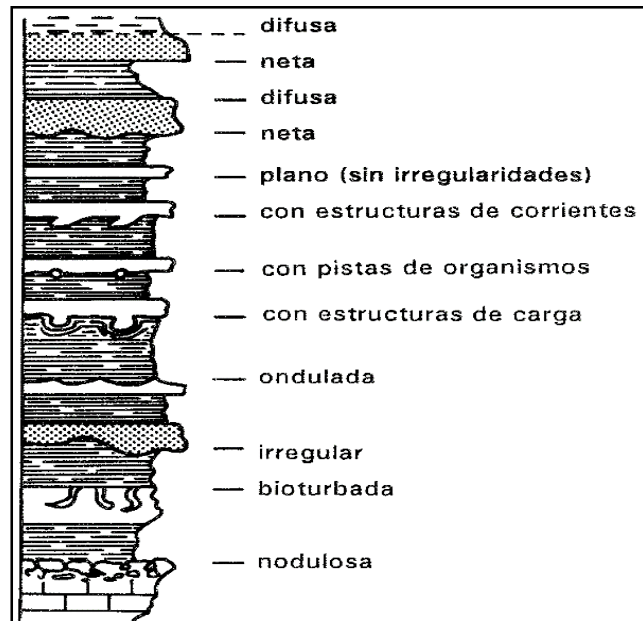


Figura 5: Tipos de superficies de estratificación (Vera 1994)

La estratificación se produce por efecto de la interacción compleja de las condiciones físicas, químicas y/o biológicas que regulan la sedimentación. Es una propiedad inherente a la sedimentación, de manera que la casi totalidad de las rocas sedimentarias presentan este dispositivo. Las únicas excepciones son las rocas formadas por organismos constructores (por ejemplo, arrecifes de coral), rocas formadas a partir de morrenas glaciares (tilitas) y algunas rocas sedimentarias de precipitación química masivas. Son muy diversas las causas que producen la estratificación, pero se pueden resumir en dos: interrupciones en la sedimentación y cambios en las condiciones de sedimentación.

### C. Medida de la estratificación

(Vera 1994). Los estratos se depositan generalmente subhorizontales, pero se presentan en la naturaleza con posiciones geométricas muy diversas, debido a deformaciones posteriores, especialmente a basculamiento y plegamiento. Para expresar la posición espacial de un estrato o de una superficie de estratificación se recurren a dos medidas: la dirección y el buzamiento. Se llama dirección de un estrato

al ángulo que forma la línea horizontal contenida en el estrato (línea de dirección) con la coordenada geográfica norte-sur, situadas ambas rectas en el mismo plano

horizontal. Se llama buzamiento al valor del diedro formado por el plano de la estratificación y el plano horizontal.

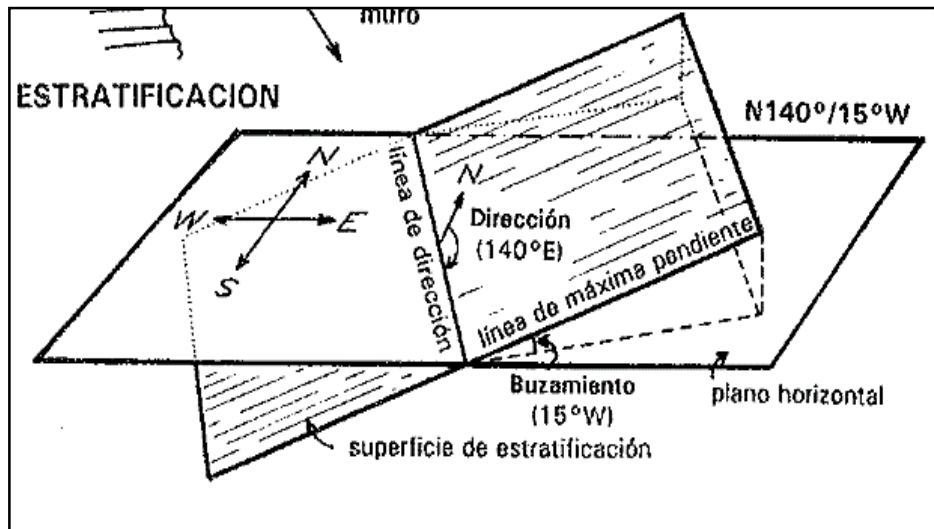


Figura 6: Medidas de la estratificación (Vera 1994)

#### D. Geometría de los estratos

Vera (1994). Considerando los estratos individualmente se puede establecer una clasificación de tipos geométricos, a partir de la geometría del techo y del muro.

Estratos Tabulares. Cuando las dos superficies de estratificación (techo y muro) son planas y paralelas entre sí.

Estratos Irregulares con Muro Erosivo. Son estratos con una gran extensión lateral, con un muro irregular y un techo plano, por lo que su espesor varía.

Estratos Acanalados. Con escasa extensión lateral y espesor muy variable, con una geometría interna semejante a la de la sección de un canal.

Estratos en Forma de Cuña. Se trata de estratos limitados por superficies planas no paralelas entre sí, que terminan con la pérdida progresiva de espesor.

Estratos Lenticulares. Son discontinuos, con el muro plano y el techo convexo, su variante son estratos de forma biconvexa.

- ✓ Estratos Ondulados. Se caracterizan por ser continuos con muro plano y techo ondulado, con estructuras de ripples de corrientes (Vera y Torres 1994)

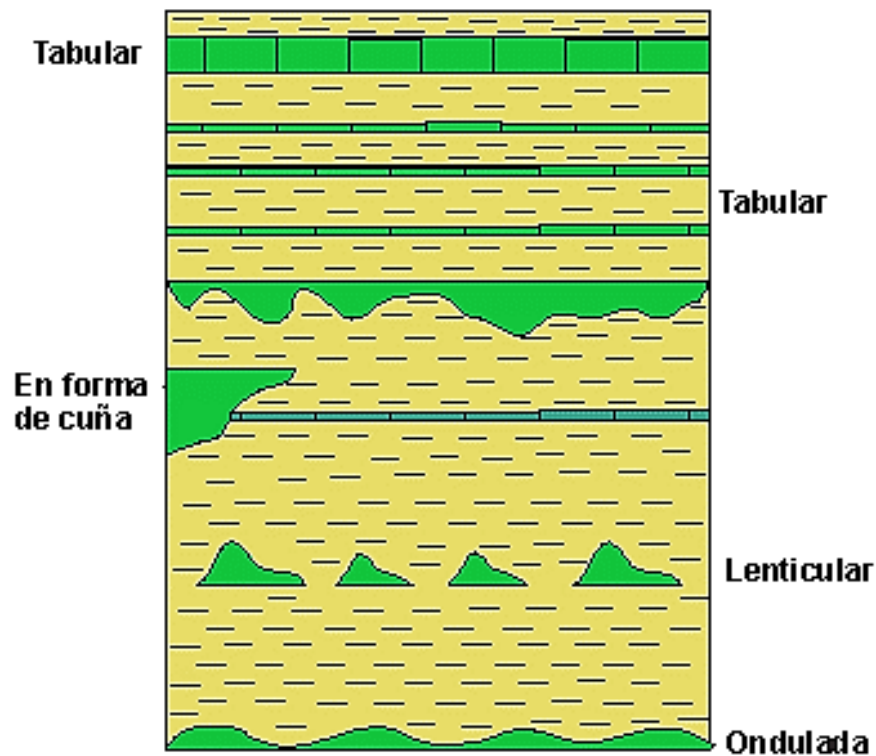


Figura 7: Tipos más simples de geometrías de estratos de acuerdo con su continuidad, forma de las superficies de estratificación y variación lateral de espesor (Vera 1994)

### 2.2.3. Determinación del Espesor de los Estratos

(Vera 1994). Distancia entre los planos de estratificación limitantes, medida perpendicularmente a ellos.

El espesor de una capa puede determinarse por diversas formas: medición directa y medición indirecta mediante el uso de fórmulas trigonométricas.

**Métodos directos.** Es el caso más sencillo, se da cuando una capa horizontal expuesta en una cara vertical se puede medir mediante el uso de una wincha. Otro caso es el afloramiento de una capa vertical en una superficie horizontal; se sostiene la wincha perpendicularmente a la dirección de la capa, obteniéndose el espesor del estrato.

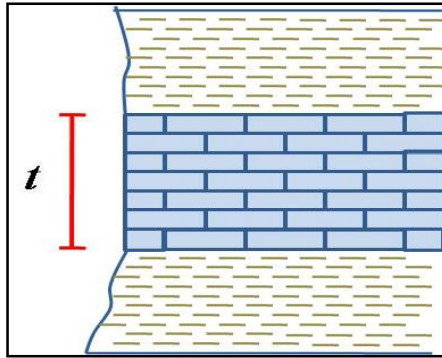


Figura 8: Método directo, estrato horizontal (Vera 1994)

Otro caso especial es el afloramiento de una capa vertical en una superficie horizontal; se sostiene la wincha perpendicularmente a la dirección de la capa, lo cual será el espesor del estrato.

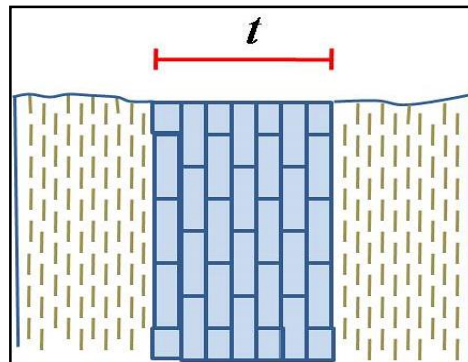


Figura 9: Método directo. Estrato vertical (Vera 1994)

### **Determinación de espesor – grosor por el Método de Jacob**

(Vera 1994). Es un método muy popular para la medición de sucesiones estratigráficas es la utilización del Báculo de Jacob, herramienta sencilla que ha probado por más de un siglo su versatilidad y efectividad. El Báculo de Jacob es un patrón de comparación que permite medir la sucesión en tramos de 1.5m. Consiste en dos segmentos rectos desiguales, usualmente dos cintas de madera unidos perpendicularmente en forma de una letra T o una L, la longitud mayor es precisamente de 1.5 m, mientras la menor es variable.

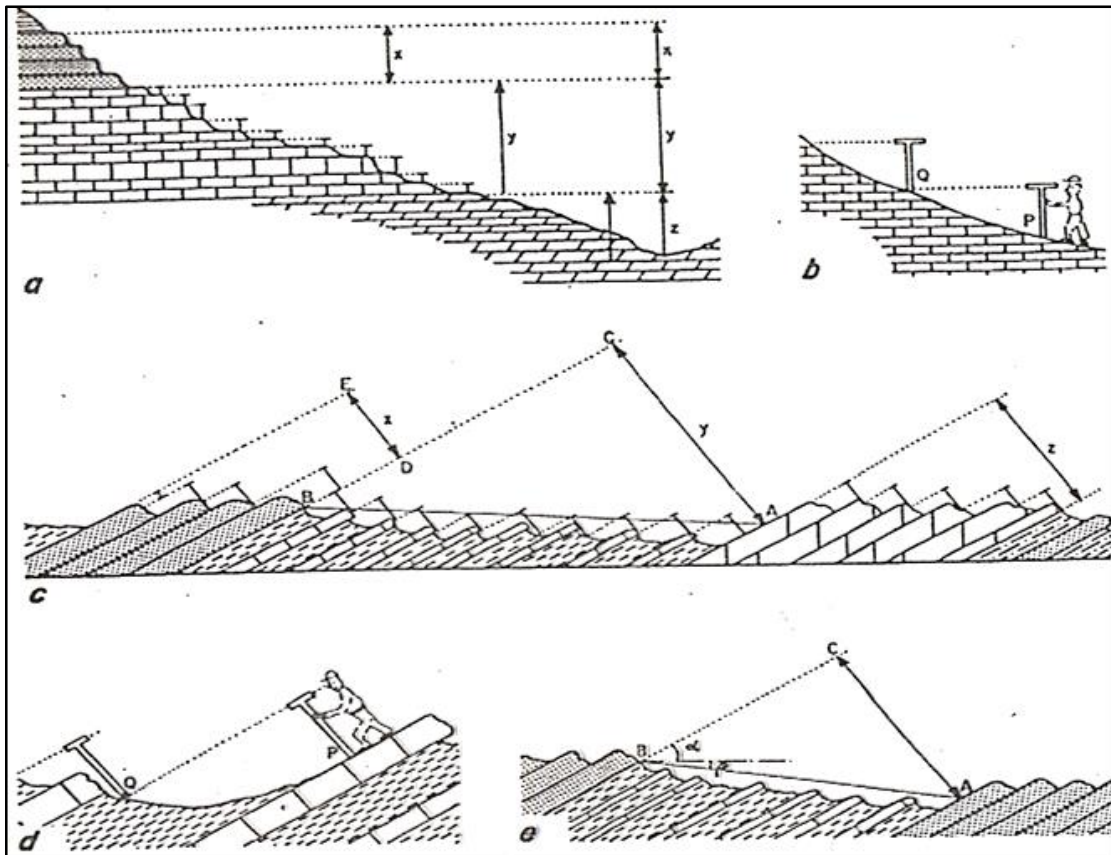


Figura 10: Método de Jacob (Vera 1994)

#### 2.2.4. Asociación de estratos

(Vera 1994). Cuando se analizan conjuntos de estratos superpuestos se puede realizar diversas clasificaciones basadas en criterios de tipo descriptivo, que en gran parte representan diferentes tipos genéticos.

Uniforme. Los espesores de los estratos sucesivos tienen unos valores análogos, con un valor real muy cercano a la media estadística de todos los espesores.

Aleatorio o de Espesor Variable. Los espesores de los diferentes estratos superpuestos son muy variables y no presentan ninguna ordenación definida.

Estrato Creciente. Los espesores tienen una ordenación en lotes de estratos con valores de espesores crecientes hacia el techo, dentro de cada lote. A este tipo de ordenamiento también se le conoce con el nombre de secuencia negativa (Lombard 1956).

Estrato Decreciente. Presenta disminución de los espesores de los estratos hacia el techo en cada lote. A este tipo de ordenamiento también se le conoce con el nombre de secuencia positiva. (Lombard 1956).

En Haces. Los espesores de los estratos se distribuyen por lotes de estratos de espesores uniformes dentro de cada lote y diferentes entre lotes (Veras y Torres 1994).

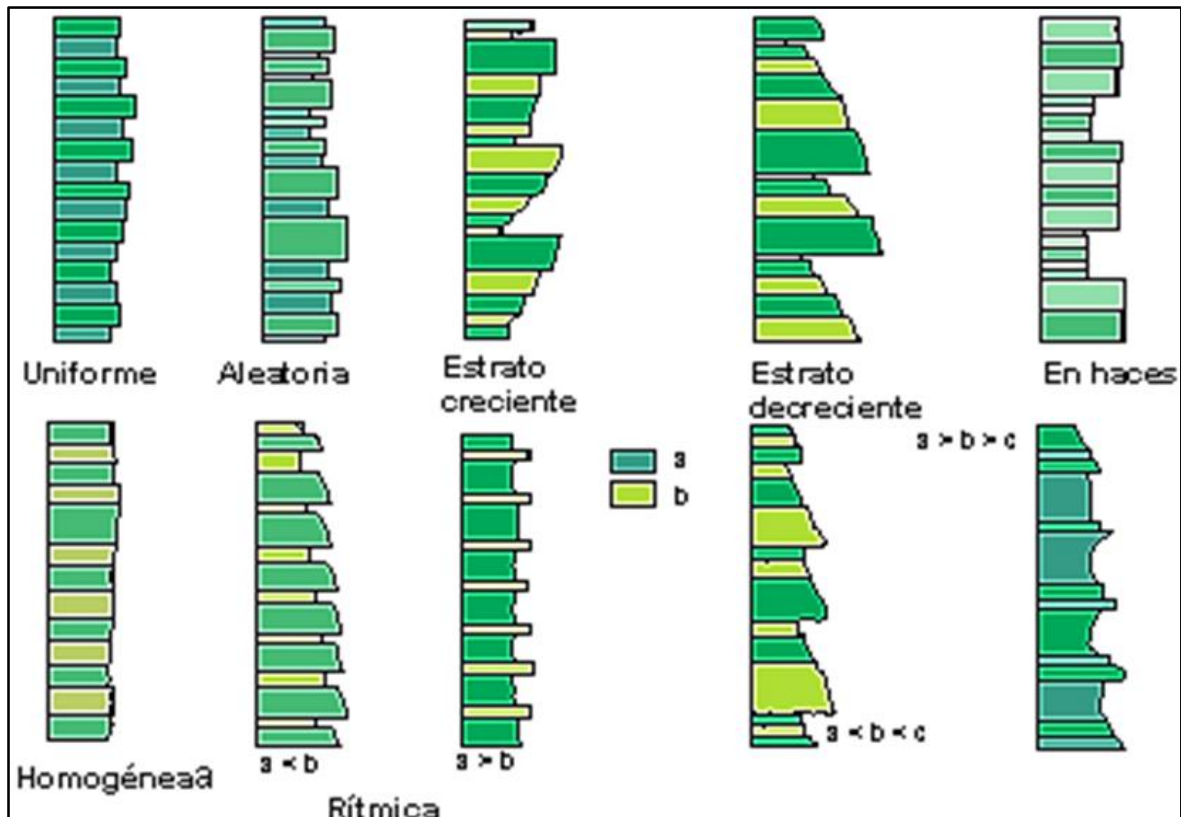


Figura 11: Tipos de asociaciones de estratos de acuerdo con la distribución de los espesores y de las litologías presentes (Vera 1994)

### 2.2.5. Facies sedimentarias

Según Vera (1994:139) facie se refiere a un conjunto de características (o a los materiales que las presentan), por lo que se trata de un concepto carente de dimensiones (acepción referida a las propiedades) o referido a volúmenes de materiales, de rango menor (escala métrica), caracterizados por dichas propiedades (acepción referida a los materiales). De acuerdo con Gressly, citado por Vera (1994) facie se refiere a “la suma total de los aspectos litológicos y paleontológicos de una unidad estratigráfica”. Es decir, definir el aspecto de cada grupo de rocas.

Desde las definiciones emitidos por Gressly el concepto de facie ha evolucionado a acepciones abstractas carente de dimensiones y a acepciones concretas que toma en cuenta las dimensiones.

Dado que las acepciones concretas son más aceptables y medibles es por ello que diferentes autores han definido facies. Moore, citado por Vera (1994) define facies como “una parte arealmente restringida de una determinada unidad estratigráfica que muestra características marcadamente diferentes de aquellas que muestran las otras partes de la misma unidad”. Por su parte Selley, citado por Vera (1994) dice que facies es “un conjunto de rocas sedimentarias que puede ser definido y separado de otros por su geometría, litología, estructuras sedimentarias, distribución de paleocorrientes y fósiles”.

Reading, citado por Vera (1994:139) dice que “Una facies es un cuerpo rocoso con unas características específicas. Allí donde las rocas sedimentarias pueden ser tocadas (manipuladas) directamente en el afloramiento o a partir de testigos de sondeos, las facies se definen en función del color, la estratificación, la composición, la textura, los fósiles y las estructuras sedimentarias”

### **Asociación de facies**

Grupo o conjunto de facies que guardan una clara relación física y genética entre sí. El concepto involucra tanto a las relaciones verticales como laterales entre las facies. El concepto de asociación de facies es fundamental para definir mecanismos de formación de los depósitos sedimentarios, así como proponer modelos sobre sistemas de depositación y ambientes de acumulación (Vera y Torres 1994)

Entre los principales tipos de asociación de facies encontramos:

Multiepisódicas.

Cíclicas o rítmicas:

Bandeadas o bitemáticas (cyclic bedding).

Asimétricas (cyclic sequences).



Complejas.

No cíclicas.

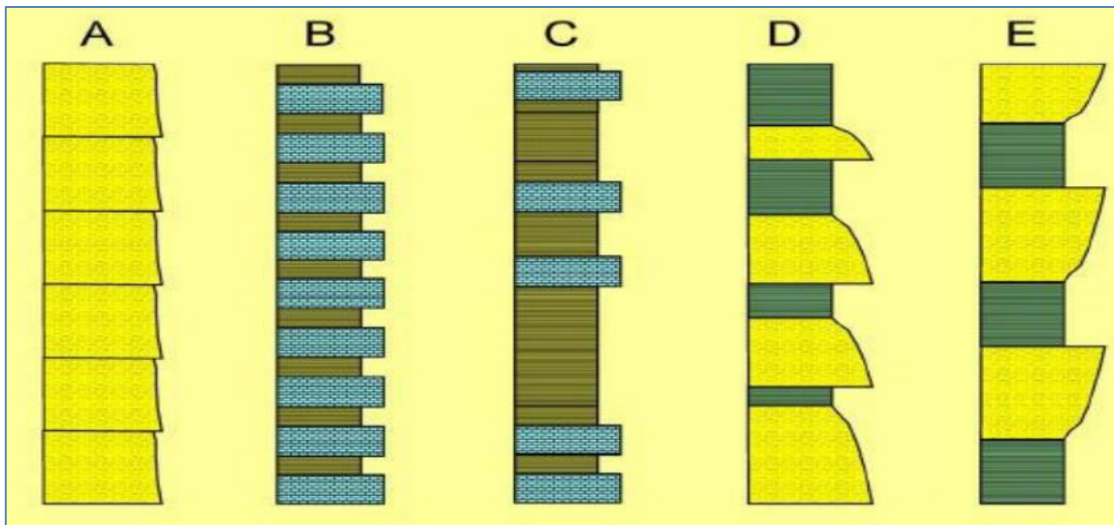


Figura 12: A: multiepisódica; B: bandeada; C: bandeada discíclica; D: asimétrica positiva (granodecreciente); E: asimétrica negativa (granocreciente). (Buatois 2002).

### 2.2.6. Sedimentología

Arche (2010). La sedimentología es la rama de la geología que se encarga de estudiar los procesos de formación, transporte y deposición de material que se acumula como sedimento en ambientes continentales y marinos y que normalmente forman rocas sedimentarias. Trata de interpretar y reconstruir los ambientes sedimentarios del pasado.

Se encuentra estrechamente ligada a la estratigrafía, si bien su propósito es el de interpretar los procesos y ambientes de formación de las rocas sedimentarias y no el de describirlas como en el caso de aquella.

(Lombard 1970), dice que es parte de la estratigrafía, y que se encargaba de la reconstrucción del medio original (sedimentario) por medio de los datos que aportan los materiales de la capa según su lugar de formación.

(Reading 1978), indica que está dentro de la petrología sedimentaria, puesto que, a diferencia de la estratigrafía, excluye el factor tiempo.

Ricci Luchi (1980) dice que los límites están mal definidos.



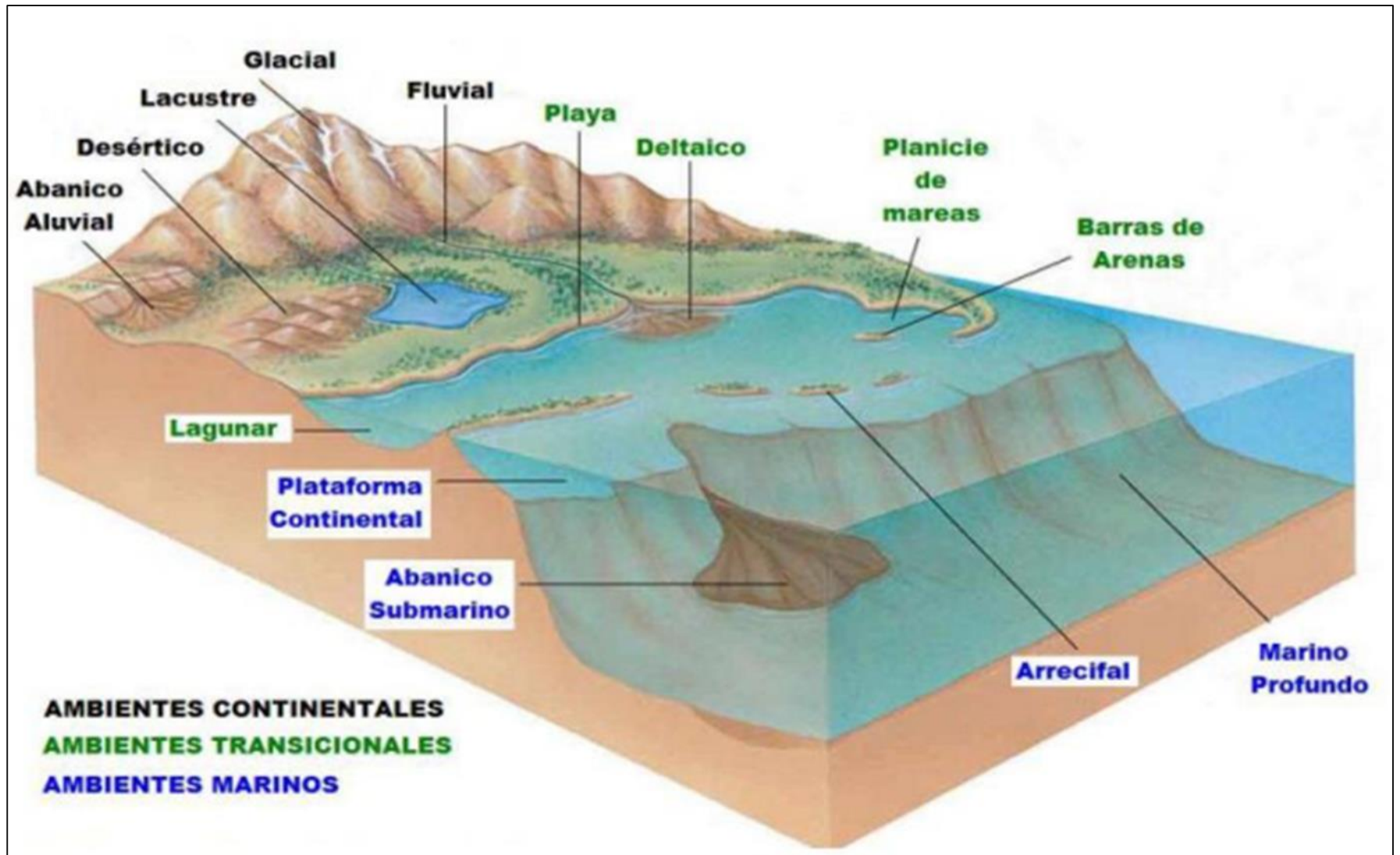


Figura 13. Distribución de los diferentes Ambientes Sedimentarios (Skinner 1999)

### **2.2.7. Lagos y Sistemas Lacustres**

(Anadon 1984) Los lagos, entendidos como cuerpos de agua continental permanentes, constituyen en la actualidad alrededor del 1% de la superficie terrestre.

Según (Lincoln et al. 1982) «un lago es un cuerpo de agua estancada dulce o salina, sin corrientes apreciables, que suelen presentar una estrecha playa periférica carente de vegetación debido a la acción del oleaje»

Según (Margalef 1983) «los lagos son masas de agua que alcanzan o rebasan cierta profundidad mínima, suficiente para el establecimiento de una termoclina durante el período de estratificación».

Bates y Jackson (1987) definen lago como «cualquier cuerpo de agua continental que ocupa una depresión en la superficie de la tierra y tiene un tamaño apreciable, mayor que un pond (charca) y demasiado profundo como para permitir que la vegetación (excluyendo la vegetación subacuática) enraíce completamente en la zona cubierta por el agua en toda su extensión».

Por último, (González Bernáldez 1992) define lago como «una masa de agua continental de considerable tamaño, con menores características de flujo que el río y, a causa de su gran volumen, menor contacto relativo, y menos dependencia e interacción con el medio terrestre que la laguna y otros humedales».

En cuanto a las clasificaciones también es posible encontrar cierta variedad de criterios a la hora de abordar el problema. En función de su origen los lagos pueden ser tectónicos, volcánicos, glaciares, kársticos, de actividad fluvial, de actividad eólica, formados por deslizamientos, por actividad costera, orgánicos, antropogénicos, de impacto meteorítico (Hutchinson, 1957; Sly, 1978); Wetzel, 1981, 2001; Hakanson y Jansson, 1983; Cole, 1983; Burgis y Morris, 1987; Lerman et al., 1995), pudiendo agruparse toda esta variedad en dos tipos fundamentales, lagos originados por actividad geológica independiente del agua y lagos originados por la actividad del agua (Margalef 1983).

En función de su capacidad para estratificar la columna de agua pueden ser amícticos, monomícticos, dimícticos, polimícticos o meromícticos, permitiendo esto varias subclasificaciones dependientes de los mecanismos de mezcla o de los mecanismos que dan lugar a la meromixis en el caso de los lagos meromícticos (lagos permanentemente estratificados). En función del tipo de sedimentos que se acumulan en ellos pueden ser siliciclásticos, *carbonáticos*, salinos, orgánicos, o mixtos. En función del contenido en materia orgánica y nutrientes en las aguas del lago pueden ser oligotróficos, distróficos o eutróficos.

#### **2.2.7.1. Dinámica del Medio Lacustre**

(Anadon 1984) La dinámica del medio lacustre puede establecerse en períodos anuales, debido a la diferencia de temperaturas entre el verano y el invierno y cómo afecta a las masas de agua.

Como puede observarse en la imagen a continuación, la sedimentación en el medio lacustre se produce de manera diferenciada por zonas. En la zona de aporte de agua y más próxima a la orilla, se produce sedimentación por peso de los sedimentos más gruesos, existiendo una zona de arenas y gravas. A continuación, se produce una sedimentación de finos, debido a la pérdida de poder erosivo del agua, conformando lutitas. Si el perfil del lago continúa hacia abajo, se produce una zona de turbidez generando sedimentos turbidícticos que fluyen hacia el fondo convirtiéndose en la sedimentación de los finos, ya muy próximo o casi en el centro del lago.

Debido a la existencia de la termoclina en invierno, no se produce intercambio de agua entre la superficie y el fondo, por lo que se genera una corriente de fondo, que da a los sedimentos su aspecto característico, llamándose varvas. Estas capas se producen de manera anual, pues en verano, la termoclina desaparece.

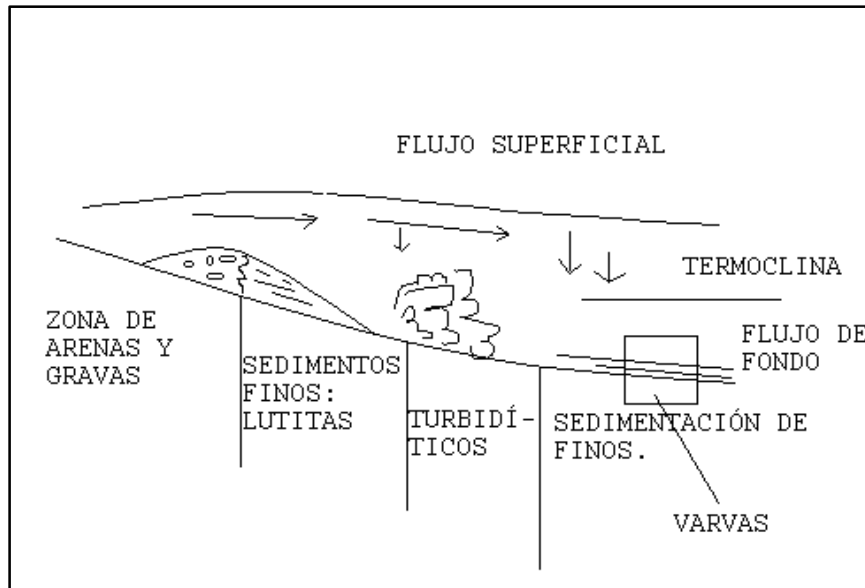


Figura 14. Dinámica del medio lacustre (Costas 2018)

### 2.2.7.2. Sedimentación en Lagos

(Anadón 1984) Los procesos sedimentarios están estrechamente ligados a los físicos, químicos y biológicos. Pueden ser muy diversos y su importancia relativa depende del tipo de lago. En general, la sedimentación en los lagos está controlada principalmente por el aporte de materiales clásticos, la química de sus aguas y el rango de fluctuaciones de la línea de costa.

Los sedimentos lacustres muestran una gran variedad, y su génesis y composición dependen de las condiciones expresadas anteriormente. En cuanto a tipos de sedimentos que se desarrollan en lagos, se pueden dividir en cuatro grupos principales (KUKAL 1971):

- Sedimentos mecánicos o clásticos.
- Sedimentos de origen químico (carbonatos, sales).
- Sedimentos bioquímicos, que comprenden los sedimentos formados por la actividad fisiológica de organismos.

- Sedimentos orgánicos, incluyendo los sedimentos formados por las partes minerales de organismos y los constituidos por partes inestables de organismos.

Desde un punto de vista mineralógico, JONES Y BOWSER (1978) diferencian, según su procedencia, una fracción alógena (procedente de áreas externas al lago), una fracción endógena (originada mediante procesos que tienen lugar en la columna de agua) y una fracción autógena (resultante de reacciones en el sedimento después de la deposición). Mientras las fracciones alógenas de los sedimentos lacustres reflejan en principio los factores físicos del sistema lacustre, las fracciones endógenas y autógenas son reflejo, principalmente, de los factores químicos y biológicos.

### **2.2.7.3. Modelos de Facies**

Anadon (1984) Los sedimentos lacustres poseen probablemente la composición más variada de todos los depósitos de un tipo de ambiente (detríticos, carbonatados, evaporíticos, etc.). No obstante, en un lago determinado generalmente no se encuentran todos presentes. Por ello, es difícil establecer modelos generales de facies lacustres. En un primer paso, la clasificación más lógica de los medios lacustres, en función de los depósitos, es la diferenciación entre lagos con depósitos clásticos gruesos y lagos desprovistos de estos materiales.

En un segundo paso, estos últimos pueden subdividirse en lagos con depósitos predominantemente carbonatados, evaporíticos, orgánicos, complejos, etc.; existiendo, evidentemente, todos los casos intermedios entre estos tipos extremos. Así KUKAL (1971) distingue cuatro tipos fundamentales:

- Lagos en que los sedimentos de grano grueso de zonas someras pasan a cierta profundidad a depósitos arcillosos y ocasionalmente carbonatados.
- Lagos con sedimentos predominantemente carbonatados, con una franja costera estrecha de depósitos detríticos.

- Lagos con sedimentos carbonatados que en la zona profunda pasan a orgánicos.
- Lagos con lodos orgánicos (turbas) y sapropel en las zonas centrales.

#### 2.2.7.4. Facies de Lagos con Sedimentación Detrítica Predominante

Estos procesos, especialmente la depositación y la distribución de los sedimentos lacustres detríticos, están controlados por el tamaño y características hidrodinámicas del lago (oleaje, circulación, afloramiento), relieve circundante, aporte de materiales por los ríos, etc. En algunos lagos las diferentes fracciones de tamaño de partícula pueden estar limitadas en su abundancia, esto puede deberse a su escasez en el aporte o a la hidráulica del sistema lacustre.

(TWENHOFEL 1932) presenta un modelo ideal de distribución de sedimentos detríticos lacustres, con un cinturón externo de gravas costeros, cinturón intermedio de arena y unas facies internas de margas y lodos. Este esquema básico ha sido utilizado por diversos autores posteriores.

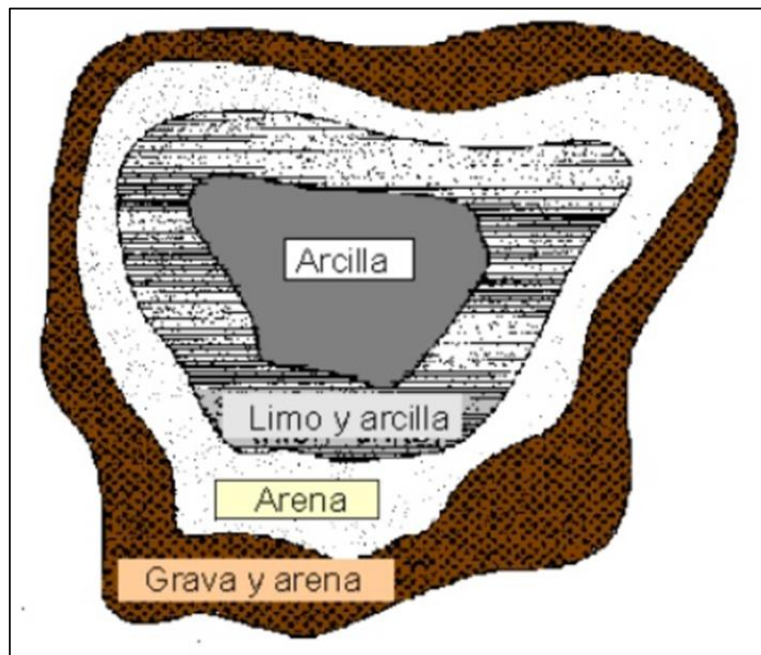


Figura 15. Esquema de sedimentación detrítica en un lago (Twenhofel 1932)

La erosión, transporte y deposición de materiales de grano grueso está confiada generalmente a la zona somera próxima a la costa, excepto cuando las condiciones de flujo de fondo, deslizamientos o corrientes de turbidez proporcionan vías de llegada de tales materiales al fondo.

Las áreas marginales donde tiene lugar mayor sedimentación son cercanas a las desembocaduras de los ríos (playas, spits y barreras asociadas a deltas). Los materiales transportados por los ríos se depositan de formas diferentes en función de la diferencia de densidad entre el agua del lago y la del río, pudiéndose formar deltas de domino fluvial similares a los marinos, deltas de tipo GILBERT o bien la formación de deltas que puede quedar inhibida si el agua del rio es más densa, siendo la mayor parte del sedimento transportado a zonas más profundas (COLLINSON 1978). En áreas de alto relieve pueden existir abanicos aluviales que construyan aparatos deltaicos (POLLARD, STEEL y UNDERSRUD 1982).

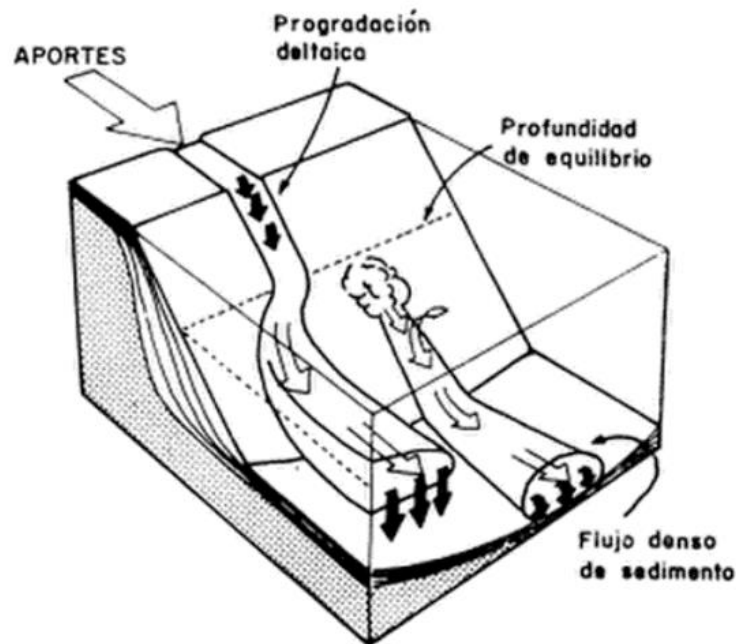


Figura 16. Esquema de mecanismos de transporte y deposición asociados a una desembocadura en un lago de aguas estratificadas. Las flechas negras indican sedimentación, las flechas blancas indican el movimiento del fluido (según Pharo y Carmack 1979).

En las zonas profundas del lago la sedimentación se efectúa casi completamente por decantación. La distribución y acumulación de materiales finos está particularmente influenciada por la morfología del fondo y por la estratificación de las masas de agua; no obstante, puede haber sedimentación de materiales gruesos debido a la existencia de flujos de fondo, corrientes de turbidez y deslizamientos subacuáticos (slumps). Las corrientes de densidad obedecen a un exceso de turbidez, pero difieren de las verdaderas corrientes episódicas de turbidez en ser de más larga efectividad y en que su origen se debe a un contraste de temperaturas. Los sistemas de flujos de fondo permiten el desarrollo de abanicos subacuáticos en zonas relacionadas con desembocaduras, similares en sus características a los abanicos submarinos. Los sedimentos arcillosos son los depósitos lacustres más abundantes en general, pudiendo gradar a sedimentos arcillo-limosos o a una gran variedad de depósitos químicos y orgánicos.

La naturaleza de las aguas profundas influye en la historia postdeposicional de los sedimentos. Bajo condiciones reductoras, en los sedimentos se acumula un alto contenido de materia orgánica con formación de sulfuros y con preservación de laminación, únicamente distorsionada por el escape de gases. Bajo condiciones oxidantes, abunda la fauna bentónica y tiene lugar bioturbación de laminación (Kukul 1971; Reineck y Singh, 1973; Sly, 1978 ; Collinson 1978)

#### **2.2.7.4.1. SEDIMENTACION EN ZONAS MARGINALES**

En las áreas marginales se presenta principalmente la sedimentación de materiales aportados por las desembocaduras de los ríos. En los grandes lagos, a lo largo de los márgenes se pueden desarrollar condiciones literales semejantes a las de los mares sin mareas con dominio de oleaje, incluso con la formación de estructuras de tipo hummocky cross stratification , como en el lago Huron (Greenwood y Sherman 1986).

Los materiales transportados por los ríos se depositan de formas diversas:

- En función de la densidad entre el agua del lago y la del río. (Pharo y Carmack 1979)



- En ocasiones el agua del río es más densa que la del lago, la formación de deltas puede quedar inhibida o disminuida, siendo la mayor parte del sedimento transportado a zonas más profundas de lago.

Se pueden presentar dos tipos fundamentales de deltas:

### **Tipo Gilbert**

- Constituidos por sedimentos de grano grueso.
- Suelen presentar estratificación cruzada de muy gran escala.
- Foreset de hasta 10 m. de altura.
- Acostumbran presentar estructuras de deformación debidas a la fuerte pendiente de los foresets.

### **Tipo de dominio fluvial**

- Secuencias de barras de desembocaduras bien desarrolladas.
- Son de tipo grano y estrato creciente y suelen oscilar entre 2 y 14 m.
- Presentes en áreas de alto relieve o lagos con vertientes escarpadas, pueden existir abanicos aluviales que construyan aparatos deltaicos.
- Principalmente los aportes son por flujos de transporte gravitatorio.'

En algunos lagos se ha podido observar la coexistencia de los dos tipos de deltas mencionados.

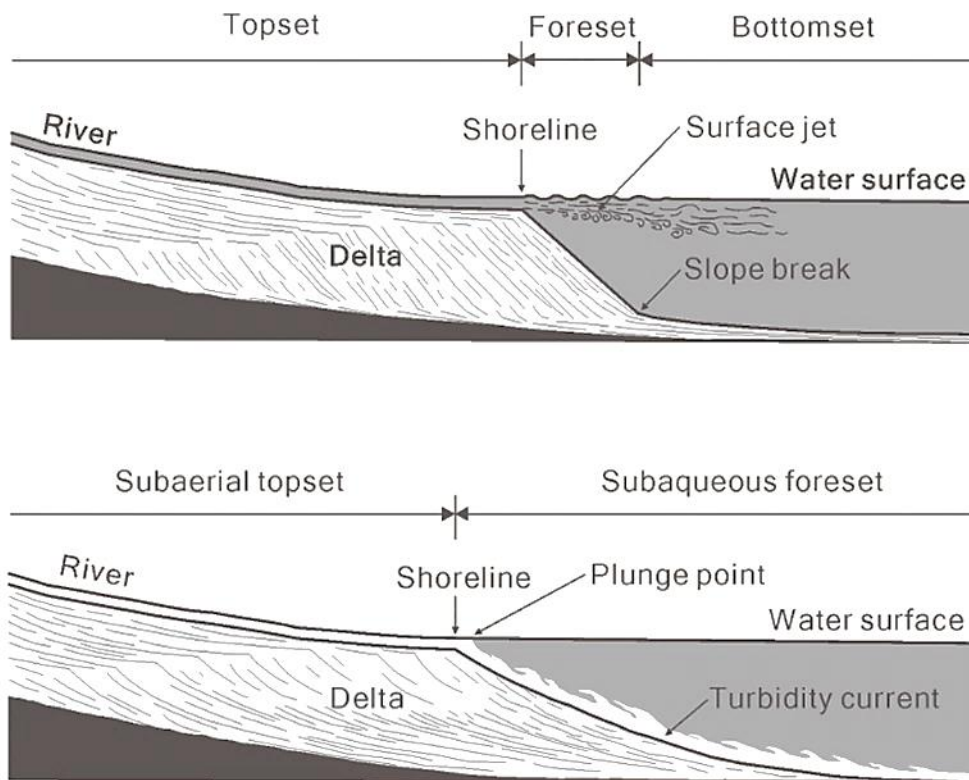


Figura 17. Delta de tipo Gilbert (superior) y Delta tipo dominio fluvial (inferior). Fuente; (Lai, S. Y. J., and H. Capart 2007)

## SEDIMENTACION DETRITICA EN ZONAS LACUSTRES PROFUNDAS

En las zonas más profundas de los lagos la sedimentación se lleva a cabo por decantación. La distribución y acumulación de limos y arcillas está particularmente influenciada por la morfología del fondo y por la estratificación de las masas de agua.

La sedimentación de materiales gruesos en zonas profundas de los lagos puede deberse a los flujos de fondo, corrientes de turbidez y deslizamientos subacuáticos (slumps).

#### **2.2.7.4.2. MODELO DE SEDIMENTACIÓN DETRÍTICA EN LAGOS OLIGOTRÓFICOS CON ESTRATIFICACIÓN TÉRMICA ANUAL**

(Sturm y Matter 1978) proponen un modelo de sedimentación detrítica en lagos oligotróficos con estratificación térmica anual a partir de sus estudios sobre el lago Brienz en los Alpes suizos. Este lago (con profundidad máxima de 261 m) es de tipo holomíctico (monomíctico), oligotrópico, con sedimentos alóctonos en su origen. Posee estratificación térmica de marzo a noviembre y desarrollo de una termoclina de unos 25 m. en dichas épocas. La sedimentación es completamente detrítica y está influenciada por dos ríos que entran en el lago en zonas opuestas. La carga de sedimento se transporta y deposita en el lago por flujos superficiales, flujo interno y flujos de fondo (corriente de turbidez de alta y baja densidad), dependiendo de las diferencias de densidades entre las aguas del río y del lago. Las corrientes de alta densidad solo se producen una o dos veces por siglo, coincidiendo con inundaciones catastróficas y depositan capas de arenas con grano clasificación de más de 1.5 m. de espesor. Las corrientes de turbidez de baja densidad se producen cada año durante periodos de elevada descarga y depositan capas de arena centimétricas con granuloclasificación.

Durante el periodo estival de estratificación térmica el sedimento de grano fino aportado por flujos superficiales o internos (zona de la termoclina) se decanta y forma la capa limosa gris oscura de una varva. Con la mezcla de otoño, el resto de sedimento atrapado en la termoclina se decanta y forma la capa de color gris claro de invierno, de sedimento de grano fino, existiendo un contacto basal no gradacional de la capa clara. Si la sedimentación pelágica es continua todo el año, se acumula un sedimento no laminado en forma de lodo homogéneo. Esto ocurre cuando no se desarrolla termoclina o bien si esta se localiza a profundidades mayores que el área de deposición.

Las turbiditas pasan distalmente a capas grises oscuras que no se diferencian de las capas grises oscuras estivales de las varvas.

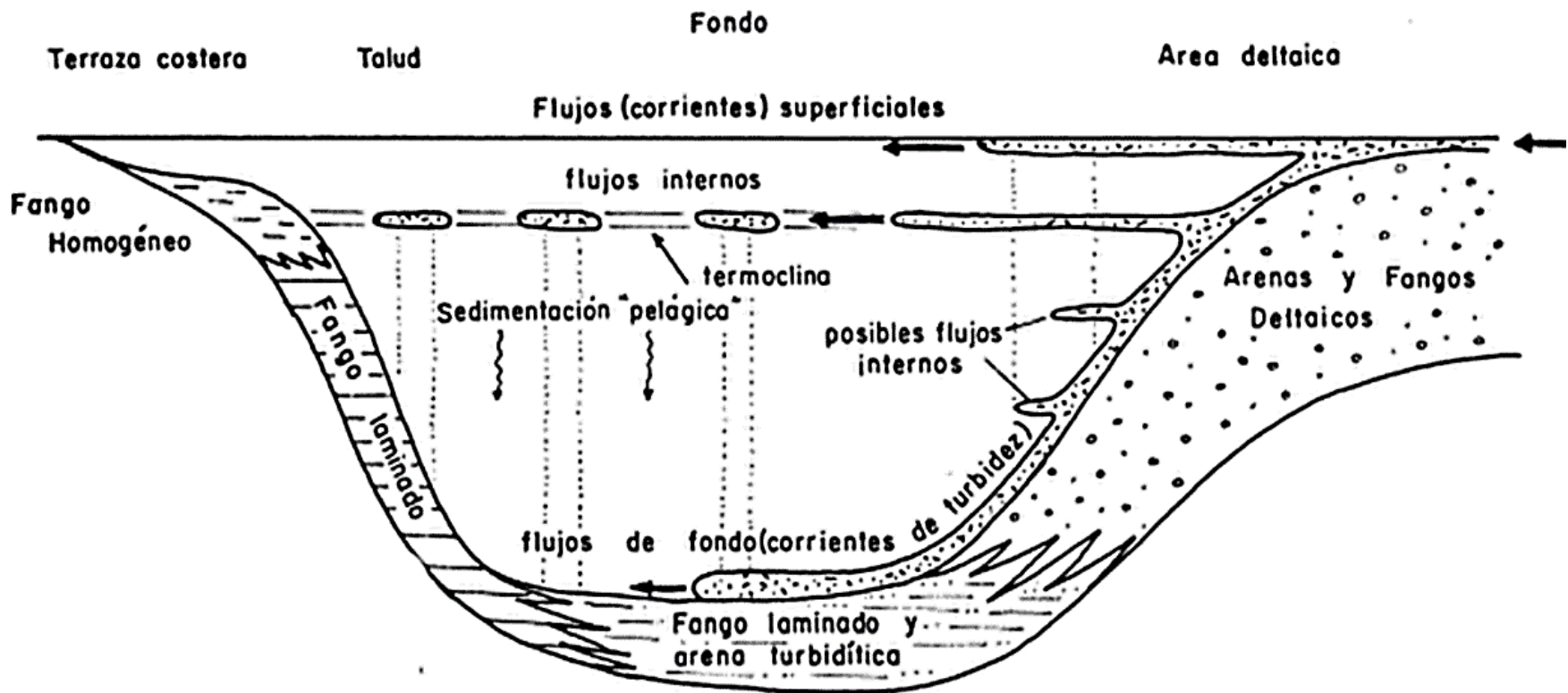


Figura 18. Distribución de mecanismos y tipos de resultantes de sedimentos propuestos para la sedimentación detrítica en lagos oligotróficos con estratificación térmica anual (Strum y Matter 1978)

### **2.2.8. Estructuras Sedimentarias**

(Vera 1994) Una estructura sedimentaria es la organización geométrica de los elementos que constituyen un sedimento visto como consecuencia de los procesos que lo han estructurado y de los elementos que lo componen.

Una estructura sedimentaria es la organización geométrica de los elementos que constituyen un sedimento visto como consecuencia de los procesos que lo han estructurado y de los elementos que lo componen.

Las estructuras primarias se forman en relación directa con el evento sedimentario principal. Se producen rápidamente, pero de igual manera pueden ser erosionadas fácilmente y desaparecer. A continuación, se describen algunas de estas.

#### **2.2.8.1. Laminación.**

(Vera 1994) Capas menores a 1 cm. Son producto de las fluctuaciones de las corrientes o cambios climáticos o por la erosión y un sepultamiento rápido que las protege de la destrucción. Indican cambios en el ambiente, ya sea oxidante o reductor y una depositación rápida.

##### **Laminación paralela**

Se presenta cuando un estrato contiene laminación interna paralela con respecto a la superficie de sedimentación.

##### **Laminación Sesgada**

Se presenta cuando un estrato contiene laminación interna inclinada con respecto a la superficie de sedimentación.

#### **2.2.8.2. Estratificación**

Es una sucesión de estratos, producida por cambios en el modelo de sedimentación, definidas por los cambios en color, mineralogía o tamaño de grano. Los límites en la estratificación o en la laminación pueden ser angulosos, irregulares o tradicionales y pueden ser modificados por la compactación del sedimento suave, movimientos tectónicos, etc

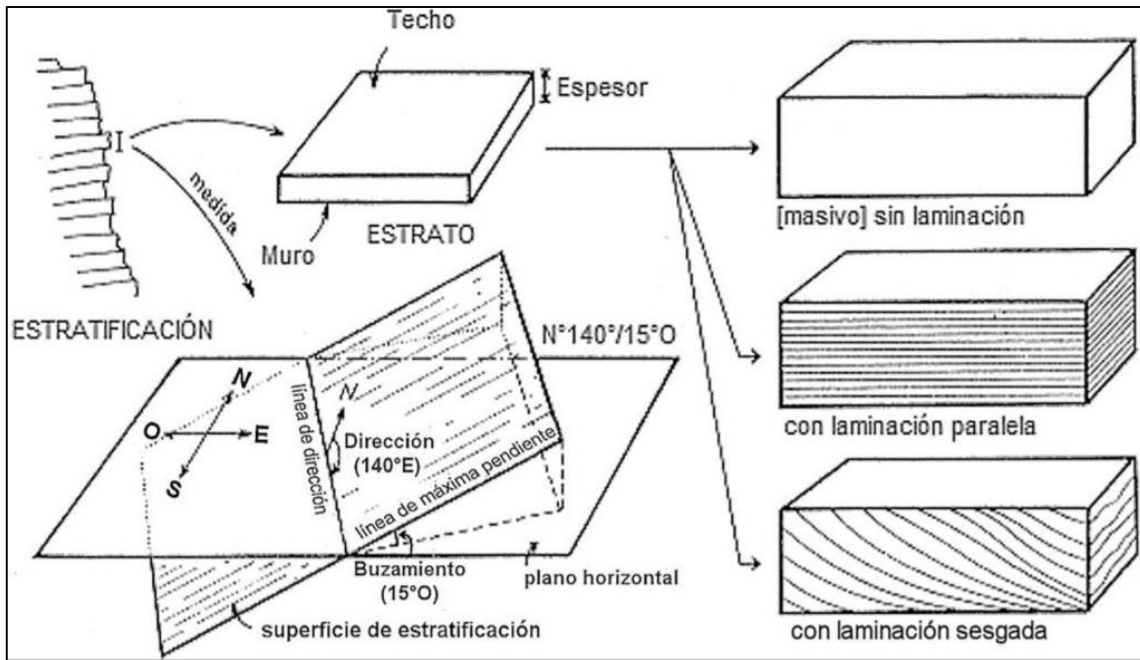


Figura 19: Rasgos de los estratos y medidas de la estratificación. (Vera 1994).

### Estratificación paralela o tabular

Las superficies de estratificación son paralelas entre sí.

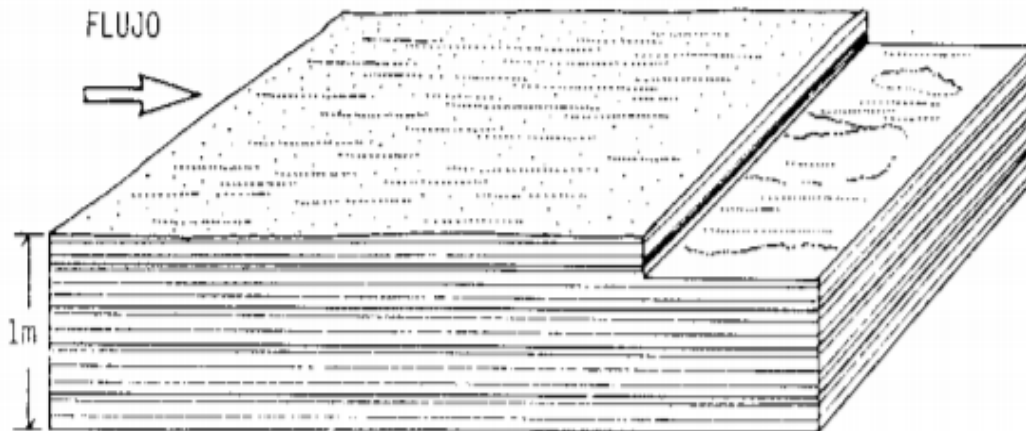


Figura 20. Estratificación horizontal y laminación paralela formadas por transporte masivo de granos en fondo plano superior con régimen de flujo, alto (Harms 1975).

## Estratificación sesgada planar

(Anadon 1984) Serie de planos de estratificación inclinados que guardan alguna relación con la dirección del flujo de la corriente, con el ángulo de apoyo del sedimento y con la proporción de provisión del mismo. La estratificación cruzada planar tiene ambas superficies de estratificación planas.

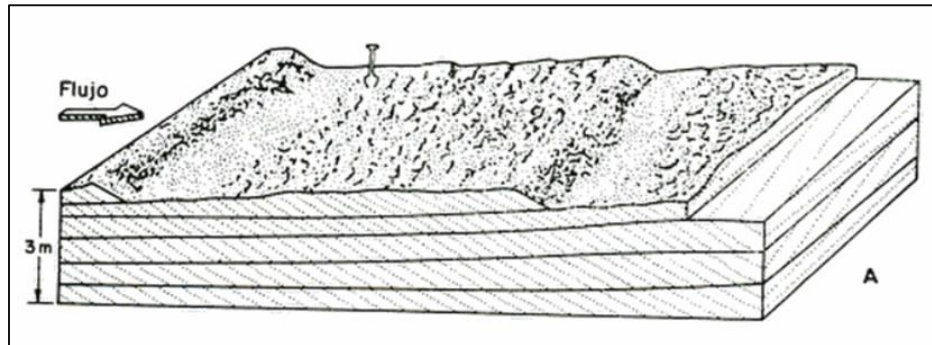


Figura 21. Estratificación sesgada tabular o planar formada por migración de sand waves  
(Anadon 1984)

## Estratificación sesgada en artesa

Estratificación sesgada en artesa o surco, generada por la migración de ripples de cresta sinuosa.

Los ripples presentan diversas morfologías de acuerdo con la velocidad de la corriente generadora y el tamaño de grano. Los ripples formados a menor velocidad presentan crestas rectas y, sucesivamente, cambian a crestas sinuosas conforme la velocidad de la corriente aumenta (Reineck y Singh, 1980)

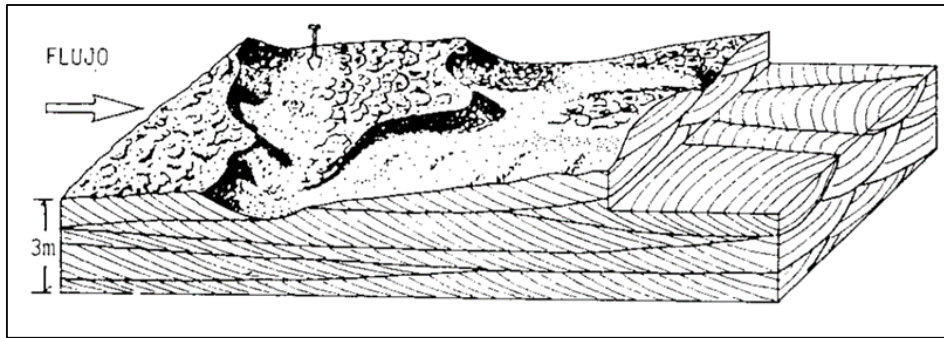


Figura 22. Estratificación cruzada en artesas o surco generada por la migración de megaripples de crestas sinuosas y en forma de media luna (Harms 1975).

### Estratificación Flasher

Son lentes de lodo en una matriz de arena; se debe a condiciones variables en forma cíclica tanto del régimen hidráulico como del aporte de estos dos materiales.

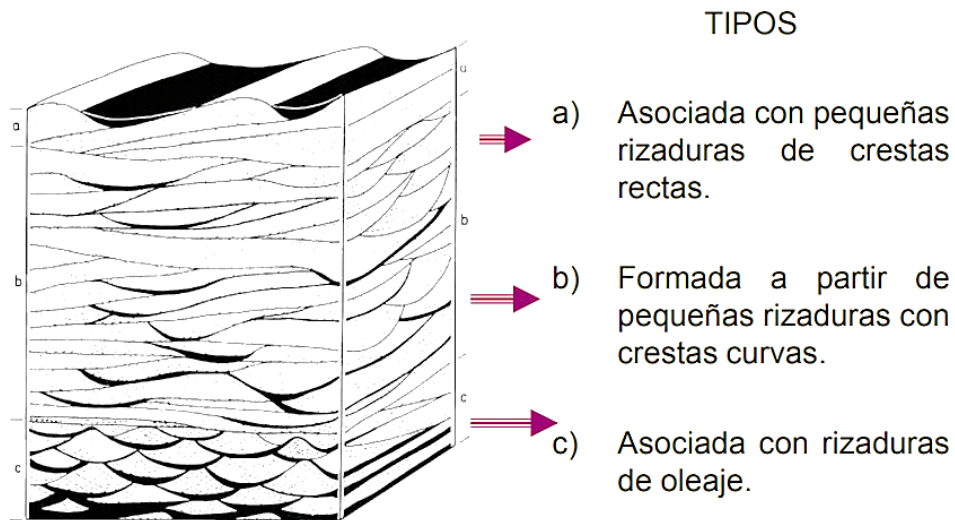


Figura 23. Estratificación flasher (Caballero 2015)

### Estratificación Lenticular

Son lentes de arena en una matriz de lodo; se debe a condiciones variables en forma cíclica tanto del régimen hidráulico como del aporte de estos dos materiales.



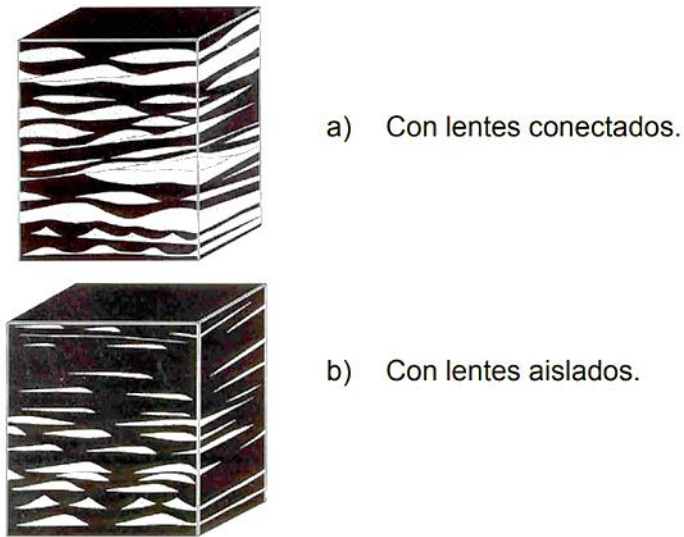


Figura. 24. Estratificación lenticular (Caballero 2015)

### 2.2.8.3. Otras Estructuras.

#### **Paleocanales**

Canal dentro de un sedimento relleno por material posterior. Los ejemplos mejor conocidos provienen de cuencas carboníferas, donde las corrientes erosionaron canales a través de la vegetación que se estaba pudriendo en los sedimentos subyacentes. y fueron posteriormente rellenos con arena, etc. Los paleocanales pueden utilizarse como un criterio de polaridad.

Aparecen en medios sedimentarios muy distintos, desde el medio fluvial a los abanicos turbidíticos abisales, pasando por deltas, llanuras de marea, abanicos aluviales, etc. Son criterio de polaridad y, junto con otros criterios, de paleoambiente (Harms 1975).

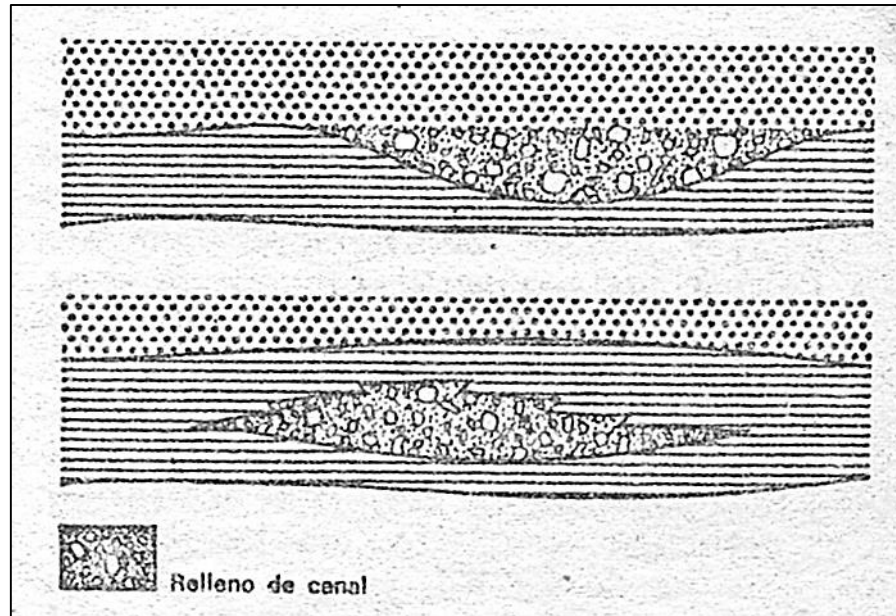


Figura 25. Formación de un paleocanal (Harms 1975).

**Ripple Marks:** Son estructuras sedimentarias que se originan cuando el viento o el agua agitan un sustrato no consolidado como la arena de cubetas poco profundas de agua, playas, etc. originando una serie de ondulaciones perpendiculares a la dirección de la corriente del fluido (Harms 1975)

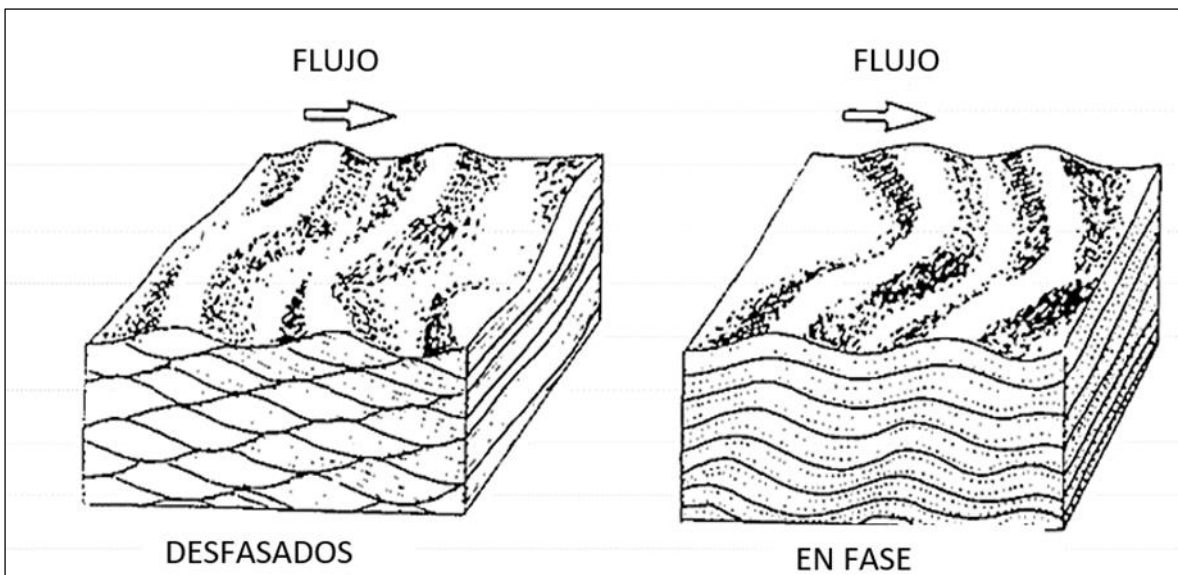


Figura 26. Tipos de ripples en relación con el tipo de sedimento movido por el flujo (Harms 1975).

**Grietas de desecación (mud cracks):** grietas poligonales presentes en materiales arcillosos debido a la contracción provocada por la deshidratación.

**Marcas de gota de lluvia:** producidas por impacto de las gotas de lluvia en una base no consolidada, generalmente limo-arcillosa. Al impactar los sedimentos son lanzados a los lados, dejando pequeños cráteres.

**Marcas de corriente (sole marks):** producidas por vórtices o corrientes turbulentas. Son surcos formados por la erosión de una corriente sobre un fondo arcilloso o limoso, que posteriormente es rellenado por un sedimento de granulometría mayor, normalmente arena, obteniendo el molde en relieve inverso que se conserva en la base de los estratos en sedimentos antiguos.

**Calcos de flujo (flute marks):** surcos discontinuos alargados en dirección del flujo y asimétricos. El extremo proximal es redondeado contornos fuertes. En la zona distal se atenúa el relieve hasta desaparecer.

### **2.2.9. Clasificación de conjunto de las rocas sedimentarias, según Pettijohn (1975) y Folk (1974)**

Las areniscas se clasifican en función de la composición de los constituyentes mayoritarios de los clastos (cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos) y en el porcentaje de matriz. Existe gran cantidad de clasificaciones, pero las más utilizadas son la de Dott, modificada por Pettijohn et al. (1975) y la de Folk (1974)

A continuación, se muestra la tabla empleada para la clasificación macroscópica de las muestras analizadas.

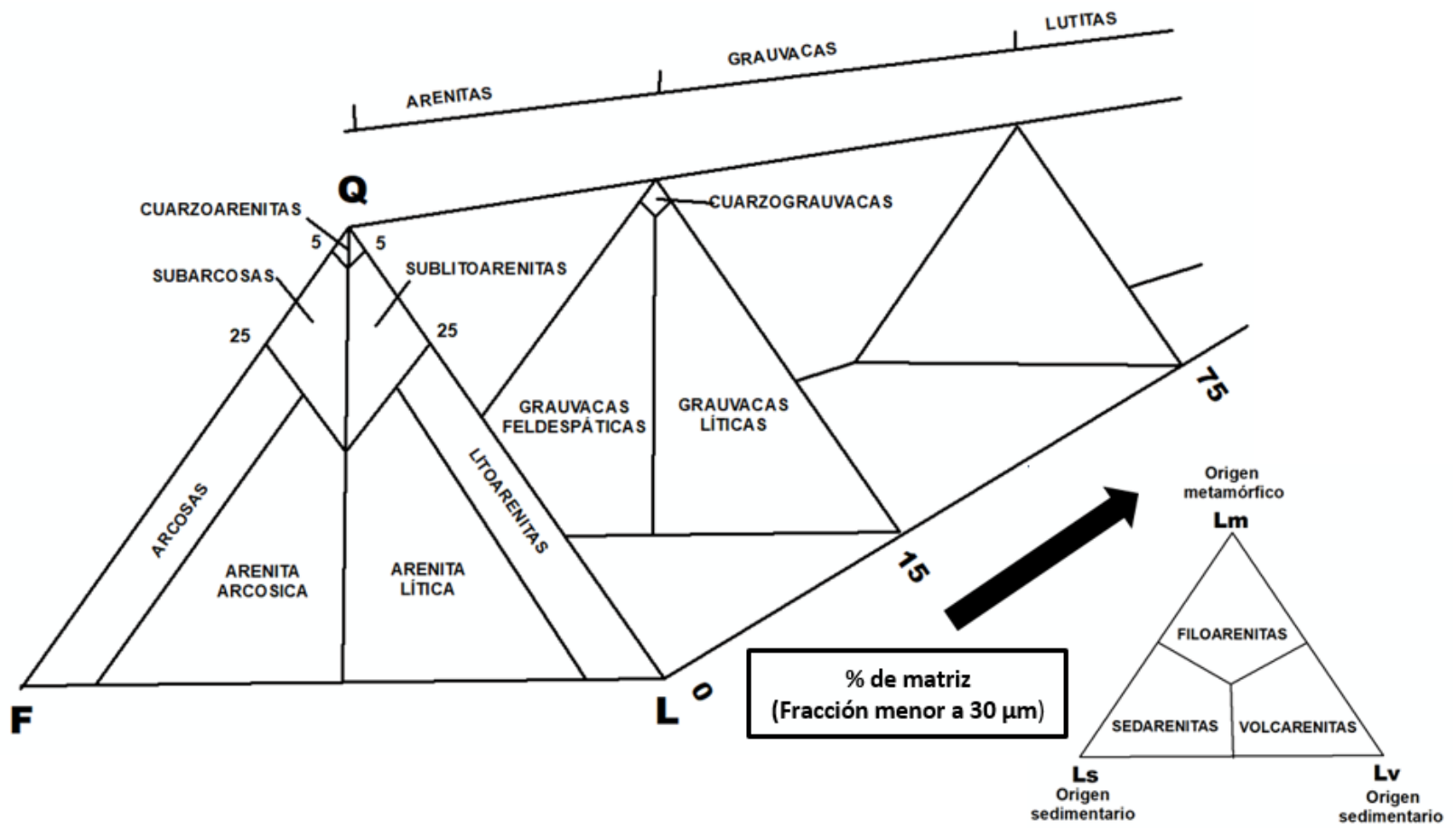


Figura 27. Clasificación de areniscas y grauvacas según su composición (Pettijohn, 1987)

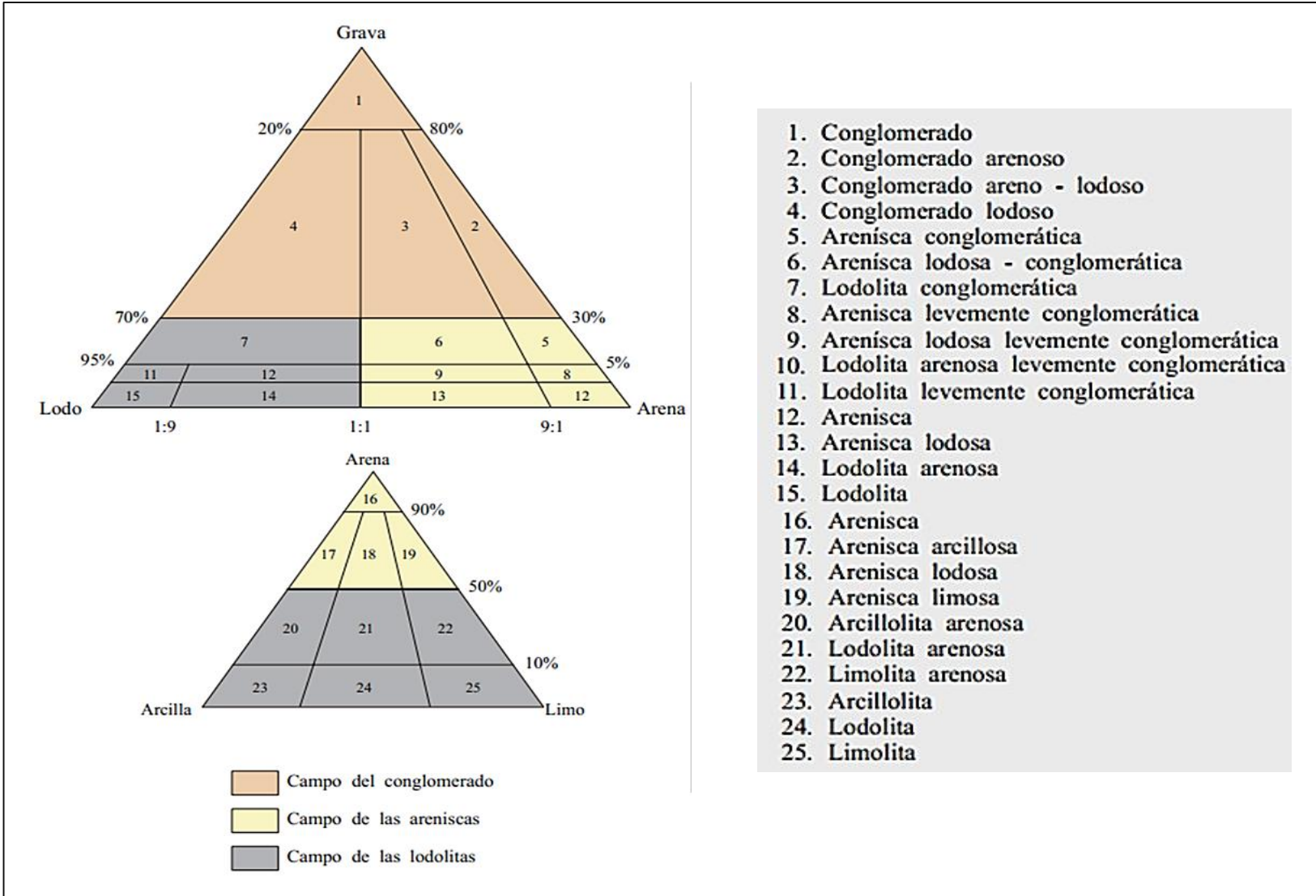


Figura. 28. Clasificación textural, modificada de Folk (1974)

### 2.2.10. Ley o regla de Walther

Las facies que se encuentran superpuestas se encuentran también yuxtapuestas con la misma ordenación. La Ley de Facies de (Walther 1894) nos indica que las facies que aparecen dispuestas en sentido vertical (asociaciones de facies) deben haber sido el producto de ambientes asociados espacialmente. De este modo, dichas facies han sido formadas en ambientes lateralmente adyacentes.

La Ley de Walther tiene una limitación (limitante de Middleton 1973) y es que debe aplicarse a sucesiones en las que no aparezcan interrupciones o discontinuidades mayores. La Ley de Walther es esencial para: Efectuar interpretaciones dinámicas en el modelado de los ambientes sedimentarios y Realizar estudios espaciales sobre la base de correlaciones. (Walther 1984).

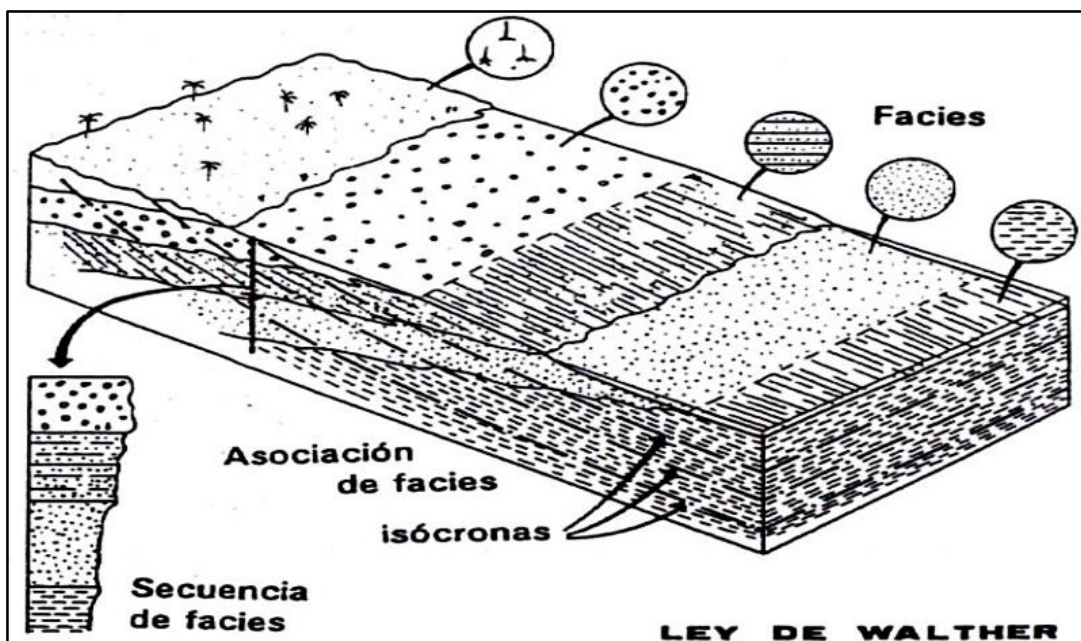


Figura 29: Aplicación de las Ley de Walther (Vera y Torres 1994)



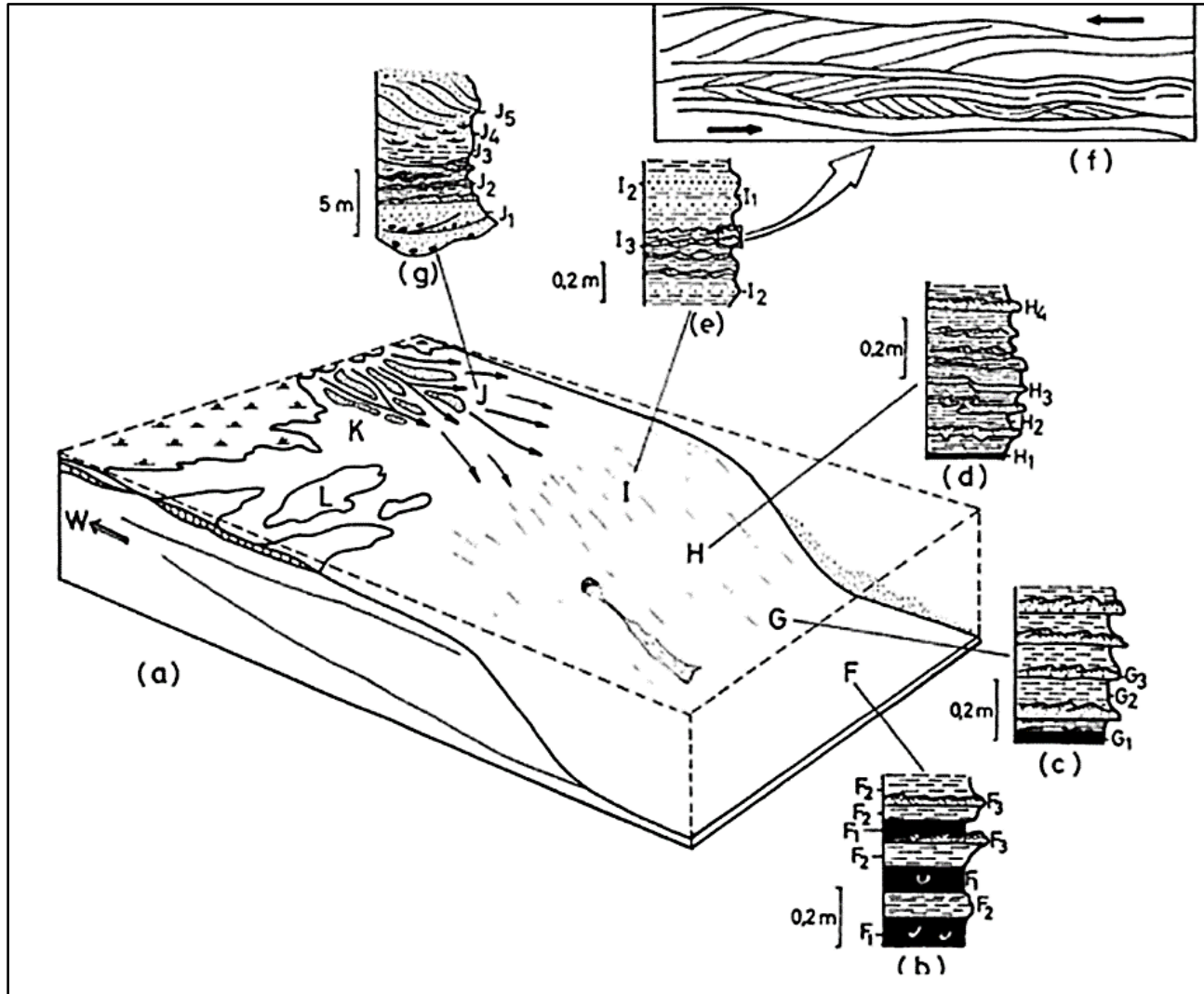


Figura 30. Esquema general de distribución de facies, en emplazamiento de deltas: F-Prodeltas; G-Base del frente deltaico, H-Frente deltaico medio ; I-Frente deltaico superior; J-Llanura deltaica inferior; K-Llanura deltaica abandonada; L-Plataforma carbonatada b) a g) Secuencias elementales (Universidad de Oviedo 1981)

### 2.2.11. La Columna Estratigráfica

Las columnas estratigráficas son representaciones de las variaciones verticales que presentan los cuerpos rocosos en un determinado sitio o región. La comparación entre columnas estratigráficas de diversos sitios o regiones permite conocer los cambios horizontales que presentan los cuerpos rocosos. Se obtienen a partir de: Tienen un carácter cronológico y un sentido reconstructivo sedimentológico (Caballero 2012).

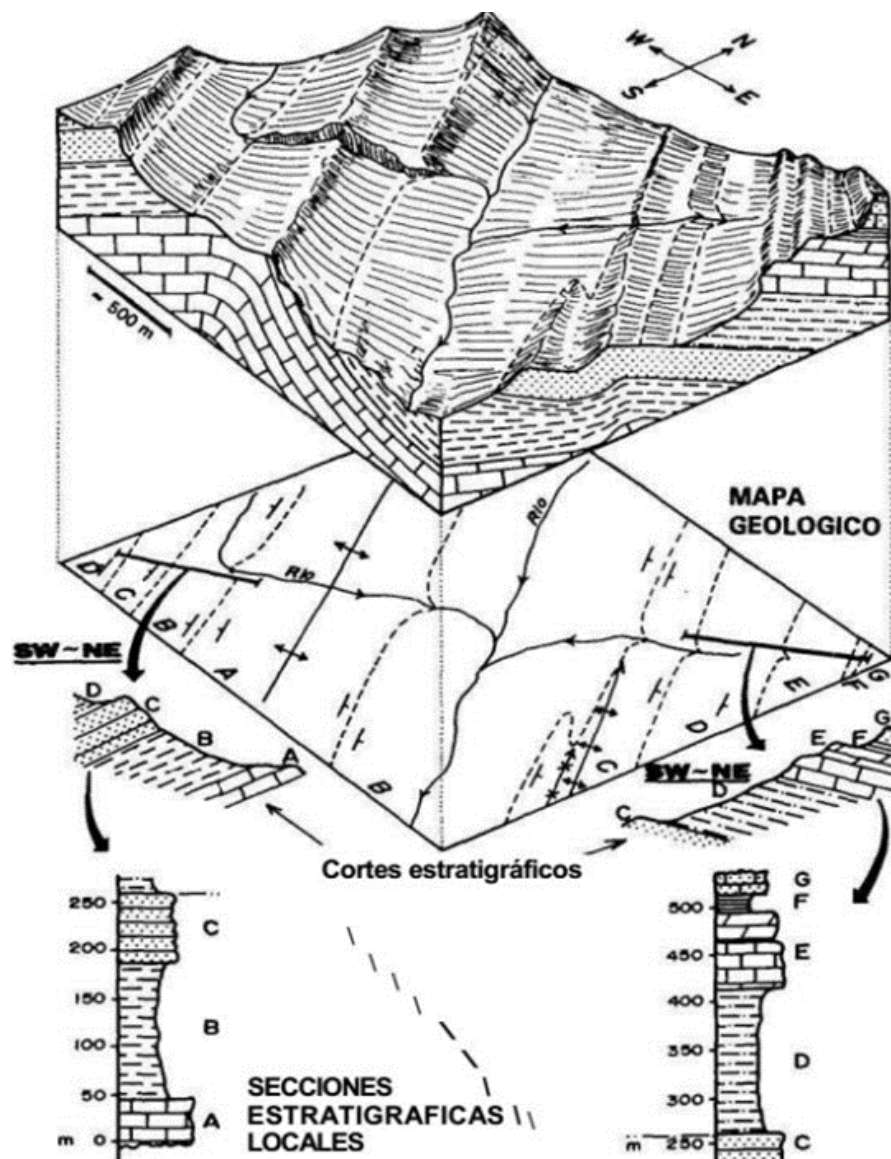


Figura 31. Block diagrama para obtener las secciones estratigráficas (Vera 1994)



### **2.2.12. La correlación estratigráfica**

Según (Vera 1994) dice que “la palabra correlación en el lenguaje normal (no científico) tiene como principal acepción: "correspondencia o relación recíproca entre dos o más cosas". En las ciencias geológicas se usa principalmente en la Estratigrafía para comparar columnas estratigráficas de diferentes zonas.

Según GEI, citado por Vera (1994) dice que correlación es “establecer la correspondencia en carácter y en posición estratigráfica”.

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 (Vera 1994)

### **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

**Ambiente sedimentario:** Conjunto de factores que permiten la depositación de sedimentos y que por procesos posteriores dará como resultado un cuerpo de rocas definibles (Piscote 2014).

**Correlación estratigráfica:** Correspondencia entre dos unidades geológicas tanto por sus propiedades definidas, como por su posición estratigráfica relativa. Debido a que la correspondencia puede estar basada en varias propiedades. Existen tres tipos de correlación básicos que son: litológica, bioestratigráfica y cronoestratigráfica (Rojas 2014).

**Lago:** Masa de agua continental de considerable tamaño, con menores características de flujo que el río y, a causa de su gran volumen, menor contacto relativo, y menos dependencia e interacción con el medio terrestre que la laguna y otros humedales. (Bernáldez 1992).

**Estratificación:** Referida a la disposición de aparecer en estratos sucesivos, englobando los estratos desde el punto de vista genético (intervalos de tiempo de sedimentación) y descriptivo (disposición de capas sucesivas). (Dávila J. 2011)

**Estratigrafía:** La Estratigrafía es la rama de la geología que trata del estudio e interpretación de las rocas sedimentarias, metamórficas y volcánicas estratificadas y de la identificación, descripción, secuencia, tanto vertical como horizontal, cartografía y correlación de las unidades estratificadas de rocas (James H. 1726 – 1797).

**Estructuras sedimentarias:** se refieren a las características más destacadas de un sedimento y dependen más de las relaciones existentes entre los agregados sedimentarios que de las relaciones que hay entre los granos, y que regulan la textura. (Carranza 2012).

**Facies sedimentarias:** constituye un elemento útil para describir los atributos que poseen las rocas sedimentarias, se realiza sobre la base de criterios objetivos y descriptivos. (Torres 1994).

**Laminación:** Disposición sucesiva de láminas dentro de un mismo estrato. Está considerado como una estructura de ordenamiento interno. Distinguiéndose en general la laminación paralela y la laminación sesgada. En base a esta disposición podemos distinguir tres tipos de estratos: masivos sin laminación, con laminación paralela, con laminación sesgada (Dávila, J. 2011)

**Litología:** Es la parte de la geología que estudia a las rocas especialmente de su tamaño de grano, del tamaño de las partículas y de sus características físicas y químicas. Incluye también su composición, su textura, tipo de transporte, así como su composición mineralógica, distribución espacial y material cementante. (GEI 1980).

**Sedimentología:** La Sedimentología es una rama de la Geología que se ocupa del estudio de los procesos de formación y transporte, así como de deposición del material acumulado en forma de sedimento en regiones de tierra o mar, y que generalmente se convierte en rocas sedimentarias. Interpreta los procesos y ambientes de formación

de las rocas sedimentarias, no se encarga de la descripción de las rocas, sino de la interpretación de sus procesos y entornos. Se encuentra estrechamente ligada a la Petrología Sedimentaria y a la Estratigrafía, si bien su objeto de estudio no es la roca en sí (como la Petrología) sino su ubicación dentro de la cuenca sedimentaria, y no se preocupa tanto del tiempo (como la Estratigrafía), sino del medio sedimentario propiamente dicho (James H. 1726 – 1797).

**Sucesión Estratigráfica:** Se trata de estudiar los materiales del estrato, la delimitación de la unidad, ordenación temporal, a fin de levantar una serie estratigráfica de los estratos de la localidad, lo más exacta posible. La ordenación temporal se lleva a cabo colocando los más antiguos abajo y los más modernos arriba. (Dávila 2011).

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

El área de estudio se encuentra ubicada en la sierra norte del Perú, en el departamento y provincia de Cajamarca, Distrito de la Encañada, específicamente entre los 3500 y 3800 msnm. Los vértices que delimitan su área son los siguientes:

Tabla 01: Coordenadas UTM de la ubicación en la investigación.

<b>Vértices</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
1	9221000	795000
2	9226000	795000
3	9226000	804000
4	9221000	804000

##### **3.1.2. UBICACIÓN POLÍTICA**

El área de estudio corresponde los sectores de Michiquillay, Tuyupampa, Jatunsacha el Punre y Quinuayoc, pertenecientes a la Comunidad de Michiquillay, en la zona SE del Distrito de la Encañada, Provincia y Departamento de Cajamarca.

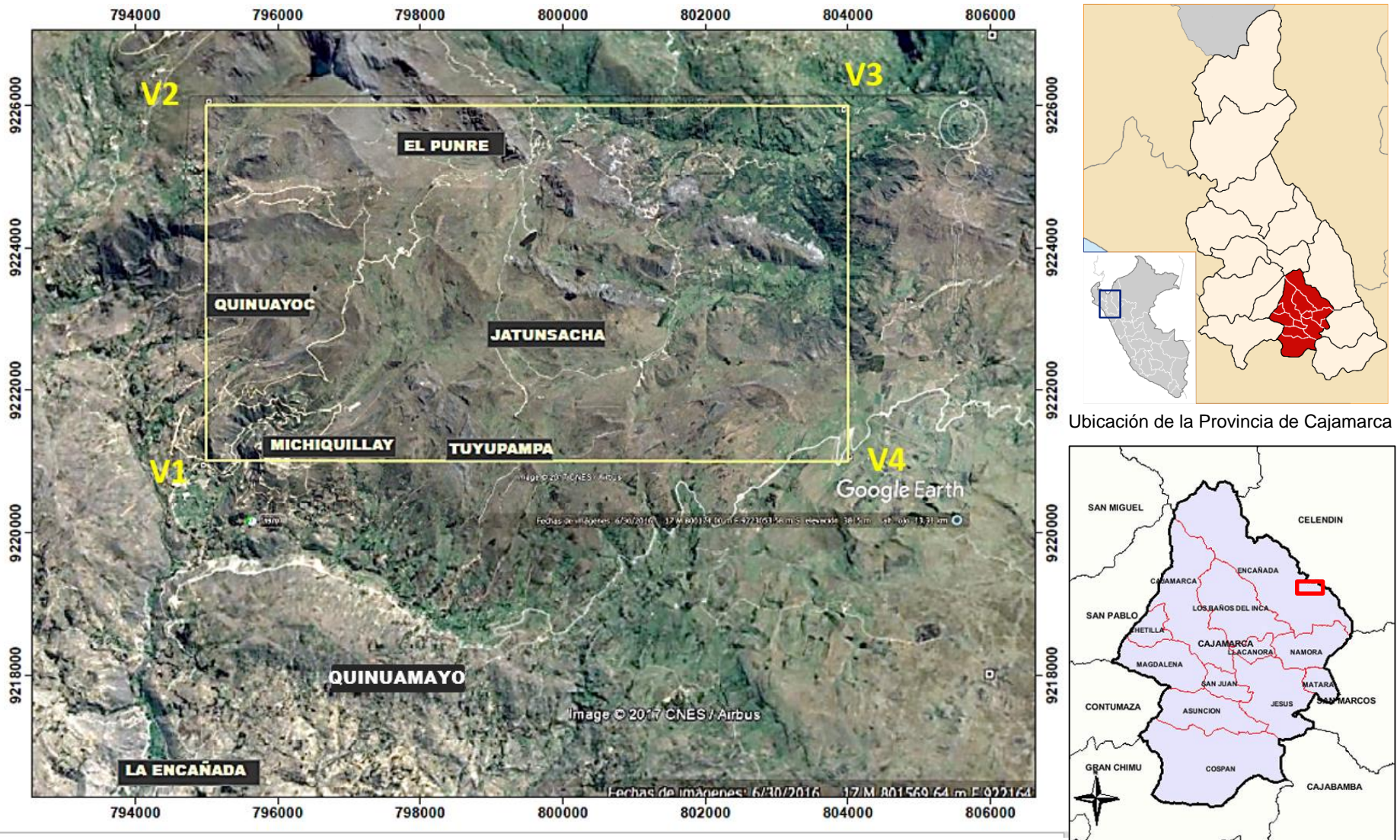


Figura 32. Ubicación del área de estudio.

### 3.1.3. ACCESIBILIDAD

El acceso a la zona de estudio es mediante carreteras asfaltadas y afirmadas.

En la tabla N° 03 se especifica el tipo y la longitud de la carretera en cada tramo.

Tabla 02: Vías de acceso a la zona de estudio

TRAMO	TIPO DE CARRETERA	LONGITUD (Km)
Cajamarca - La Encañada	Carretera asfaltada	32
La Encañada - Quinuamayo	Carretera asfaltada	11
Quinuamayo - Tuyupampa	Carretera afirmada	9
Tuyupampa- El Punre	Carretera afirmada	5
El Punre-Michiquillay	Carretera afirmada	11
LONGITUD TOTAL		68



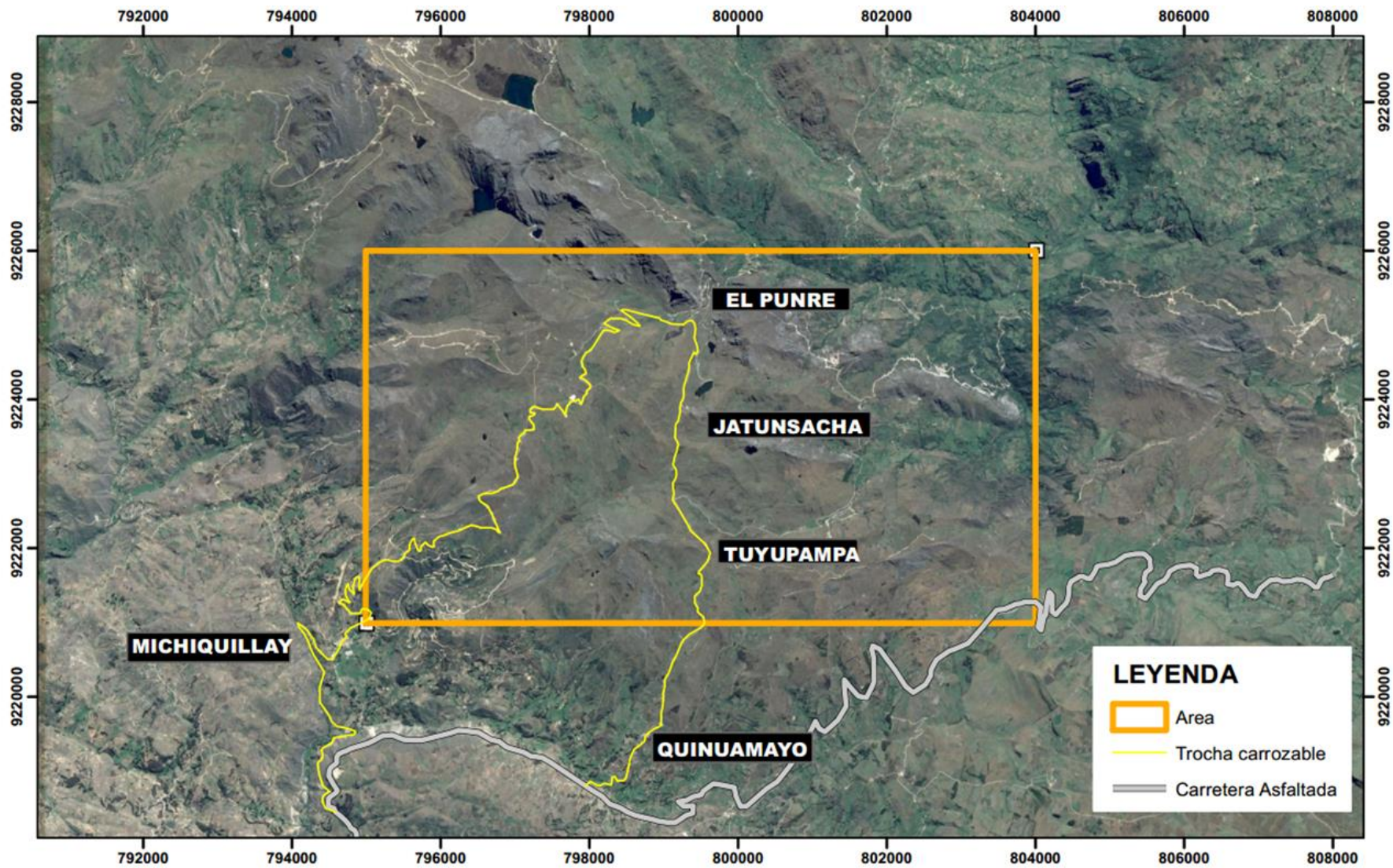


Figura 33. Accesibilidad a la zona de estudio

## **3.2. PROCEDIMIENTOS**

### **A. ETAPA DE GABINETE**

Esta etapa consistió en la revisión de toda la información existente de trabajos realizados sobre el área de estudio. Se realizó una revisión y análisis minucioso sobre las técnicas aplicadas para la medición de unidades estratigráficas. La información recolectada fue ordenada, procesada e interpretada, poniendo principal énfasis en la información concerniente a la estratigrafía y sedimentología, conceptos que sirven como base teórica del presente estudio.

Se realizó la elaboración de los planos topográficos, geológicos e imágenes satelitales a escala 1/25 000 referentes al área de estudio.

Se determinaron los instrumentos a utilizar; así como también la metodología a seguir para la realización de la investigación.

### **B. ETAPA DE CAMPO**

Se realizará un reconocimiento general del área de estudio, para luego realizar el análisis de los estratos, identificando estructuras sedimentarias (internas, techo, piso), facies sedimentarias, el tipo de geometría y asociación de los estratos y tipo de litología.

Se realizarán medidas como: rumbo y buzamiento de los estratos, con su respectiva toma de coordenadas con el GPS en el sistema UTM. Datum: WGS 84, se medirá también el espesor de la secuencia estratigráfica de la Formación Carhuaz, señalando los niveles en que cambia su carácter (litología, color, facies, etc.). Finalmente se efectuará el procesamiento inicial de la información registrada representándola en una columna estratigráfica y perfil geológico, para su posterior interpretación.

### **C. ETAPA DE GABINETE FINAL**

Se realizará el procesamiento e interpretación de la información obtenida en campo, y elaboración del estudio estratigráfico de las zonas de estudio.



Para el procesamiento de los datos, se hará uso del software ArcGis 10.2.2 para la elaboración de perfiles, columnas estratigráficas y los diversos planos)

Luego se procederá con el análisis y descripción macroscópica de rocas (litología, textura, tamaño de grano, composición de granos. Finalmente, Esta etapa comprende la redacción final de la tesis, para la presentación y sustentación de la misma.

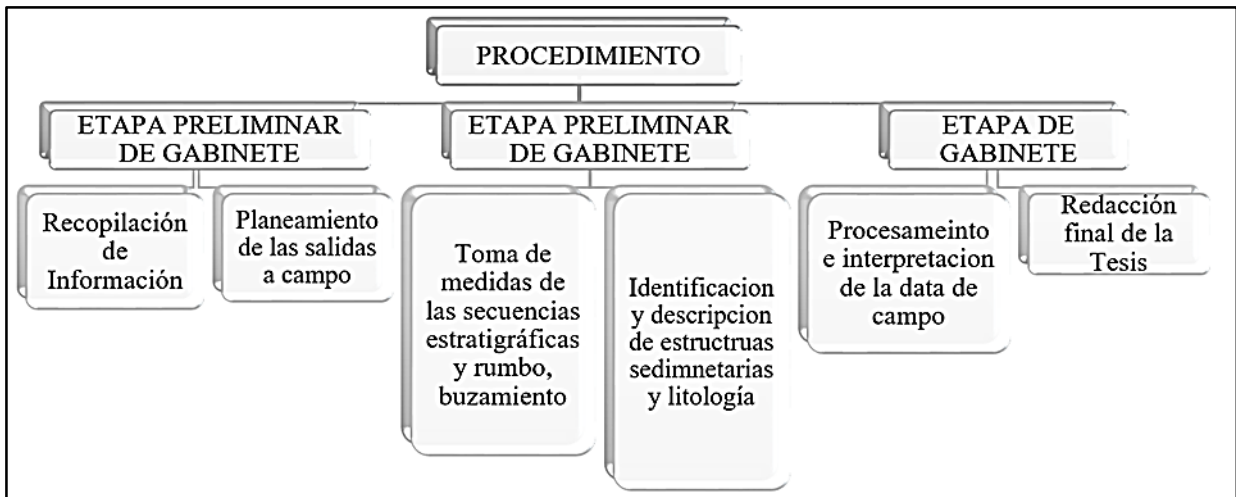


Figura 34. Etapas de la investigación.

### 3.2.1. METODOLOGÍA

El tipo de investigación será de nivel Descriptiva / Comparativa, ya que se describirá diversos aspectos tanto en campo como en laboratorio para compararlos según la litología, cambios de facies, la ubicación y posición de las secuencias estratigráficas, ya que se centra en la observación directa en campo, sin pruebas de laboratorio, de parámetros geológicos; también la investigación será de nivel Correlativa- Explicativa porque nos permitirá determinar la relación y correspondencia litoestratigráficas que existe en la zona de estudio para luego explicar cómo ocurrieron ciertos fenómenos y en qué condiciones se formaron ciertas características encontradas en el área de estudio.

### 3.2.2. DEFINICIÓN DE VARIABLES

Las variables independientes y dependientes de la investigación se especifican en la siguiente tabla.

Tabla 03: Variables independientes y dependientes.

Variables Independientes (Causa)	Variable Dependiente (Efecto)
Estructura sedimentaria Facies sedimentarias Columna Estratigráfica Secuencias Litológicas Tiempo Geológico	Caracterización Sedimentología Estratigrafía

### 3.2.3. TÉCNICAS

Las técnicas que se emplearán para la recolección de datos se detallan a continuación



Figura 35. Técnicas de la investigación

### 3.2.4 INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

Los equipos y materiales empleados durante el desarrollo de la presente tesis se detallan a continuación:

#### A. INSTRUMENTOS

Planos: Topográfico, geológico, satelital.

Libreta de campo

Formatos de descripción petrográfica.

Papel Bond A4

## **B. EQUIPOS**

Brújula Brunton 5006 Lm.

GPS Navegador Garmin Map64s.

Martillo de Schmidt

Cámara fotográfica Canon 12 Mpx Zoom óptico 10X

Impresora láser EPSON I375

Picota de geólogo para obtener las muestras de roca.

Tablero

Lupa 20X

Protactor de 4 escalas.

Materiales de oficina como lápiz, lapiceros, borrador, colores y otros.

Set de reglas.

### **3.3. DESCRIPCIÓN DEL MARCO ESTRATIGRÁFICO REGIONAL**

Lagos y Quispe (2007). La pila sedimentaria se inicia con el Grupo Goyllarisquizga conformada por las formaciones: Chimú, Santa, Carhuáz y Farrat, seguida de la Formación transgresiva Inca, Chúlec, Pariatambo, Yumagual, Quillquiñán - Mujarrun, Cajamarca y Celendín. La Formación Chimú: se depositó en un ambiente continental deltaico. La Formación Santa en ambiente marino somero (limoarcillitas y lutitas) y representa una transgresión marina de corta duración. La Formación Carhuaz: de ambiente típico lacustrino (limoarcillitas), abundante bioturbación, laminación cruzada y grietas de desecación. La Formación Farrat: presenta areniscas granocreciente del tipo facies deltaicas. La Formación Inca: Intercalación de arcillitas y limoarcillitas y escasos niveles de areniscas, hacia la parte superior, es una secuencia netamente transgresiva y somero. La Formación Chúlec: calizas, margas, calizas nodulares con abundantes fósiles, depositado en un ambiente marino poco profundo. La Formación Pariatambo: Intercalación de margas y calizas nodulares, propio de en un ambiente marino de mayor profundidad que. la Formación Yumagual: Compuesta por calizas, margas, de ambiente marino somero. Las formaciones: Quillquiñán - Mujarrun: Lutitas

calcáreas, calizas y margas, ocurrido en un ambiente marino de menor profundidad que la Formación Pariatambo. “El mayor aporte terrígeno se debe tal vez a la cercanía del área de aporte del borde continental” (D. Borkowski, 1994). La Formación Cajamarca: calizas macizas casi sin aporte terrígeno considerable, se ha depositado en ambiente marino profundo. La Formación Celendín: Intercalación de capas delgadas de calizas, margas y lutitas y abundante aporte terrígeno.

ERA	SISTEMA	UNIDAD LITOLOGICA	ESPESOR (m)	LITOLOGIA	DESCRIPCION	% DETRITOS			AMBIENTE SEDIMENTARIO							
						25	50	75	CONTINENTAL	TRANSICIONAL	MARINO (-) (+)					
MESOZOICO	SUPERIOR	FORMACION CELENDIN	120		Capas delgadas de arcillitas calcareas, margas y calizas de coloración gris crema a gris marrón, estratos delgados,abundante aporte terrigeno.											
		FORMACION CAJAMARCA	390		Calizas macizas en estratos gruesos, coloración gris oscuras.a gris azuladas, el aporte terrigeno disminuye.  Calizas puras, coloración gris oscuras. A gris azuladas, el aporte terrigeno disminuye.  Calizas macizas puras, abundantes vetillas de calcita intercalada con estratos delgados de arcillitas.											
		FORMACION: QUILQUINAN-MUJARRUN	110		Arcillitas gris amarillentas intercaladas con margas y calizas gris marrones, abundante aporte terrigeno, abundantes fósiles											
		FORMACION YUMAGUAL	200		Calizas areniscosas, margas y arcillitas calcareas de color gris gris marrones, estratos grueso y delgados bien definidos											
	INFERIOR	FORMACION PARIATAMBO	175		Calizas nodulares gris oscuras en estratos delgados intercaladas con poca arcillitas calcareas en estratos delgados											
		FORMACION CHULEC	305		Calizas areniscosas, margas y arcillitas calcareasde color gris gris marrones, estratos grueso y delgados bien definidos  Intercalación de calizas y margas en estratos delgados abundantes de restos fósiles.											
		FORMACION INCA	80		Areniscas ferruginosas,arcillita gris rojizas abundantes fósiles mal conservados.											
		GRUPO GOYLLARISQUIZGA	FORMACION FARRAT	300		Areniscas grano medio a conglomerado fino,estratos gruesos,intercalación de areniscas ferruginosas con arcillitas gris amarillentas y gris rojizas,  Areniscas grano fino intercalada con arcillitas gris verdosas en estratos gruesos de un metro aprox.										
			FORMACION CARHUAZ	345		Areniscas grano fino gris verdosas, estratos delgadoscon bioturbacion, de aspecto sucio, intercalado con arcillita y limoarcillitas gris verdosas y gris rojizas  Limoarcillitas gris rojizas con nódulos de oxido de hierro, estaticación sesgada  Estaticación típica de un ambiente en proceso de de desecación.										
			FORMACION SANTA	80		Arcillitas gris azulinas a gris oscuras,muy fisibles intercalado con arcillitas gris verdosas.										
			FORMACION CHIMU	300		Areniscas grano fino, gris blanquecinas con niveles de oxidación, pasa en forma transicional a la formacion Inca.  Areniscas ,grano fino estratos de 50 cm. intercalado con niveles de arcillitas gris verdosas ,  Areniscas, grano fino, gris blanquecinas, estaticación cruzada,										

Figura 36. Columna estratigráfica generalizada (Lagos y Quispe 2007)

### 3.3.1. GEOLOGÍA LOCAL

En el área de estudio se pueden apreciar las formaciones geológicas pertenecientes al Cretáceo Inferior, las cuales están dentro de los Grupos Goyllarisquizga (Formaciones Chimú, Santa, Carhuáz, Farrat), el Grupo Crisnejas (Formaciones Inca, Chúlec y Pariatambo).

En la siguiente imagen se observa una columna estratigráfica generalizada de Cajamarca, indicando las unidades geológicas identificadas.

#### 3.1.1.1 GRUPO GOYLLARISQUIZGA

##### 3.3.1.1.1 FORMACIÓN CHIMÚ

La Formación Chimú, aflora yaciendo mayormente en forma concordante, sobre la formación Chicama (lo más probable es que exista una discordancia paralela) e infrayaciendo con igual carácter a la Formación Santa. (Benavides 1956).

Litológicamente esta formación está constituida por areniscas cuarzosas compactas gris blanquecinas. En la zona de estudio se observan estratos de areniscas de la Formación Chimú en el Sector el Punre, al Noreste de la zona de estudio.



Figura 37. Estratos de la Formación Chimú, observadas en el Sector el Punre.

A la Formación Chimú se lo ubica en el Barresiano – Valanginiano inferior a medio (INGEMMET 1995).

Por sus características litológicas areniscas de color gris blanquecinos estratos gruesos, macizos y presencia de carbón son típicos de un ambiente Playero a Continental. (Lagos y Quispe 2007).

#### **3.3.1.1.2 FORMACIÓN SANTA**

La Formación Santa sobreyace a la Formación Chimú e infrayace a la Formación Carhuáz, en ambos casos con discordancia paralela (Benavides 1956).

Litológicamente consiste en una intercalación de lutitas, calizas margosas y areniscas gris oscuras. En la zona de estudio no se observan sus afloramientos puesto que se hallan completamente cubiertos por suelos.

A la Formación Santa se lo ubica en el Valanginiano – Hauteriviano (INGEMMET, 2007).

Esta Formación es típica de un Ambiente Marino Somero, representando una transgresión marina de corta duración (Lagos y Quispe 2007).

#### **3.3.1.1.3 FORMACIÓN CARHUÁZ**

La Formación Carhuáz yace con suave discordancia sobre la Formación Santa e infrayace concordantemente a la Formación Farrat (Benavides 1956).

Litológicamente esta formación está compuesta por una alternancia de arcillolitas, limolitas y areniscas de grano fino a medio.

En la zona de estudio esta formación se encuentra ampliamente distribuida en los sectores Tuyupampa, Jatunsacha y Quinuayoc.





Figura 38. Estratos de capas de areniscas rojizas intercaladas con arcillolitas grises de la Formación Carhuáz, observados en el sector Tuyupampa, cerca al cruce de la carretera que va a Micuyupampa.

La Formación Carhuáz se depositó en un ambiente típico lacustrino (Lagos y Quispe 2007).

Para la Formación Carhuáz se asume edades del Hauteriviano y Barremiano. (Wilson 1967)

#### **3.3.1.1.4 FORMACIÓN FARRAT**

La Formación Farrat suprayace con aparente concordancia a la Formación Carhuaz y subyace con la misma relación a la Formación Inca, dando la impresión en muchos lugares, de tratarse de un paso gradual y de edad Aptiana (Benavides 1956).

Litológicamente esta formación está compuesta por areniscas blanquecinas de grano medio a grueso. Se observan afloramientos de la Formación Farrat conformando escarpas y cumbres principalmente en los sectores de Michiquillay y Tuyupampa.



Figura 39. Contacto entre las Formaciones Carhuáz y Farrat observados en el Sector Michiquillay.

La formación Farrat se ha depositado en un ambiente litoral-playero (Lagos y Quispe 2007).

Para la Formación Farrat se asume edades del Hauteriviano y Barremiano. (Wilson 1967).

#### **3.3.1.1.5 FORMACIÓN INCA**

La Formación Inca infrayace concordantemente a la Formación Chúlec y suprayace con la misma relación a la Formación Farrat, con un aparente paso transicional. En diversas zonas de Cajamarca se ha observado que gradualmente se intercalan areniscas calcáreas con lutitas ferruginosas, dando en superficie un matiz amarillo-anaranjado, con evidente acción de limonitización (Benavides 1956)

En la zona de estudio sus afloramientos no se observan puesto que se encuentran completamente cubiertos por material cuaternario.

### 3.3.1.2.- GRUPO CRISNEJAS

#### 3.3.1.2.1. FORMACIÓN CHÚLEC

La Formación Chúlec suprayace concordantemente a la Formación Inca e infrayace con la misma relación a la Formación Pariatambo (Benavides, 1956).

Litológicamente esta formación está compuesta de una secuencia bastante fosilífera de calizas arenosas, arcillolitas calcáreas y margas, que por intemperismo adquieren un color crema-amarillento. Localmente la Formación Chúlec se observa en la zona de Michiquillay, aflorando en los ríos de Chulluamayo y Quinuamayo.



Figura 40. Estratos de calizas arenosas intercaladas con arcillolitas calcáreas de la Formación Chúlec observados en el Sector Michiquillay.

#### 3.3.3. ROCAS INTRUSIVAS

En la zona de estudio afloran una serie de pórfidos de composición cuarzo-diorita que se hallan emplazados en las secuencias sedimentarias. En base a la distribución espacial, el sentido de la evolución geocronológica y las similitudes geoquímicas se piensa que estos cuerpos ígneos están controlados por la falla Punre-Canchis (Ribera 2008).



Se observa que la roca intrusiva que constituyen a los pórfidos se caracteriza por presentar abundancia de fenocristales de plagioclasa (45%), menor contenido de cuarzo (10%) y escaso feldespatos alcalinos (5%), se observa también la presencia de placas negras de biotita.



Figura 41 .A) Pórfido cuarzodiorita identificado en el sector de Tuyupampa, cerca al cruce que va a Micuyupampa (izquierda), B) muestra de mano del pórfido (derecha)

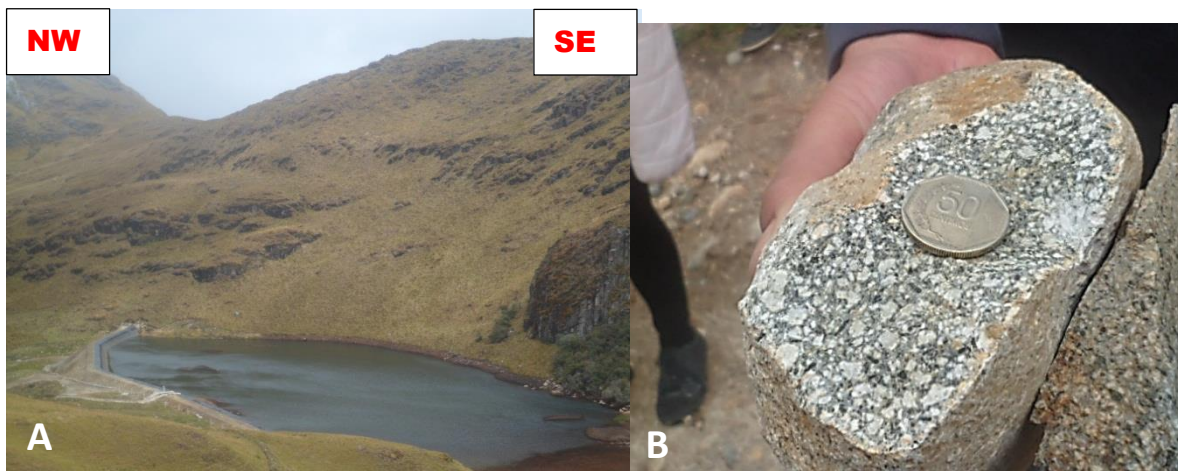


Figura 42. A) Pórfido cuarzodiorita en contacto con estratos de la Formación Chimú. Este intrusivo se observa en el sector el Punre, B) Muestra de mano del pórfido.

### 3.4.-GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Los planos de estratificación de las formaciones geológicas identificadas en la zona de estudio presentan una orientación NW-SE, las cuales, debido a la considerable actividad tectónica ocurrida durante el Mioceno, hace aproximadamente 23 Ma (Pardo-

Casas y Molnar 1987) se ven afectados por una serie de estructuras como pliegues y fallas.

El Principal control estructural lo constituiría la Falla Punre (ubicada al NE del área de estudio) y sus sistemas de fallas asociadas que presentan orientación NW-SE.

Las secuencias estratigráficas de la formación Carhuáz se observan ampliamente distribuidos en la zona de estudio, constituyendo el bloque techo de las fallas inversas asociadas a la falla Punre.

Los análisis del sistema de fallas geológicas identificadas en campo nos permitieron realizar la interpretación de las secuencias sedimentarias de la Formación Carhuáz.

En las siguientes secciones geológicas realizadas se observan los principales controles estructurales identificados.

### **3.5. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS**

Se identificaron las estructuras sedimentarias en la Formación Carhuáz, para lo cual se analizó la disposición geométrica de los elementos que constituyen los sedimentos.

Este análisis resulto esencial ya que a partir de este se pueden deducir los procesos, las condiciones de depósito, la dirección de las corrientes y los estratos que les dieron origen.

#### **3.5.1. LAMINACIÓN**

Son capas muy finas cuyo espesor es de varios o incluso, de un solo grano de sedimentos. Estas estructuras son producto de las fluctuaciones de las corrientes, cambios climáticos o por la erosión y un sepultamiento rápido que las protege de la destrucción.

Estas estructuras nos permiten identificar el ambiente de deposición.

En la zona de estudio se identificaron laminaciones sesgadas y paralelas.

### 3.5.1.1. LAMINACIÓN PARALELA

Se identificaron laminaciones paralelas en estratos de areniscas de grano fino a medio. Estas constituyen capas paralelas a las superficies limítrofes del estrato y, asimismo paralelas entre sí, la cual es producida por un cambio brusco en la granulometría.



Figura 43. Laminación paralela observada en estratos de arenisca ubicados en el Sector Tuyupampa.

### 3.5.1.1.1. LAMINACIÓN SESGADA

En estratos de arenisca se identificaron esta serie de láminas o capas oblicuas en su interior que constituyen este tipo de laminación.



Figura 44. Laminación sesgada en estrato de areniscas ubicado en el sector de Tuyupampa.



### 3.5.2. ESTRATIFICACIÓN

Se realizó la descripción y análisis de la disposición de estratos sucesivos, desde el punto de vista genético y descriptivo.

Dentro de los tipos de estratificación se identificaron los siguientes

#### 3.5.2.1. ESTRATIFICACIÓN PARALELA

Este tipo de estratificación es la más representativa, en esta las superficies de estratificación son paralelas entre sí.



Figura 45. Estratificación paralela observada en afloramiento de la formación Carhuáz cerca al cruce a Micuypampa.

#### 3.5.2.2. ESTRATIFICACIÓN SESGADA PLANAR

Se pudo observar en sectores que las superficies de estratificación planas no se presentan paralelas entre sí.



Figura 46. Estratificación sesgada en areniscas observadas en sector Michiquillay.

### 3.5.2.3. ESTRATIFICACIÓN SESGADA EN ARTESA

Se identificó que algunas estructuras presentan las superficies de sedimentación de manera curva, en forma de lentes y/o canales, este tipo de estratificación es conocida como estratificación lenticular.



Figura 47. Estratificación lenticular en secuencia de areniscas y arcillolitas en el sector de Tuyupampa.



### 3.5.3. RIPPLES

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



Figura 48. Ripples de oscilación observados en estrato de areniscas.

### 3.6. DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA DE LA FORMACIÓN CARHUÁZ

A continuación, se desarrolla una descripción macroscópica de las muestras extraídas de campo, para lo cual se usa la tabla de (Pettijohn 1957), (Krumbein y Sloss 1963), (Hatch y Rastall 1965) y (Vatan 1967). Tanto para las areniscas, limolitas y arcillolitas de la Formación Carhuáz.

Esta descripción sirvió como base para definir las secuencias estratigráficas que constituyen a la Formación Carhuáz en la zona de estudio.

## MUESTRA 01

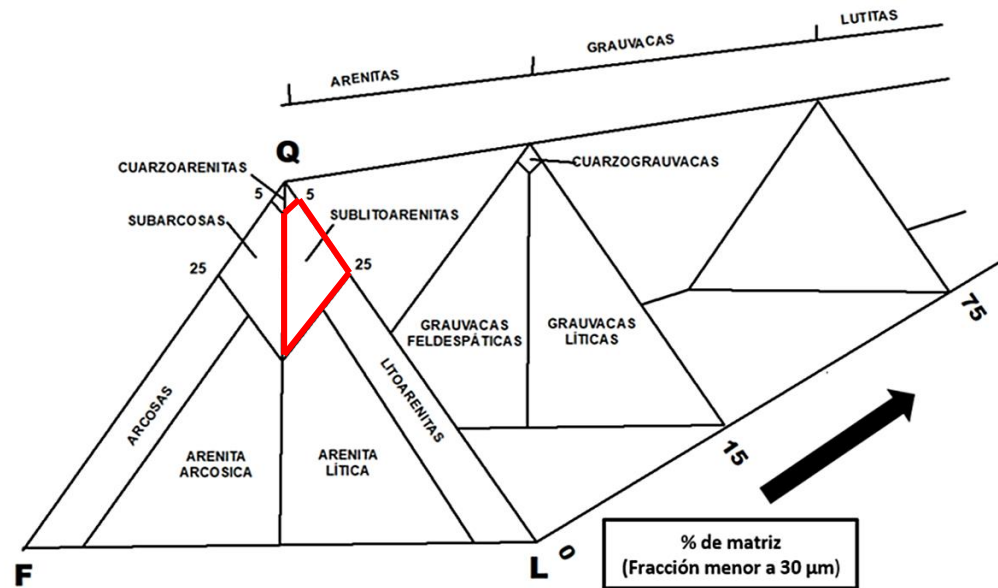
Según la clasificación de Pettijohn, estas areniscas se denominarían sublitoarenitas, ya que presentan menos del 15% de matriz fina y su contenido de cuarzo es aproximadamente del 80%. Se observa presencia de óxidos.



Figura 49. Muestra de sublitoarenita.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA		
ESTE	NORTE	COTA (msnm)
798506	9225025	3704

Clasificación de areniscas y grauvacas según su composición (Pettijohn, 1987)



## MUESTRA N° 02

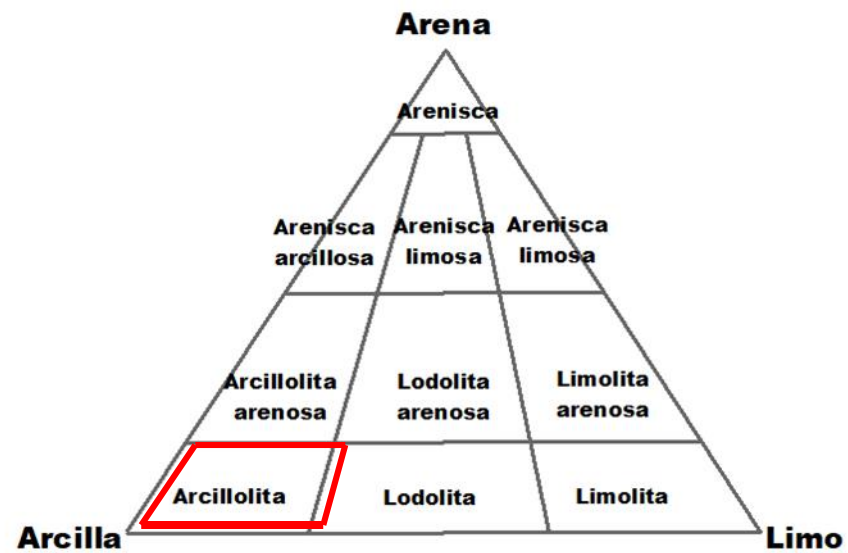
Según la clasificación de Folk (1974), la muestra se clasifica como arcillolita bituminosa, ya que presenta granos finos, del tamaño de la arcilla y alto contenido de materia orgánica.



Figura 50. Arcillolitas bituminosas

UBICACIÓN GEOGRÁFICA		
ESTE	NORTE	COTA
798248	9224963	3775

Clasificación textural, modificada de Folk (1974)





### MUESTRA N° 03

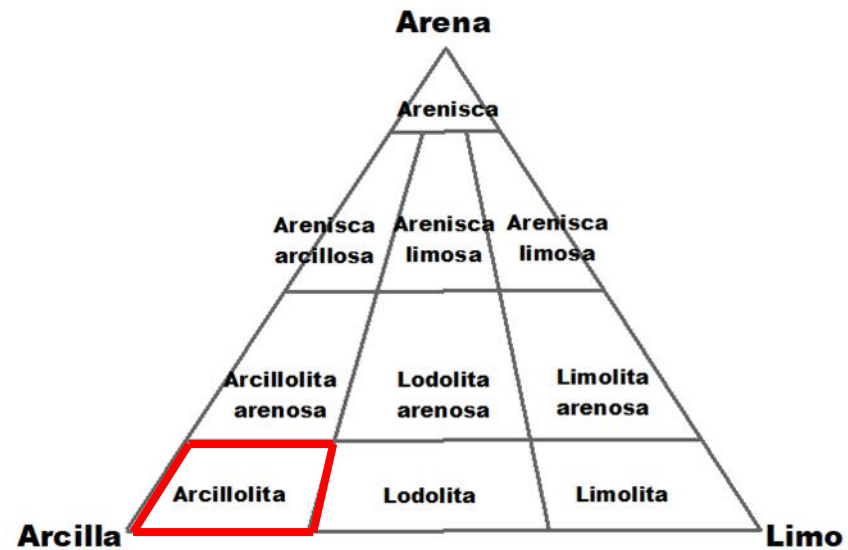
Según la clasificación de Folk (1974), la muestra se clasifica como arcillolita, presenta tamaño de grano fino. Las arcillolitas son gris- pardas y altamente fisibles.



Figura 51. Arcillolitas gris pardas.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA		
ESTE	NORTE	COTA (msnm)
799125	9222457	3824

Clasificación textural, modificada de Folk (1974)



## MUESTRA N° 04

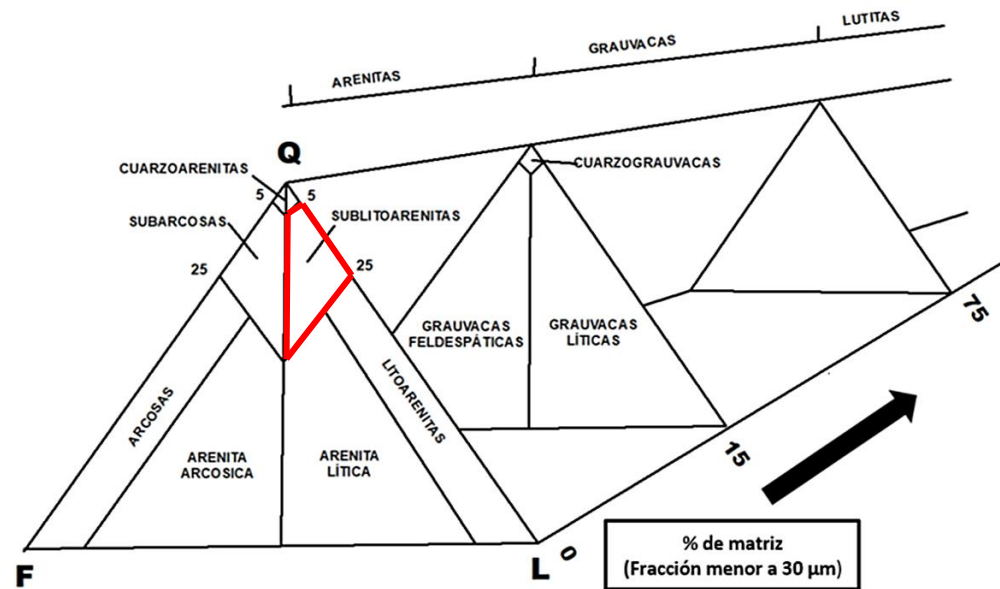
Según la clasificación de Pettijohn, estas areniscas se denominarían sublitoarenitas, ya que presentan menos del 15% de matriz fina y su contenido de cuarzo es aproximadamente del 85 %.



Figura 52. Sublitoarenita de grano medio.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA		
ESTE	NORTE	COTA (msnm)
799408	9222061	3842

Clasificación de areniscas y grauvacas según su composición (Pettijohn, 1987)



## MUESTRA N° 05

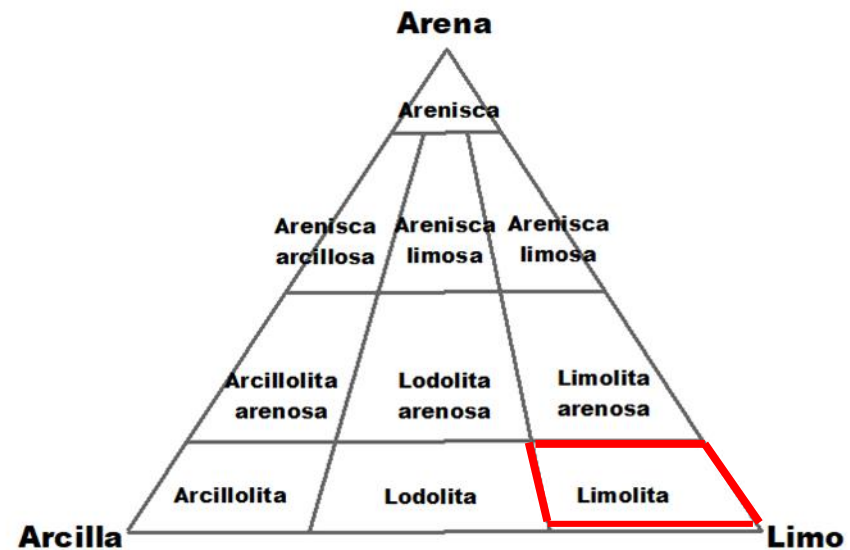
Según la clasificación de Folk (1974), la muestra se clasifica como limolita, está constituida por granos finos del tamaño del limo. Presenta una coloración pardo amarillenta.



Figura 53. Limolita pardo amarillenta

UBICACIÓN GEOGRÁFICA		
ESTE	NORTE	COTA (msnm)
799326	9222147	3831

Clasificación textural, modificada de Folk (1974)





## MUESTRA N° 06

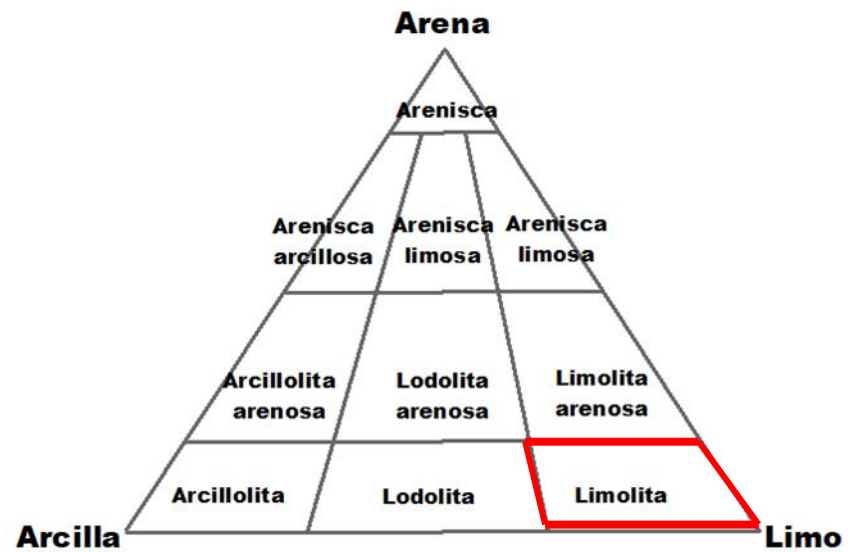
Muestra de limolitas grises con presencia de óxidos



Figura 54. Limolitas grises

UBICACIÓN GEOGRÁFICA		
ESTE	NORTE	COTA (msnm)
799278	9222224	3816

Clasificación textural, modificada de Folk (1974)



## MUESTRA N° 07

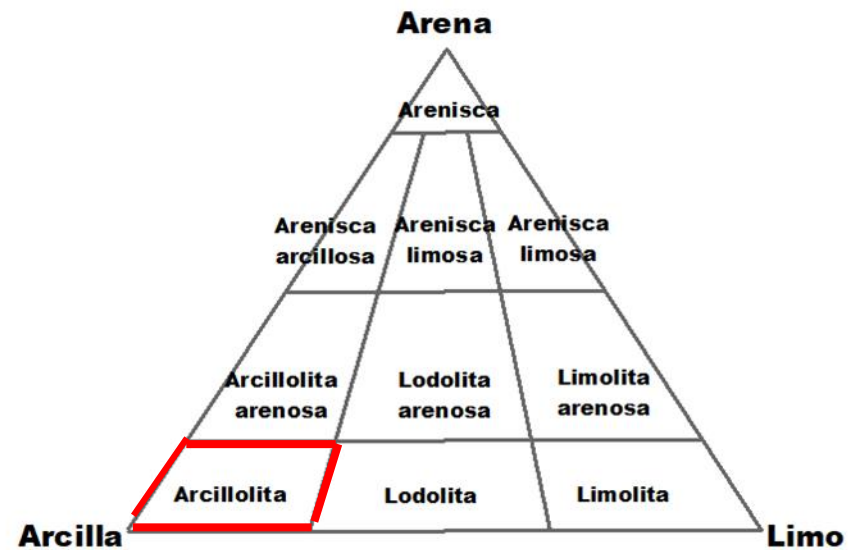
Muestra de arcillolitas bituminosas con presencia de sulfuros .



Figura 55. Arcillolita bituminosa.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA		
ESTE	NORTE	COTA (msnm)
799499	9221952	3855

Clasificación textural, modificada de Folk (1974)





## MUESTRA N° 08

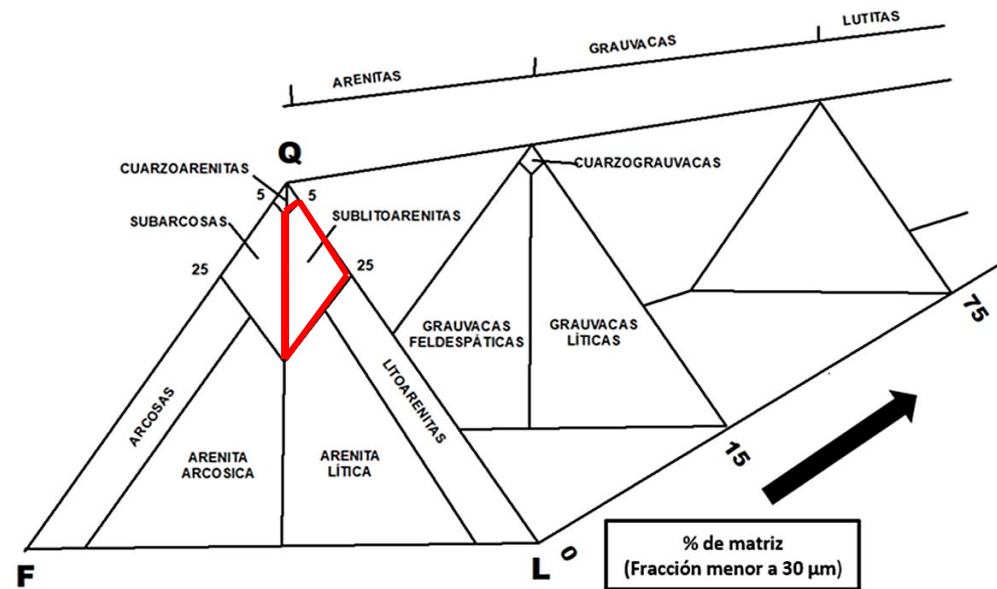
Esta muestra se clasifica como sublitoarenita, presenta menos del 15% de matriz fina y su contenido de cuarzo es aproximadamente del 80%.



Figura 56. Arenisca de grano fino.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA		
ESTE	NORTE	COTA (msnm)
799323	9221292	3819

Clasificación de areniscas y grauvacas según su composición (Pettijohn, 1987)



## **CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1.-SEDIMENTOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN CARHUÁZ**

#### **4.1.1. ESTACIÓN N° 01**

**Lugar: Tramo entre el Cruce el Punre y el Sector Michiquillay.**

La base del afloramiento, que constituye la transición con la Formación Santa, está constituida por estratos de arcillolitas bituminosas intercalados con secuencias de estratos delgados de areniscas gris oscuras de entre 0.20 a 0.80 m de espesor.

Se logra observar que la secuencia de areniscas se presenta de manera gradacional estratodecreciente a estratocreciente (Fig 56), presentando base neta y cuerpos de geometría tabular.

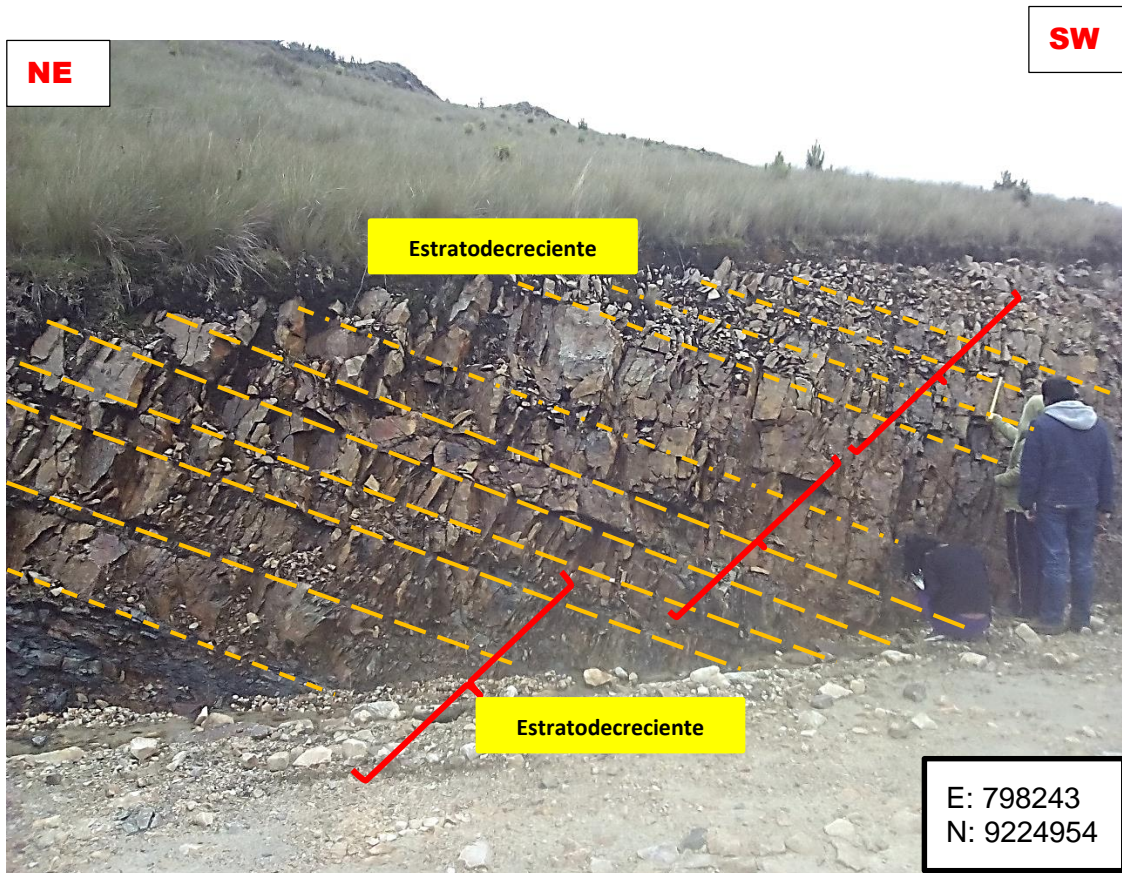


Figura 57. Secuencia estrato decreciente a estrato creciente de areniscas de grano fino.

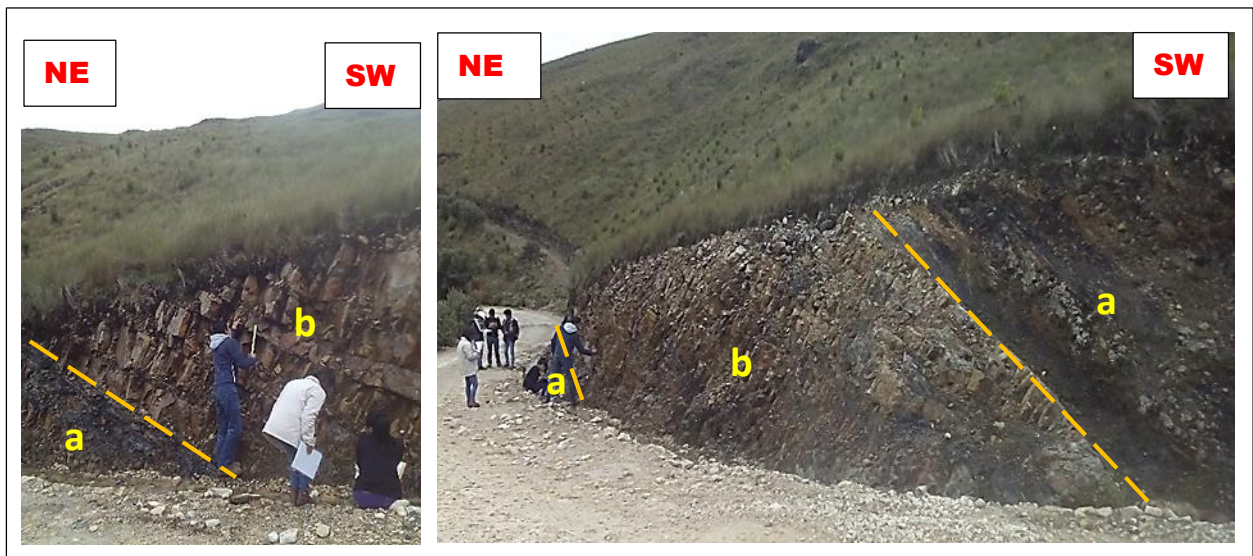


Figura 58. Secuencia de arcillolitas bituminosas (a) y areniscas gris oscuras (b), identificadas en la zona de El Punre, cerca al cruce a Michiquillay.





Figura 59. Arcillolitas bituminosas (b) intercaladas con areniscas grises (a)

## INTERPRETACIÓN

La base de la Formación Carhuáz está constituida principalmente por secuencias de grano fino (arcillolitas) característicos de las zonas profundas en un ambiente lacustre (Anadon 1984). El elevado contenido de materia orgánica evidenciado por las arcillolitas bituminosas se explicaría debido a que la naturaleza de las aguas profundas influye en la historia postdeposicional de los sedimentos. Bajo condiciones reductoras, en los sedimentos se acumula un alto contenido de materia orgánica (Kukal et, at 1971).

En las zonas profundas del lago la sedimentación se efectúa casi completamente por decantación. La distribución y acumulación de materiales finos está particularmente influenciada por la morfología del fondo y por la estratificación de las masas de agua (Kukal et, at 1971).

La presencia de estratos de areniscas en esta zona de dominio de secuencias de grano fino se explicaría debido a la existencia de flujos de fondo, deslizamientos o corrientes de turbidez que proporcionarían vías de llegada de tales materiales al fondo.

#### 4.1.2. ESTACIÓN N° 02

**Lugar: Tramo entre el cruce el Punre y el cruce a Micuypampa.**

Seguidamente el afloramiento muestra una secuencia de arcillolitas grises intercaladas con limolitas pardo amarillentas. Los estratos de esta secuencia presentan espesores variables de entre 0.60 a 1.20 m de potencia.

Las arcillolitas intercaladas con limolitas constituyen una secuencia aleatoria o de espesor variable debido a que los diferentes estratos no presentan ninguna ordenación definida.

Se puede observar también la presencia de estratos de areniscas gris blanquecinas de espesores de ente 0.80 a 1.20 m de espesor.

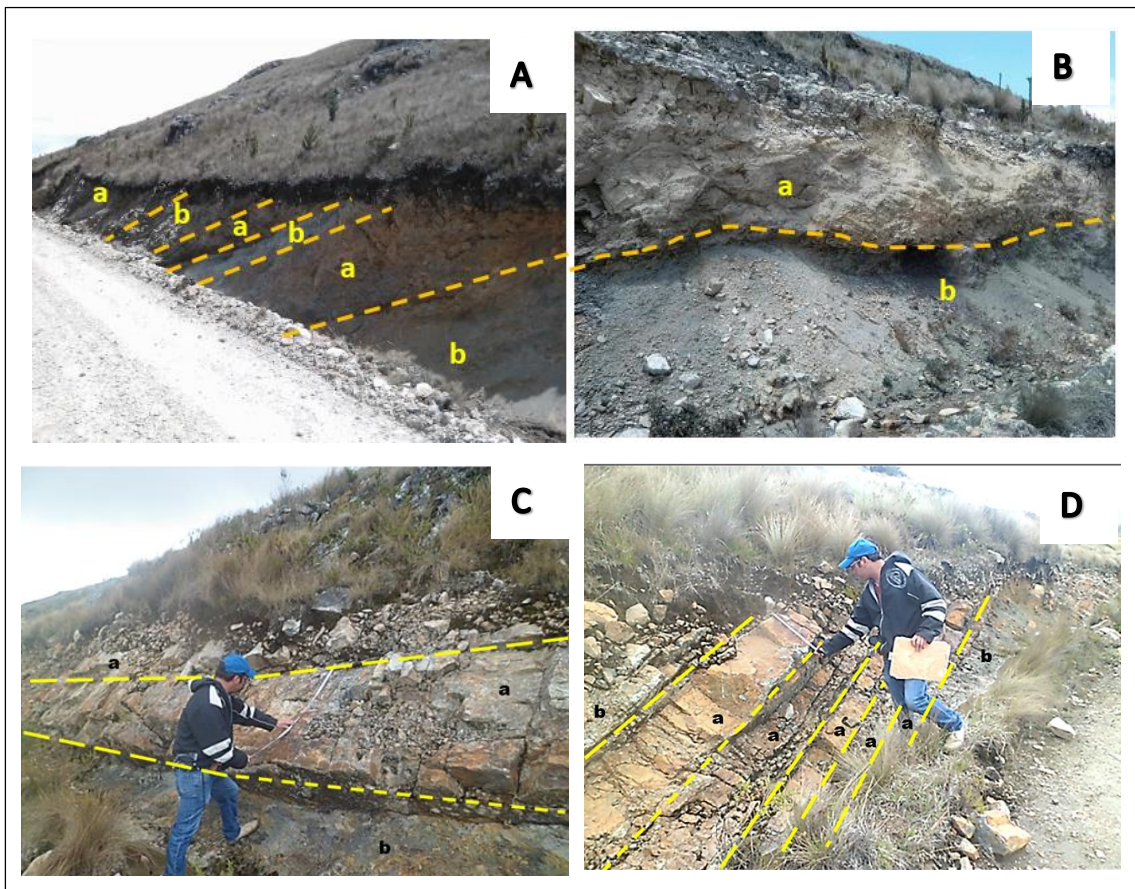


Figura 60. (A-B) Secuencia de limolitas pardo amarillentas (a) intercaladas con arcillolitas grises (b). (C-D) Estratos de areniscas blanquecinas (a) intercaladas con arcillolitas grises (b) Ubicadas en el sector Tuyupampa.



En los estratos de arenisca de grano fino se observa la presencia de laminación paralela.



Figura 61. Laminación paralela en estratos de areniscas gris blanquecinas.

### **INTERPRETACIÓN**

En este sector se pudo observar un incremento en el tamaño de grano de la secuencia, en la cual los sedimentos arcillosos, que son los depósitos lacustres más abundantes en general (Kukal et, at 1971), gradan a sedimentos arcillo-limosos. La presencia de arcillolitas decrece hacia el techo de la secuencia.

Los estratos de areniscas de grano fino con laminación paralela, de geometría tabular se interpretan como barras de desembocadura deltaica.

Las arcillolitas y limolitas presentan superficies de estratificación irregular, que corresponde a una decantación de corrientes de fondo con suspensión homogénea.

La asociación de estratos de manera aleatoria indicaría una alta variabilidad en las condiciones de sedimentación.

### 4.1.3. ESTACIÓN N° 03

**Lugar: Tramo entre el cruce a Micuypampa y el Sector Jatunsacha.**

Hacia el término de la secuencia de limolitas y arcillolitas se pasa de manera gradacional a una secuencia de areniscas rojizas de grano fino, cuyos estratos presentan espesores variables de entre 0.20 m a 1 m, intercalados con delgadas capas de arcillolitas grises cuya presencia decrece hacia el techo. Los estratos de areniscas intercalados las arcillolitas grises constituyen facies cíclicas, en la cual los estratos de areniscas se presentan de manera estratodecreciente (Fig 61 y 62.). Se puede observar la presencia de laminaciones sesgadas de bajo ángulo en la secuencia de areniscas.

La superficie de estratificación es neta, diferenciándose claramente los estratos.



Figura 62. Secuencia estrato decreciente de areniscas rojizas (a) intercaladas con arcillolitas grises (b), observadas cerca al cruce de Micuypampa.



Figura 63. Secuencia estratodecreciente de areniscas rojizas (a) intercaladas con arcillolitas grises (b), observadas en el sector Jatunsacha.



Figura 64. Laminación sesgada en areniscas grises de la Formación Carhuáz.

## INTERPRETACIÓN

En este sector se observa una secuencia grano creciente que pasa de arcillolitas grises y limolitas arenosas a areniscas de grano fino, en las cuales se observa la presencia de estratificación sesgada de bajo ángulo. La presencia de areniscas medianas a finas con laminación paralela y estratificación sesgada tangencial de bajo ángulo,



acumuladas en bancos de geometría tabular se interpretan como depósitos lacustres de shoreface (marginales) y barras de desembocadura deltaica (Paz 2007).

El dominio de niveles de areniscas y la escasa presencia de arcillolitas y limolitas, indicaría que los procesos tractivos asociados a flujos de alta energía fueron dominantes sobre los procesos de decantación.

La secuencia estrato decrecientes nos indica la disminución de los aportes del medio sedimentario.

#### 4.1.4. ESTACIÓN N° 04

**Lugar: Tramo entre el Sector Jatunsacha y carretera a Tuyupampa**

Se observan secuencias de areniscas rojizas intercaladas con delgadas capas de arcillolitas grises. Los estratos de areniscas de grano fino a medio están dispuestos en cuerpos de geometría tabular y lenticular de entre 0.20 a 0.80 m de espesor.



Figura 65. Estratificación lenticular en areniscas rojizas de grano fino.



Figura 66. Estratos de areniscas dispuestos de forma tabular y lenticular.

Se observa la presencia de paleocanales (Fig.77) en las cuales la base del estrato no se presenta tabular sino curva, esto correspondería a un corte transversal del cauce con el cual se puede identificar la orilla en la que se produciría la erosión.

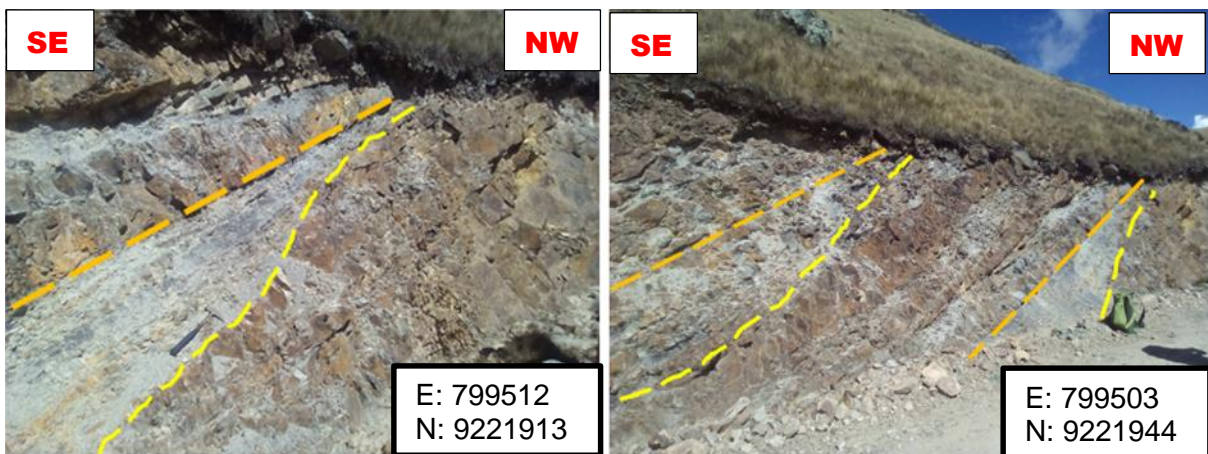


Figura 67. Paleocanales identificados en la secuencia de areniscas rojizas intercaladas con arcillolitas grises, observados en el sector de Jatunsacha.

La presencia de niveles carbonosos se restringe a algunos niveles estratigráficos superiores de la secuencia. Se observan capas de arcillolitas bituminosas altamente fisibles, con presencia de diseminación de sulfuros.





Figura 68. Estratos de areniscas rojizas de 20 cm intercaladas con arcillolitas bituminosas altamente fisibles observados en el sector Jatunsacha.



Figura 69. Diseminación de sulfuros en las capas de arcillolitas bituminosas

## INTERPRETACIÓN

En esta zona se logró identificar diversas estructuras sedimentarias que permitieron caracterizar este ambiente como transición hacia zonas someras.

Las áreas marginales donde tiene lugar la mayor sedimentación son cercanas a las desembocaduras de los ríos (playas, spits y barreras asociadas a deltas). Los materiales transportados por los ríos se depositan de formas diferentes en función de la diferencia de densidad entre el agua del lago y la del río, pudiéndose formar deltas

de dominio fluvial similares a los marinos (Collinson 1978). En áreas de alto relieve pueden existir abanicos aluviales que construyan aparatos deltaicos (Pollard, Steel y Undersrud 1982).

Es así que en esta zona de transición se logró identificar estructuras típicas de ambiente deltaico como paleocanales. Las estructuras en estos depósitos indican una dirección de dispersión de sedimentos, en el que se puede identificar la orilla en la que se producía la erosión (mayor espesor del estrato), y la orilla en la que se producía la sedimentación (menor espesor del estrato).

El dominio de cuerpos tabulares, en ocasiones truncados por pequeños cuerpos lenticulares, se interpreta como sistemas de lóbulos generados por la coalescencia de barras de desembocadura deltaica, que en algunos casos se encuentran truncadas por canales distributarios terminales.

La presencia de estratos de geometrías tabulares y lenticulares integrados por areniscas de grano medio permite interpretar esta asociación de facies como sistemas de canales distributarios rellenos por barras y lóbulos deltaicos. Olariu y Bhattacharya (2006) indica que el reconocimiento de un gran número de sistemas de canales distributarios terminales rellenos por barras de desembocadura es diagnóstico de sistemas deltaicos fluvio-dominados.

La superficie de estratificación es neta, ya que se diferencian claramente los estratos y se hallan constituyendo secuencias aleatorias, lo que implica una alta variabilidad de las condiciones de sedimentación.

#### **4.1.5. ESTACIÓN N° 05**

##### **Lugar: Tramo perteneciente al sector Tuyupampa**

Hacia el techo de la secuencia se observa la presencia de estratos tabulares de areniscas blanquecinas de grano medio. Los estratos de arenisca presentan una superficie de estratificación neta y constituyen secuencias estrato crecientes, con espesores variables de entre 0.40 a 1.00 m.



Figura 70. Secuencias estrato crecientes de areniscas de grano medio.

Se observa la presencia de laminaciones paralelas en la superficie de los estratos de areniscas blanquecinas.



Figura 71. Laminación paralela en estratos de areniscas blanquecinas

## INTERPRETACIÓN

Esta zona que correspondería a un ambiente lacustre somero, ya que presenta un mayor dominio de niveles de areniscas de grano medio y la ausencia de arcillolitas, lo



que indicaría que los procesos tractivos asociados a flujos de alta energía fueron dominantes sobre los procesos de decantación (Anadon 1984).

Se observa una secuencia grano-creciente de areniscas de grano fino a medio. Las estructuras pasaron de lenticulares y tabulares a solamente tabulares, con superficie de estratificación neta. La estratificación grano creciente indicaría un aumento de la estabilidad del medio sedimentario o de los aportes y energía.

#### 4.1.6. ESTACIÓN N° 06

##### Lugar: Tramo carretera Tuyupampa a Quinuamayo

La asociación observada consta de secuencias de arcillolitas grises (0.50 a 1.00 m de espesor) intercaladas con limolitas rojizas (0.30 a 0.50 m de espesor) . Estas constituyen una secuencia aleatoria o de espesor variable.

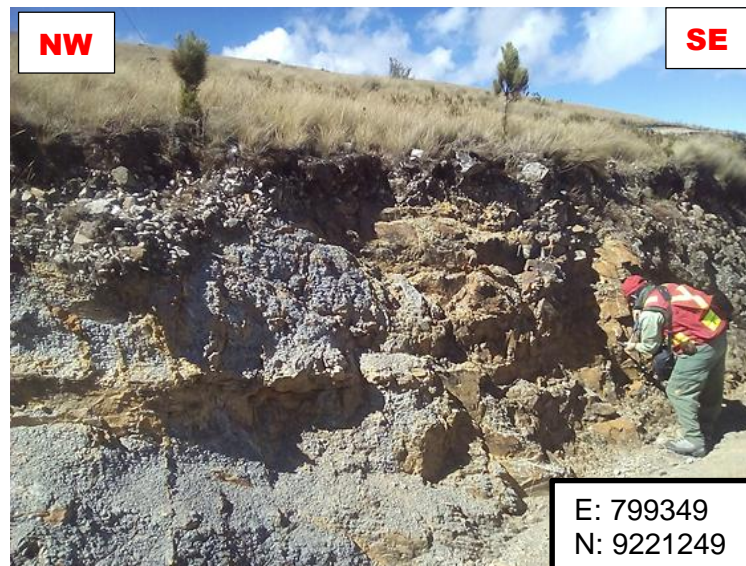


Figura 72. Secuencias de arcillolitas grises intercaladas con limolitas rojizas observadas en tramo de la carretera Tuyupampa-Quinuamayo.

Hacia el techo de esta secuencia se observan estratos delgados de areniscas rojizas de grano fino de entre 0.20 a 0.40 m de espesor intercalados con delgadas capas de arcillolitas gris oscuras , la cual pasa a ser una secuencia estratodecreciente de

areniscas grises de grano fino . Hacia el techo las capas de areniscas presentan una superficie neta.



Figura 73 .Secuencia aleatoria de areniscas rojizas de grano fino y arcillolitas bituminosas observadas en el sector Tuyupampa.



Figura 74. Secuencias estratodecrecientes de areniscas grises de grano fino observadas en el sector Tuyupampa.



## INTERPRETACIÓN

La asociación de facies lacustre somera esta compuesta por un conjunto de secuencias sedimentarias mas gruesas que las de offshore (zona lacustre profunda). Sin embargo existe la presencia de facies herolíticas arenoso – peliticas en las que se registran sucesivas interposiciones de depositos de decantacion suspensiva originados por olas oscilatorias (Caselli 2001)

La presencia en la base de limolitas y lutitas indicarian un predominante proceso de decantación inicial. Hacia el techo , la presencia de estratos de areniscas estratodecrecientes, indicarian un proceso de disminucion de energia de sedimentación.

### 4.1.7. ESTACIÓN N° 07

#### Lugar: Tuyupampa

Se observan estratos delgados de areniscas gris blanquecinas con presencia de ripple marks. Estas estructuras son generadas en un sedimento granular cuando este se ve sometido a una corriente de velocidad ascendente.



Figura 75. Ripple marks en el techo de estrato de areniscas.



## **INTERPRETACIÓN**

En las áreas marginales se presenta principalmente la sedimentación de materiales aportados por las desembocaduras de los ríos. En los grandes lagos, a lo largo de los márgenes se pueden desarrollar condiciones literales semejantes a las de los mares sin mareas con dominio de oleaje (Greenwood y Sherman 1986).

Estas zonas estarían sometidas esporádicamente a la acción de olas y corrientes, que producen un lavado de los elementos lutíticos y concentración y ordenación de los constituyentes de mayor tamaño (Caselli 2001)

La presencia de ripple marks en estratos de areniscas determinarían que la zona corresponde al ambiente lacustre de muy poca profundidad y con dominio de oleaje.

## **4.2. FACIES SEDIMENTARIAS**

Analizando toda la secuencia estratigráfica de la Formación Carhuáz en los sectores de El Punre, Jatunsacha y Tuyupampa y tomando en cuenta las estructuras presentes se han identificado 5 facies.

Facie 1. Arcillolitas grises

Facie 2. Arcillolitas Bituminosas

Facie 3. Limolitas

Facie 4. Areniscas de grano fino

Facie 5. Areniscas de grano medio.

### 4.3. SECUENCIAS ESTRATIGRÁFICAS

Se identificaron seis secuencias estratigráficas.

**SECUENCIA I.** Estratos de arcillolitas bituminosas (4 a 8 m de espesor) con presencia de capas delgadas de areniscas grises (0.20 a 0.80 m de espesor) de grano fino, que constituyen secuencias variables de estrato decreciente a estrato creciente.

**SECUENCIA II.** Estratos de arcillolitas grises (0.60 a 1.20 m de espesor) intercalados con limolitas pardo amarillentas (0.50 a 0.80 m de espesor), que constituyen secuencias aleatorias, de espesor variable. Se observa una asociación de facies discíclica.

**SECUENCIA III.** Secuencia estrato decreciente de areniscas rojizas (0.20 m a 1 m de espesor) de grano medio, intercalados con delgadas capas de arcillolitas grises cuya presencia decrece hacia el techo. Se observa una asociación de facies cíclica.

**SECUENCIA IV.** Secuencia aleatoria de estratos delgados de areniscas rojizas (0.20 a 0.50 m de espesor) de grano fino a medio, intercalados con delgadas capas de arcillolitas grises, se observa la presencia de arcillolitas bituminosas y niveles de carbón con presencia de sulfuros. Se observa una asociación de facies discíclica.

**SECUENCIA V.** Secuencias estrato crecientes de areniscas gris blanquecinas (0.40 a 1.00 m de espesor), de grano medio con presencia de delgadas capas de arcillolitas. Hacia el techo se pasa a una secuencia aleatoria de areniscas de grano medio. Se observa una asociación cíclica de facies.

**SECUENCIA VI.** Secuencia aleatoria de estratos de arcillolitas grises (0.50 a 1.00 m de espesor) intercaladas con limolitas rojizas (0.30 a 0.50 m de espesor). Se observa la presencia de estratos de areniscas rojizas de grano medio. Se observa una asociación cíclica de facies de lutitas y limolitas.

**SECUENCIA VII.** Intercalación de areniscas rojizas (0.10 a 0.20 m de espesor) de grano fino intercaladas con delgadas capas de arcillolitas bituminosas. Hacia el techo se observan secuencias estratocrecientes de areniscas de grano fino (0.20 a 0.40 m de espesor).

#### **4.4. CONSTRATACIÓN DE LA HIPOTESIS**

Las características sedimentológicas y estratigráficas, caracterizadas por secuencias de sedimentos de grano grueso en zonas someras que pasan a cierta profundidad a depósitos arcillosos, indicarían que esta unidad se habría originado en un ambiente típico lacustrino.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

Se determinaron las características sedimentológicas y estratigráficas de la Formación Carhuáz en la zona de estudio, la cual está caracterizada por un dominio de secuencias de arcillolitas y limolitas en la base que varía progresivamente a secuencias de areniscas de grano fino a medio hacia el techo en la transición con la Formación Farrat.

La base de la Formación Carhuáz presenta un dominio de arcillolitas bituminosas con presencia de delgados estratos de areniscas de grano fino, característicos de zonas lacustres profundas, en la cual la sedimentación se lleva a cabo principalmente por decantación. Hacia el medio se observan estratos de arcillolitas grises y limolitas que presentan superficie irregular. De la parte media a superior se observan estratos de areniscas de grano fino a medio con facies deltaicas asociadas y hacia el techo el dominio de secuencias de areniscas características de un ambiente lacustre somero.

Se realizó la columna estratigráfica de la Formación Carhuáz de 368 metros de espesor a partir de datos tomados en campo a lo largo de la carretera Punre - Tuyupampa.

La litoestratigrafía de la Formación Carhuáz se caracteriza por estructuras de estratificación (paralela, sesgada planar, sesgada lenticular y ripple marks) y asociación de facies (arcillolitas grises, arcillolitas bituminosas, limolitas, areniscas de grano fino y medio) que determinan que el origen de esta formación está relacionada a un ambiente de depositación lacustrino con una edad de Hauteriviano medio a superior.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Elaborar más estudios regionales de análisis de cuencas sedimentarias específicamente en la Formación Carhuáz y de ésta manera entender mejor su ambiente de formación.

Para ampliar el conocimiento hacia el interior de la cuenca se pueden realizar estudios geofísicos como pruebas sísmicas o sondeos eléctricos verticales (SEV).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anadon, P, 1984. Sedimentación Lacustre. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid – España.
- Arche, A. 2010. Sedimentología del proceso físico de la cuenca sedimentaria. Gráficas Blanco, S. L. Madrid – España.
- Cabrera, F, et at, 2010. Exploración Carbonifera en la Cuenca de Ojinaga, Chihuahua- México. Sociedad Geológica Mexicana.
- Canale, A , et at, 2015. Sedimentología e lcnología de deltas fluvio-dominados afectados por descargas hiperpícnicas de la Formación Lajas (Jurásico Medio), Cuenca Neuquina- Argentina.
- Corrales, I, et at, 1977. Estratigrafía, Madrid-España.
- Fernández,H, 2010. Estudio Sedimentológico y Estratigráfico en el Área de Cruz Blanca y alrededores. Tesis Profesional. Cajamarca – Perú. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Lagos, A y Quipe, Z, 2012. Caracterización Litológica y Paleontológica del Cretáceo Inferior en Cajamarca: Las Formaciones Santa y Carhuáz. Lima-Perú.
- Lagos, A y Quispe,Z, 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 ,I, 1996. Estratigrafía secuencial de los sistemas deltaicos en cuencas antepaís (Paleógeno, cuenca antepaís surpirenaica). Barcelona – España. Universidad de Barcelona - Facultad de geología.
- Nichols, G ,2009. Sedimentología. Córdoba-Argentina.



- Martinez, E ; Rábano,I. 2007. 4th European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin America, Madrid. Pag. 165-170.
- Paz, M, 2007. Análisis sedimentológico de depósitos lacustres y eólicos del cretácico tardío en la localidad Paso Córdoba, cuenca Neuquina. Universidad Nacional de Río Negro.
- Reyes, L, 1980. Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba (Boletín Serie A-N°31) Estudio realizado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), pp 21-34.
- Rivas, P ,2014. Caracterización Sedimentológica y Estratigráfica Del Cretáceo en el Área de Huayllapampa, Cajamarca- Perú. Tesis de la Universidad Nacional de Cajamarca.
- Sanchez,L, et at, 1981. Emplazamiento de Deltas Progradantes y Facies Asociadas, en el Westfaliense del Borde Oriental de la Cuenca Carbonífera Central. Oviedo-España. Universidad de Oviedo.
- Spalletti, L y Zavattieri, A, 2009. El sistema lacustre de la Formación Mollar en el depocentro triásico de Santa Clara, Mendoza-Argentina. Universidad Nacional de la Plata.
- Tafur, I, 1950. Nota preliminar sobre la geología de Cajamarca, Lima-Perú. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de San Marcos.
- Wilson, J, 1984. Geología del Cuadrángulo de Celendín 14-g (Boletín Serie A-N°318) Estudio realizado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), pp 39-43.

## **ANEXOS**

Plano N° 01 : Plano Satelital

Plano N° 02: Plano Geológico

Plano N° 03: Perfil A-A'

Plano N° 04: Perfil B-B'

Plano N° 05: Perfil C-C'

Plano N° 06: Columna Estratigráfica