

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS PROFESIONAL

**FACIES SEDIMENTARIAS DE LAS FORMACIONES CARHUAZ Y
FARRAT EN LOS SECTORES DE SAN CIRILO, CALLACPUMA –
CHILETE**

Para optar por el Título Profesional de:

Ingeniero Geólogo

Presentado por:

Bach. Teresa Maximina Moreno Llerena

Asesor:

MCs. Crispín Zenón Quispe Mamani

Cajamarca – Perú

2019

AGRADECIMIENTO

A mi Alma Mater
La Universidad Nacional de Cajamarca,
al MCs Zenón Quispe Mamani por sus consejos en el
campo de la Estratigrafía y apoyo incondicional
en la presente Investigación.

DEDICATORIA

Al forjador de mi
camino mi Padre Celestial,

A mi Madre, es mi
fortaleza e inspiración diaria,

A mi Padre, es mi ejemplo
de constancia y dedicación,

A mis hermanos
por su cariño y comprensión,

A Marchena; gracias por el apoyo
y confianza que me brindas.

RESUMEN

Se elaboró columnas lito-estratigráficas de las Formaciones Carhuaz y Farrat en los sectores de San Cirilo, Callacpuma y Chilete, en los alrededores de Cajamarca, que fueron digitalizadas e interpretadas luego en gabinete, con el fin de estudiar las facies sedimentarias de dichas Formaciones e interpretar sus ambientes sedimentarios de formación. En la Formación Carhuaz, se encontraron facies de llanura mareal con episodios de ambiente lacustrino, con gruesos bancos de lutitas, y de llanura de inundaciones con presencia de areniscas de grano fino y limolitas con estratificación planar, pertenecientes a un ambiente deltaico controlado por acción de mareas; mientras que en la Formación Farrat se encontraron facies de areniscas de grano grueso con estratificación cruzada de canal indicando la presencia del canal o la barra de desembocadura (mejor marcada en el sector de Callacpuma, donde también se evidencia etapas de derrames laterales) pertenecientes a un ambiente deltaico controlado por acción fluvial.

El cambio de régimen se debió, a un levantamiento continuo de la cuenca, desde la Formación Santa (infrayacente a la Formación Carhuaz), hasta la transgresión marina en la Formación Inca (suprayacente a la Formación Farrat).

Palabras Claves: Estratigrafía, sedimentología, facies, deltas, canales fluviales, mareas.

ABSTRACT

Litho-stratigraphic columns of the Carhuaz and Farrat formations were documented in the sectors of San Cirilo, Callacpuma and Chilete, in the surroundings of Cajamarca, which were digitized and then interpreted in the cabinet, in order to study the sedimentary facies of these formations and interpret their sedimentary environments of formation. In the Carhuaz formation, facies of tidal plain with thick banks of shales, and flood plain with presence of fine-grained sandstones and siltstones with planar stratification, belonging to a deltaic environment controlled by tidal action were found; whereas in the Farrat formation, coarse-grained sandstone facies were found with cross-channel stratification indicating the presence of the channel or the mouth bar (better marked in the Callacpuma sector, where stages of lateral spillage are also evident) belonging to a deltaic environment controlled by fluvial action.

The change of regime was due, to a continuous uplift of the basin, from the Santa formation (infrayacente to the formation Carhuaz), to the marine transgression in the Inca formation (overlying the Farrat formation).

Keywords: Stratigraphy, sedimentology, facies, deltas, fluvial channels, tides.

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
FIGURAS	viii
FOTOS	x
TABLAS.....	xii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II.....	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	4
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	4
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	5
2.2. BASES TEÓRICAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
2.2.1. FACIES SEDIMENTARIAS	6
2.2.2. MEDIOS SEDIMENTARIOS.....	8
2.2.3. ESTRATIGRAFÍA.....	9
2.2.4. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS.....	12
2.2.5. SEDIMENTOLOGÍA EN AMBIENTES DELTAICOS	16
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	25
CAPÍTULO III.....	26
MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN	26
3.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA.....	27
3.1.2. ACCESIBILIDAD.....	27
3.2. PROCEDIMIENTO.....	28
3.2.1. METODOLOGÍA.....	28
3.2.2. TÉCNICAS.....	28

	Pág.
3.2.3. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS.....	29
3.2.4. PROCEDIMIENTO DEL TRABAJO.....	30
3.3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	33
3.3.1. FISIOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA.....	33
3.3.2. GEOMORFOLOGÍA.....	33
3.3.3. GEOLOGÍA REGIONAL.....	36
3.3.4. GEOLOGÍA LOCAL.....	37
3.4. SEDIMENTOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA.....	43
3.4.1. LITOLOGÍA.....	43
3.4.2. ESTRUCTURAS DE ORDENAMIENTO INTERNO.....	45
3.4.3. TIPO DE ESTRATIFICACIÓN.....	46
3.4.4. TECTÓNICA SIN-SEDIMENTARIA.....	48
3.4.5. FACIES SEDIMENTARIAS.....	49
CAPÍTULO IV.....	50
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	50
4.1. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	50
4.1.1. AMBIENTE DE FORMACIÓN.....	50
4.1.2. INTERPRETACIÓN ESTRATIGRÁFICA.....	51
4.1.3. CORRELACIÓN DE LAS COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS.....	60
4.1.4. DINÁMICA DEL MEDIO SEDIMENTARIO.....	61
4.1.5. ACTIVIDAD TECTÓNICA EN LA CUENCA.....	62
4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	63
CAPÍTULO V.....	64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
5.1. CONCLUSIONES.....	64
5.2. RECOMENDACIONES.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
ANEXOS.....	68

FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tipos de Asociaciones de Facies: A. Multiepisódica, B. Bandeada, C. Bandeada discilica, D. asimétrica positiva (granodecreciente) E. asimétrica negativa (granocreciente) (Vera, 1994).....	7
Figura 2. Gráfico Tridimensional mostrando un ejemplo de aplicación de la Ley de Walther (Walther, 1893-94).	8
Figura 3. Rasgos de los estratos y medidas de la estratificación (Vera, 1994).	9
Figura 4. Geometría de los Estratos (Vera, 1994)	10
Figura 5. Tipos de asociaciones de estratos (Vera, 1994).	12
Figura 6. Elementos básicos en la clasificación de la Estratificación Cruzada de canal (izquierda) y estratificación cruzada planar (derecha) (McKee & Weir, 1953).....	13
Figura 7. Estratificación Gradual (Krumbein & Sloss, 1969).....	13
Figura 8. Etapas de las Estructuras de Deformación (Krumbein & Sloss, 1969).....	14
Figura 9. Esquemas de los Flute Mark (Krumbein & Sloss, 1969).	14
Figura 10. Formación de Moldes de Grietas desecación (Krumbein & Sloss, 1969). ...	15
Figura 11. Formación de los Ripples Mark (Krumbein & Sloss, 1969).....	15
Figura 12. Zonación teórica de un delta (Arche, 2010).....	16
Figura 13. Llanura deltaica, Frente deltaico y Prodelta de un delta (Arche, 2010).....	17
Figura 14. Submedios en el delta actual del Mississippi, con claro predominio fluvial (Modificado de Fisk, 1961 y Gould, 1970; Arche, 2010).	18
Figura 15. Sucesión sedimentaria ideal de un delta dominado por la acción fluvial inspirada en el ejemplo del río Mississippi. Modificado de Coleman y Wright 1975, (Arche, 2010).....	20
Figura 16. Delta dominado por la acción de las olas (río Ródano). Modificado de Fisher 1969, (Arche, 2010).....	21
Figura 17. Sucesión sedimentaria ideal de un delta dominado por la acción de las olas inspirada en el ejemplo del río São Francisco (Modificado de Coleman, 1976; Arche, 2010).....	22
Figura 18. Delta dominado por la acción de las mareas (río Kikori, golfo de Papúa). Modificado de Fisher et al. 1969 (Arche, 2010).....	23

Figura 19. Sucesión sedimentaria ideal de un delta dominado por las mareas, inspirado en el ejemplo del río Ord. Modificado de Coleman, 1976 (Arche, 2010).....	24
Figura 20. Ubicación de los sectores San Cirilo, Callacpuma y Chilete.	26
Figura 21. Digitalización de una columna estratigráfica en el software SedLog (sector San Cirilo).	31
Figura 22. Interpretación de las columnas estratigráficas en el software Strater 5.	32
Figura 23. Elaboración de los gráficos finales en el software CorelDraw 2018.	32
Figura 24. Fisiografía de los sectores estudiados.	33
Figura 25. Matriz para Clasificación de las Unidades Morfogenéticas (Rodríguez, 2018).	33
Figura 26. Columna estratigráfica resumida de la Región de Cajamarca.	37
Figura 27. Geografía de la cuenca Chicama durante el Cretácico inferior (Carlotto et al., 2009).....	38
Figura 28. Reconstrucción de las cuencas Occidental (Chicama) y Oriental separadas por el Alto del Marañón durante el Cretácico (Mégard, 1979).....	38
Figura 29. Simbologías utilizadas en las columnas del presente estudio.	49
Figura 30. Columna estratigráfica levantada en el sector Chilete.	52
Figura 31. Interpretación estratigráfica de la columna levantada en el sector Chilete...	53
Figura 32. Columna estratigráfica levantada en el sector San Cirilo.	55
Figura 33. Interpretación estratigráfica de la columna levantada en el sector San Cirilo.	56
Figura 34. Columna estratigráfica levantada en el sector de Callacpuma.....	58
Figura 35. Interpretación estratigráfica de la columna levantada en el sector Callacpuma.	59
Figura 36. Correlación de las columnas levantadas.	60
Figura 37. Forma tentativa que hubiera tenido la cuenca Chicama (Región de Cajamarca) al momento de la sedimentación de la Fm. Carhuaz (Modificado de Arche 2010).	61
Figura 38. Forma tentativa que hubiera tenido la cuenca Chicama (Región de Cajamarca) al momento de la sedimentación de la Fm. Farrat (Modificado de Arche 2010).	62
Figura 39. Lito-estratigrafía secuencial interpretada de las Fm. Carhuaz y Farrat en el área de estudio, cambio debido al levantamiento tectónico de la cuenca entre ambas formaciones (Modificado de Arche, 2010).....	63

FOTOS

Pág.

Foto 1. Levantamientos de las columnas estratigráficas en los sectores de San Cirilo (Izquierda) y Chilete (Derecha).....	30
Foto 2. Estratos de areniscas para la elaboración de la columna estratigráfica del sector Callacpuma de la Fm. Carhuaz.....	31
Foto 3. Geomorfología del sector San Cirilo, mostrando la planicie andina con las conocidas “Lagunas del Alto Perú”.....	34
Foto 4. Unidades Morfogenéticas sector San Cirilo (Lomadas y Escarpes)	34
Foto 5. Unidades Morfogenéticas sector Chilete (Escarpes).....	35
Foto 6. Unidades Morfogenéticas sector Callacpuma (Laderas). Interpretación geológica del Anticlinal excavado de Baños del Inca, en la parte derecha del mismo se ubica el cerro Callacpuma. (Lagos, 2010).....	35
Foto 7. Areniscas de grano fino a medio (coordenadas Longitud: 764764 y Latitud: 9237010).....	39
Foto 8. Lutitas grises en la base con areniscas de grano medio en el techo (Coordenadas Longitud: 782246 y Latitud: 9206182).	40
Foto 9. Areniscas de grano fino a medio (estratificación planar), limolitas y lutitas; presencia de óxidos de hierro (Coordenadas Longitud: 744309 y Latitud: 9201647). ..	40
Foto 10. Areniscas de grano medio en estrato creciente (Coordenadas Longitud: 764633 y Latitud: 9237117)	41
Foto 11. Areniscas cuarzosas Fm. Farrat (Coordenadas Longitud: 782481 y Latitud: 9205861).....	42
Foto 12. Afloramientos de areniscas cuarzosas de grano grueso en el Sector Chilete, presencia de óxidos de hierro (Coordenadas Longitud: 743059 y Latitud: 9200911). ..	42
Foto 13. Laminación paralela en un estrato de areniscas en el sector de Callacpuma. ..	45
Foto 14. Laminación cruzada en un estrato de areniscas en la zona de Callacpuma.	46
Foto 15. Estratificación paralela en areniscas de grano fino en el sector de Chilete.....	46
Foto 16. Estratificación cruzada en el sector de San Cirilo.....	47
Foto 17. Estratificación gradual “estratocreciente” en el sector de San Cirilo.....	48
Foto 18. Estratificación gradual “estratodecreciente” en el sector de San Cirilo.....	48
Foto 19. Estructura de carga “load cast” en areniscas del sector Chilete.	49

Foto 20. Vista al cerro Mirador, lugar del desarrollo de la columna estratigráfica. 51
Foto 21. Vista al cerro San Cirilo, lugar del desarrollo de la columna estratigráfica..... 54
Foto 22. Vista al cerro Callacpuma, lugar del desarrollo de la columna estratigráfica.. 57

TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de los medios sedimentarios (Arche, 2010).	8
Tabla 2. Ubicación política de los sectores estudiados.	27
Tabla 3. Rutas de acceso a las zonas de estudio.	27
Tabla 4. Tipos de litologías utilizadas para el análisis petrográfico y descripción macroscópica.	44

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Como planteamiento de problema se tiene que las Formaciones Carhuaz y Farrat pertenecen al Grupo Goyllarisquizga, las cuales están enmarcadas dentro de un contexto de sedimentación en ambiente continental a transicional como lo son los medios fluviales y deltaicos (Wilson et al. 1967; Wilson, 1984), por lo que el esquema sedimentológico que se desarrolló durante el Cretácico Inferior es el del gran Delta del Goyllarisquizga con zonas de aporte del N-E de territorio peruano (Jaillard et al. 1990) presentando llanuras de inundación, canales fluviales tributarios entre otras características propias de estos ambientes, por lo que es de importancia caracterizar el origen de las facies en los sectores San Cirilo, Callacpuma y Chilete, formando los afloramientos sedimentario/estratigráfico en donde se ubica el valle de Cajamarca, y este a su vez ubicarlo dentro del marco sedimentológico que prevaleció durante el Cretácico Inferior.

Para poder determinar las características de las facies deltaicas o de litoral se emplearán los modelos de Arche (2010) en donde las columnas estratigráficas muestran para las facies deltaicas de llanura una distribución de canales distributarios con bases erosivas con rizaduras de corrientes y estratificación cruzada seguida de barras y topes con facies de llanura de colmatación con material orgánico.

Para lo cual se hace la siguiente formulación

¿Cuáles son las características de las facies sedimentarias de las Formaciones Carhuaz y Farrat en los sectores de San Cirilo, Callacpuma y Chilete?

Como hipótesis se plantea que las características de las facies sedimentarias de la Formación Carhuaz en los sectores de San Cirilo, Callacpuma y Chilete, presenta una estratigrafía, litología y estructuras de ordenamiento interno pertenecientes al ambiente sedimentario tipo delta específicamente a la facie deltaica subdividida en llanura deltaica secuencia tidal, con episodios de ambiente lacustrino y la Formación Farrat presenta una estratigrafía, litología y estructuras de ordenamiento interno pertenecientes a un ambiente sedimentario de facies de llanura deltaica en secuencia fluvial.

Como justificación de la investigación se pretende obtener un registro estratigráfico (columna lito-estratigráfica) en dónde se puedan interpretar y ubicar las características de las facies sedimentológicas durante el Cretácico Inferior (Formaciones Carhuaz y Farrat) en los alrededores del valle de la ciudad de Cajamarca, ya que es importante entender la historia del paleoambiente y aporte de las condiciones paleo-dinámicas de los medios sedimentarios que modelaron las secuencias de las Formaciones Carhuaz y Farrat; y, así determinar espacialmente en qué parte de la secuencia sedimentológica se ubican las Formaciones antes mencionadas. Por lo que se obtendrá una base de datos para futuros estudios semejantes y tener un aporte para realizar análisis de cuencas sedimentarias en forma regional.

Como alcance del presente estudio de investigación evidenciará un aporte a las características de las facies sedimentarias en el Gran Delta del Goyllarisquizga (Jaillard et al. 1990) en los sectores San Cirilo, Callacpuma y Chilete, de tal manera que se constituya como un punto de partida para investigaciones complementarias por parte de estudiantes y/o tesisistas que deseen ampliar los modelos de facies y las características sedimentológicas de las Formaciones Carhuaz y Farrat de los sectores antes mencionados.

Como objetivo general se plantea caracterizar las facies sedimentarias de las Formaciones Carhuaz y Farrat en los sectores de San Cirilo, Callacpuma y Chilete y objetivos específicos se tiene elaborar una columna lito-estratigráfico a escala 1/500, identificar estructuras sedimentarias de ordenamiento interno, ubicar posiblemente los ambientes sedimentarios de las Formaciones.

Descripción del contenido de los capítulos

Capítulo II: En este capítulo se considera antecedentes teóricos de la investigación, las bases teóricas para entender principalmente la relación que existe en la investigación y poder contrastar la hipótesis sobre una base teórica y definición de términos básicos.

Capítulo III: Se refiere a la ubicación geográfica, política, accesibilidad, procedimientos, metodología y tratamiento y análisis de los datos y presentación de resultados.

Capítulo IV: Comprende el análisis y discusión de resultados, teniendo en cuenta como bases teóricas, para los objetivos planteados y la contrastación de la hipótesis.

Capítulo V: Corresponde las conclusiones y recomendaciones para cada objetivo inicialmente planteados.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los trabajos más relevantes con relación al tema de investigación son los siguientes:

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

López (1996). Estudió los afloramientos de sucesiones deltaicas, analiza los pros y contras de diferentes metodologías de análisis secuencial, determinando la Estratigrafía secuencial de sistemas deltaicos en cuencas de antepais.

Peláez et al (1986). Describen los sedimentos prodeltaicos en el delta emergido del Llobregat, concluyendo que la unidad de limos intermedios corresponde a un ambiente prodeltaico en el que se han identificado, por comparación al modelo actual, subambientes de prodelta proximal, medio y medio-distal.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Alvan et al (2018). Elementos arquitecturales de una plataforma siliciclástica antigua: aportes en la definición paleoambiental de las Formaciones Carhuaz y Farrat (Aptiano, 7°-7° 30' S) en la presente investigación los resultados de los análisis de las areniscas de las Formaciones Carhuaz y Farrat en la Provincia de Cajabamba, conforman elementos arquitecturales muy típicos de una plataforma (inter-) tidal con influencia fluvial.

Jacay (2018). Evolución de Facies mareicas en el frente deltaico del Delta del Goyllarisquizga, cretaceo inferior, la presente investigación presenta que la gran secuencia siliciclástica desarrollado en la región de las altiplanicies corresponde a facies de llanura deltaica con dominio de facies fluvial y llanura tidal.

Jacay (2005). Análisis de la Sedimentación del Sistema Cretáceo de los Andes del Perú Central, la investigación muestra que el Sistema Cretáceo en los Andes del Perú central yace en discordancia sobre terrenos de diferentes edades, desde el Precámbrico hasta el Jurásico superior sobre la cual se presenta tres secuencias: secuencia inferior (Valanginiano-Aptiano) que pertenece a la plataforma siliciclástica del Grupo Goyllarisquizga y sus equivalentes laterales según los lugares, así mismo para las unidades litoestratigráficas que conforman este gran delta se nota una depositación sobre los bordes de la cuenca; una segunda secuencia del Albiano-Turoniano al Campaniano que pertenece a una gran plataforma carbonatada y la tercera secuencia al tope del Cretáceo Superior (Campaniano-Maestrichiano) compuesta por las series rojas continentales que pertenecen a procesos de inversión tectónica y transición a cuencas de antepaís.

Reyes (1980). Geología De Los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba (Boletín Serie A – N°31). Estudio ejecutado por el Servicio de Geología y Minería y publicados por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico INGEMMET, realizados a escala 1:100 000.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Lagos et al (2006). Trabajo de investigación acerca de los “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. Trabajo que trata sobre el comportamiento de la Cuenca Occidental, en el proceso de relleno sedimentario desde el Berriasiano - Valanginiano (Cretáceo Inferior) hasta el Santoniano - Campaniano (Cretáceo Superior).

Fernandez (2010). “Estudio Sedimentológico y Estratigráfico en el Área de Cruz Blanca y Alrededores”. Tesis Profesional. Donde se realiza la descripción detallada de las

características litoestratigráficas, compactación y descompactación Cretáceo Inferior en la zona de Cruz Blanca, partes de la cuenca de Cajamarca.

2.2. BASES TEÓRICAS DE LA INVESTIGACIÓN

2.2.1. FACIES SEDIMENTARIAS

2.2.1.1. Concepto de Facies

El concepto de facie en Estratigrafía y Sedimentología lo introdujo formalmente Gressly (Wegmann, 1963) para denominar a “la suma total de los aspectos litológicos y paleontológicos de una unidad estratigráfica”, o sea, para definir el aspecto de cada grupo de las rocas. Además las facies deben ser totalmente objetiva y debe basarse en los datos obtenidos en el campo al observar las rocas, (Walker & of Canada, 1979). Desde el punto de vista de sus propiedades o de la escala de observación se distingue:

Litofacies: Alude a los aspectos litológicos de un conjunto de estratos y sus condiciones físico-químicas (no biológicas) que reinaron durante un depósito.

Biofacies: Es el complemento ya que se refiere a los aspectos paleontológicos (no los litológicos) y a las condiciones biológicas reinantes durante el depósito.

Microfacies: Alude a las características litológicas y paleontológicas observables al microscopio y sus condiciones genéticas en su formación (Vera, 1994).

2.2.1.2. Clasificación de las Facies

Facies Detríticas Fluviales

Se basa en el tamaño de grano, diferenciando facies de ruditas, de arenitas y de lutitas, en función del tipo de estratificación, estructuras sedimentarias y textura, que responden a unas características genéticas en medios fluviales (Vera, 1994).

Facies Detríticas Turbidíticos

En la clasificación de Ghibaudo (1992) se diferencian trece tipos de facies definidos en función de la litología. Las facies son: grava, alternancia de arenas y gravas, arenas con

cantos y arenas, alternancia de arenas y lutitas, con dominio de arena, con dominio de lutitas, alternancia limo-arcilla, con dominio del limo, lutita, arenas lutíticas, lutitas arenosas, gravas lutíticas y lutitas con cantos (Vera, 1994).

2.2.1.3. Asociación de Facies

Es la distribución ordenada de varias facies elementales, genéticamente relacionadas; debe cumplir dos condiciones (Vera, 1994): a) Que se trate de facies que se encuentren juntas, y b) Que estén genéticamente (ambientalmente) relacionadas entre sí.

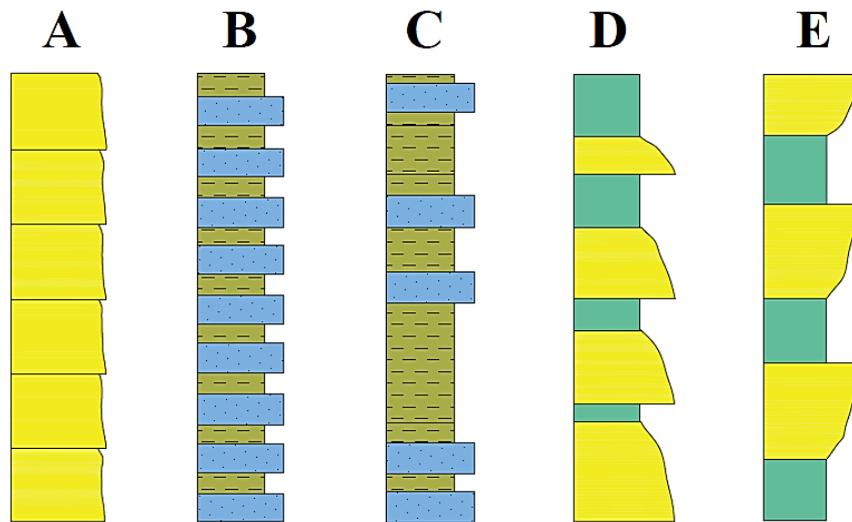


Figura 1. Tipos de Asociaciones de Facies: A. Multiépisdica, B. Bandeada, C. Bandeada discilica, D. asimétrica positiva (granodecreciente) E. asimétrica negativa (granocreciente) (Vera, 1994).

2.2.1.4. Ley o Regla de Walther

La ley o Regla de Walther indica que: “Las facies que se encuentran superpuestas se encuentran también yuxtapuestas con la misma ordenación” (Middleton, 1973+). Así, cuando tienen lugar cambios oblicuos, las facies se presentan ordenadas simultáneamente en sentido lateral y vertical, de manera que las facies en la actualidad se encuentran yuxtapuestas se disponen, además, superpuestas formando una “asociación de facies”, que en la vertical se refleja en una “secuencia de facies”.

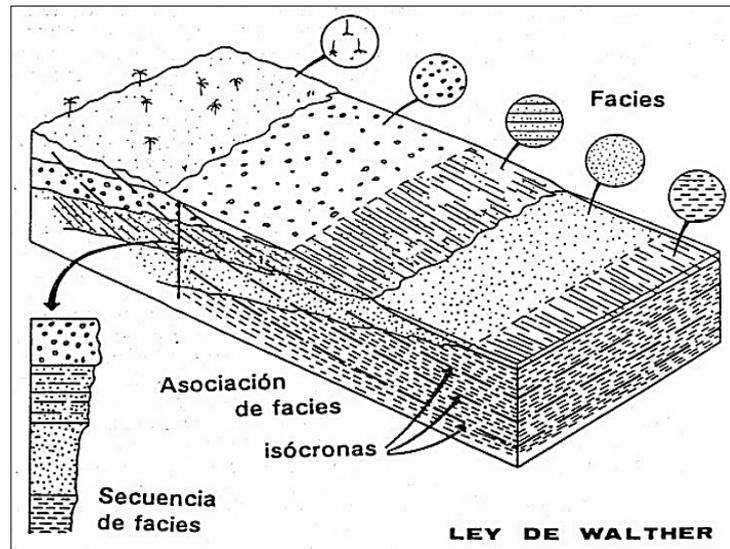


Figura 2. Gráfico Tridimensional mostrando un ejemplo de aplicación de la Ley de Walther (Walther, 1893-94).

2.2.2. MEDIOS SEDIMENTARIOS

Un medio sedimentario puede definirse como una parte concreta de la superficie terrestre donde se acumulan sedimentos y que se diferencia física, química y biológicamente de las zonas adyacentes (Selley, 1970).

Los sedimentos se acumulan en depresiones de tamaño variable denominadas cuencas sedimentarias, cuyo relleno registra la evolución paleogeográfica de las mismas. Este relleno está formado no sólo por los sedimentos, sino por las superficies de omisión o hiatos, reflejo de etapas de no deposición y por las discordancias, que registran etapas de erosión, acompañadas o no de actividad tectónica.

Tabla 1. Clasificación de los medios sedimentarios (Arche, 2010).

Continental:	Subaéreo:	Eólico Glacial
	Subacuático:	Fluvial Lacustre
De transición:		Deltaico Playero Estuariano Isla barrera – lagoon
Marino:		Plataforma Talud Borde Precontinental Llanura Abisal

Para la investigación nos enfocaremos a los medios de subacuático fluvial y a los ambientes de transición (deltaico), puesto que son los medios sedimentarios que poseen relación directa con el entorno geológico de las Formaciones Carhuaz y Farrat.

2.2.3. ESTRATIGRAFÍA

Es la rama de la geología que trata del estudio e interpretación de las rocas sedimentarias y estratificadas, y de la identificación, secuencia, tanto vertical como horizontal, cartografía y correlación de las unidades estratigráficas de las rocas (Weller, 1960).

2.2.3.1. ESTRATO

Acepción Geométrica: Definido como un nivel de roca o sedimento más o menos distinguible de forma visual o física, separados de los niveles superior e inferior por superficies denominadas superficies estratificación. (Campbell, 1967).

Acepción Genética: Viene a ser una unidad de sedimentación que se ha depositado esencialmente bajo condiciones físicas constantes (Otto, 1938).

Combinando estas dos acepciones: Se definiría al estrato como un nivel de cuerpo (un cuerpo generalmente tabular) de roca o sedimento, con litología homogénea o gradacional, que se depositó durante un intervalo de tiempo definido (Vera, 1994).

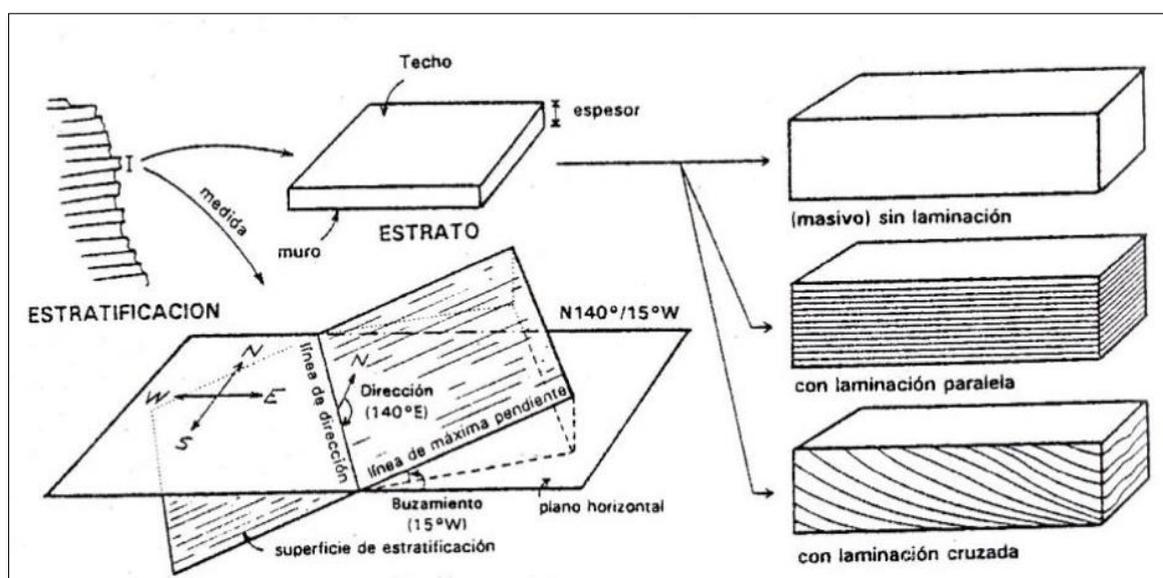


Figura 3. Rasgos de los estratos y medidas de la estratificación (Vera, 1994).

2.2.3.2. TIPOS DE ESTRATIFICACIÓN

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 (Vera, 1994).

Geometría de los estratos

Considerando los estratos individualmente se puede establecer una clasificación de tipos geométricos a partir de la geometría del techo y del muro (Figura 4), (Vera, 1994).

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 gran extensión lateral, con muro irregular y 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 sección de un canal.

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

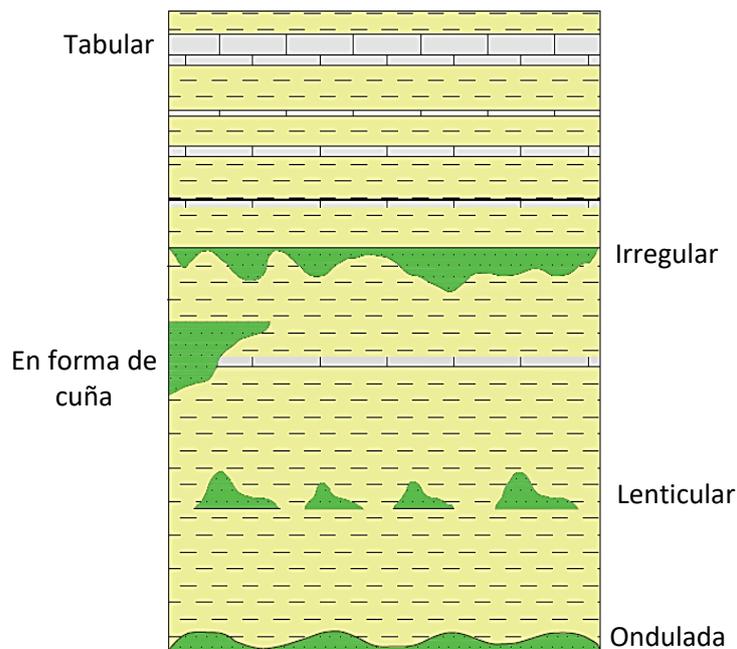


Figura 4. Geometría de los Estratos (Vera, 1994)

Estratos Lenticulares: Son discontinuos con el muro plano y el techo convexo. Una variante de estos son los estratos con forma biconvexa.

Estratos Ondulados: Se caracterizan por ser continuos con muro plano y techo ondulado, con estructuras de Ripples de corrientes o de olas.

Asociación de eventos

Cuando se analizan conjuntos de estratos superpuestos se pueden realizar diversas clasificaciones basadas en criterios de tipo descriptivo, que en gran parte representan diversos tipos genéticos (Figura 5), (Vera, 1994)

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

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 (secuencia negativa).

Estrato decreciente: Contrario al anterior, con disminución de los espesores de los estratos hacia el techo en cada lote (secuencia positiva).

En Haces: Los espesores de los estratos se distribuyen por lotes de estratos de espesores uniformes dentro de cada lote y diferentes entre lotes.

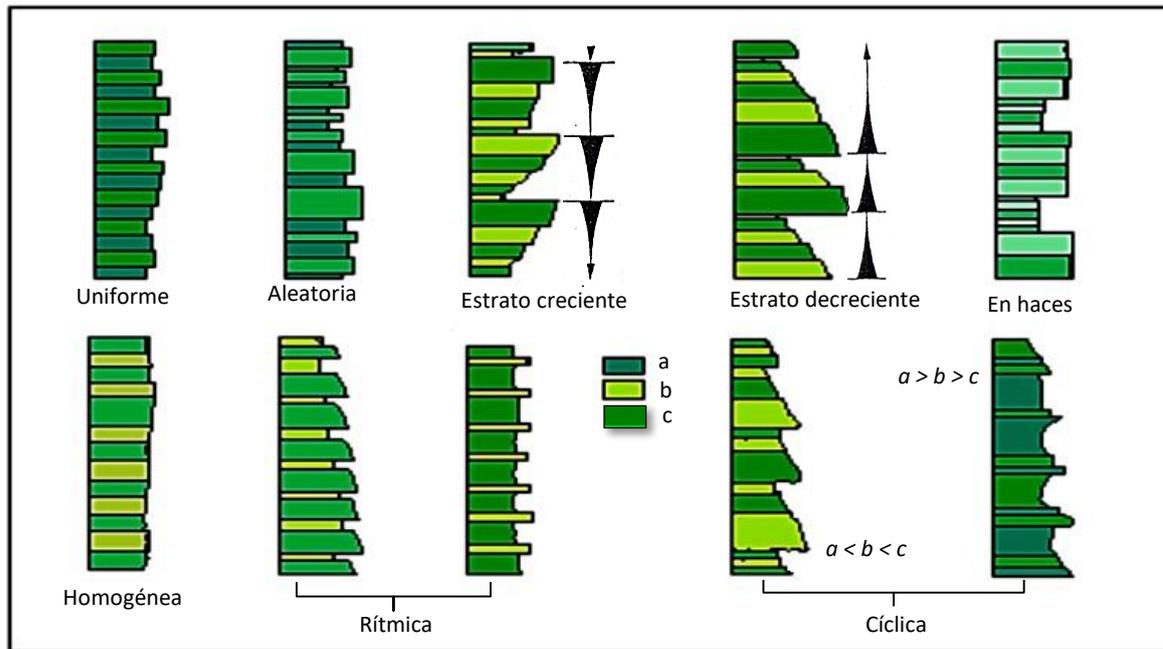


Figura 5. Tipos de asociaciones de estratos (Vera, 1994).

2.2.4. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

2.2.4.1. Estructuras de Ordenamiento Interno

Estratificación paralela

Los estratos están paralelos entre sí, esto indica que la depositación tuvo lugar en el agua y que la energía era baja. Sin embargo, en ambiente de alto régimen también se generan estas estructuras, solo que el tamaño de grano involucrado es mayor (McKee & Weir, 1953).

Estratificación cruzada o sesgada

Es una disposición de las láminas en sentido transversal a los planos de estratificación en líneas rectas inclinadas o formas cóncavas. Los ángulos de inclinación son por lo general de 30° a menores. La estratificación cruzada a pequeña escala es aplicable a la laminación y a gran escala a la estratificación, difieren tan sólo en sus respectivas dimensiones.

Puede formarse por ejemplo en los declives de aguas profundas de un delta, que se va introduciendo en el mar, en dunas, en sedimentos fluviales o en forma diminuta en 'ripple marks'. (McKee & Weir, 1953).



Figura 6. Elementos básicos en la clasificación de la Estratificación Cruzada de canal (izquierda) y estratificación cruzada planar (derecha) (McKee & Weir, 1953).

Estratificación gradada

Es un tipo de estructura de ordenamiento interno de las partículas que consiste en la disminución progresiva del tamaño del grano de la parte inferior a la superior del estrato. Es típica de “turbiditas”, pero puede darse en otros ambientes sedimentarios. Genéticamente corresponde a decantación de material en suspensión a medida que disminuye la velocidad de la corriente. Indica polaridad de estratificación. (Krumbein & Sloss, 1969).

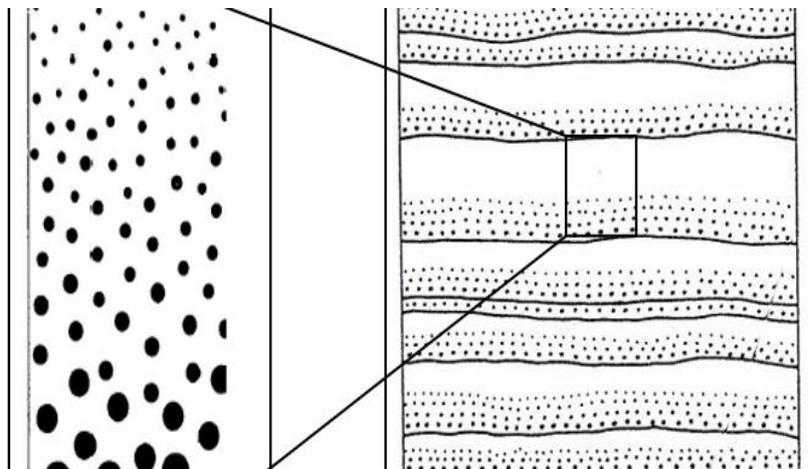


Figura 7. Estratificación Gradual (Krumbein & Sloss, 1969).

Laminación paralela

Es la disposición paralela de las láminas a las superficies límites del estrato y así mismo paralelas entre sí. Se produce por un cambio brusco en la granulometría y la superposición de láminas da lugar a la laminación textural horizontal. Corresponde a un régimen hidráulico alto y con un transporte de material arenoso con elevada energía. (Krumbein & Sloss, 1969).

2.2.4.2. Estructuras de Deformación

Estructuras de carga (load cast)

Las estructuras de deformación se originan por procesos no tectónicos post sedimentarios ya que actúan en las primeras etapas de compactación del depósito. Aparecen como relieves de forma irregular que sobresalen del muro de los estratos, en especial de areniscas. Su génesis es la respuesta a “inestabilidades gravitacionales” originadas por el depósito de sedimentos relativamente densos sobre otros de menor densidad. (Krumbein & Sloss, 1969).

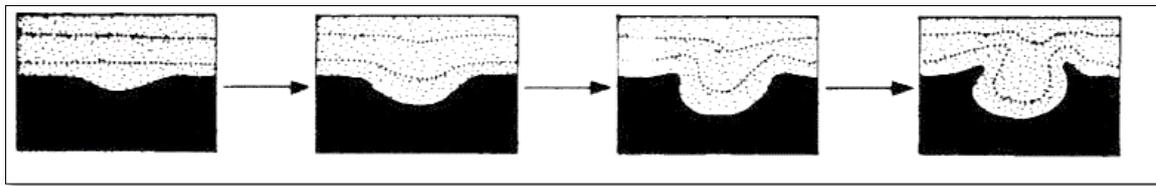


Figura 8. Etapas de las Estructuras de Deformación (Krumbein & Sloss, 1969)

2.2.4.3. Estructuras de Corriente

Marca de flauta o turboglifo (flute mark)

Son surcos discontinuos alargados en dirección al flujo y asimétrico, raras veces fosiliza porque se produce en sedimentos lutíticos, fácilmente erosionables. Lo que suele aparecer es el contramolde o "cast" en la base del estrato arenáceo suprayacente. Son criterios de polaridad, dirección y sentido de la paleocorriente (y, por tanto, paleopendiente), y de las características del medio sedimentario (suelen asociar a corrientes de turbidez), además para determinar el techo y muro de una capa (Krumbein & Sloss, 1969).

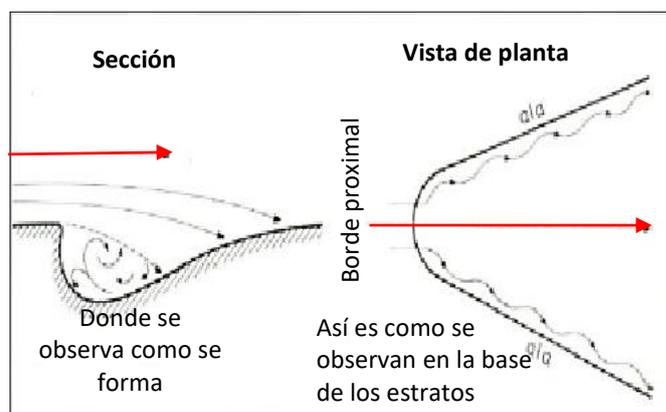


Figura 9. Esquemas de los Flute Mark (Krumbein & Sloss, 1969).

Grietas de desecación (mud crackers)

Se originan en sedimentos fangoso-arcillosos que se secan en contacto con la atmósfera. Al perder agua por evaporación los minerales de la arcilla se contraen y se agrieta. Sirven como criterio de polaridad, paleoambiental, ya que aparecen preferentemente en bordes de lagos, canales abandonados y llanuras de inundación de ríos, y parte superior de las llanuras mareales. (Krumbein & Sloss, 1969).

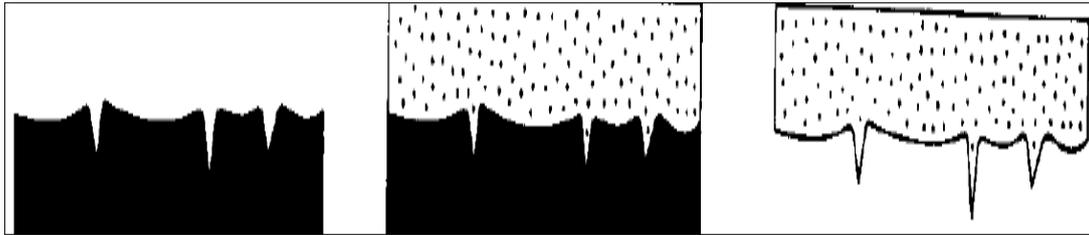


Figura 10. Formación de Moldes de Grietas desecación (Krumbein & Sloss, 1969).

Rizaduras u ondulitas (ripple mark)

Se originan por la acción de corrientes unidireccionales de bajo régimen de flujo o bien por el efecto del oleaje. Las crestas y valles se alinean paralelos a la dirección perpendicular a la de la corriente original. Presentan diversas morfologías según su campo de estabilidad. Así los formados a menor velocidad tienen las crestas rectas y, sucesivamente, cambian a crestas sinuosas cuando la corriente es más rápida. (Krumbein & Sloss, 1969).

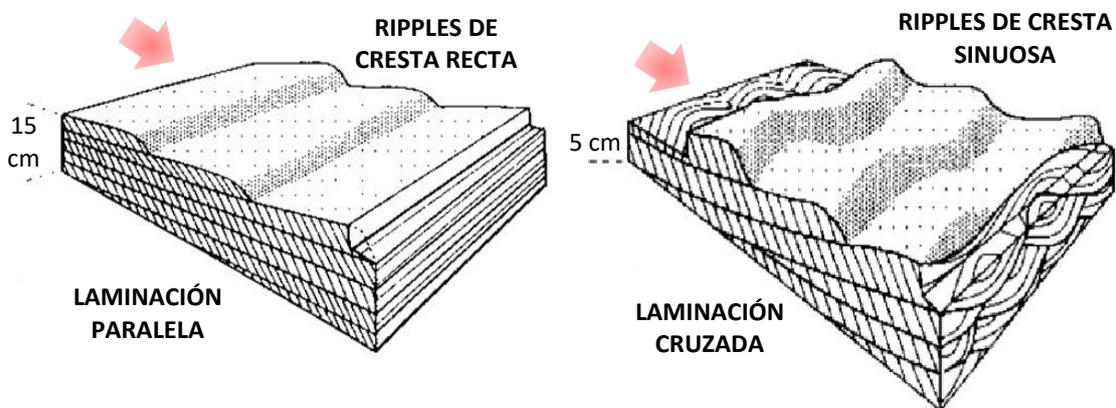


Figura 11. Formación de los Ripples Mark (Krumbein & Sloss, 1969).

2.2.5. SEDIMENTOLOGÍA EN AMBIENTES DELTAICOS

2.2.5.1. Deltas

Son sistemas sedimentarios de geometría generalmente convexa, que destacan en una costa frente a la desembocadura de un río y que se forman cuando el aporte de sedimentos procedentes de este río supera la redistribución de estos sedimentos por parte de procesos marinos tales como olas, corrientes y mareas (Figura 12.).

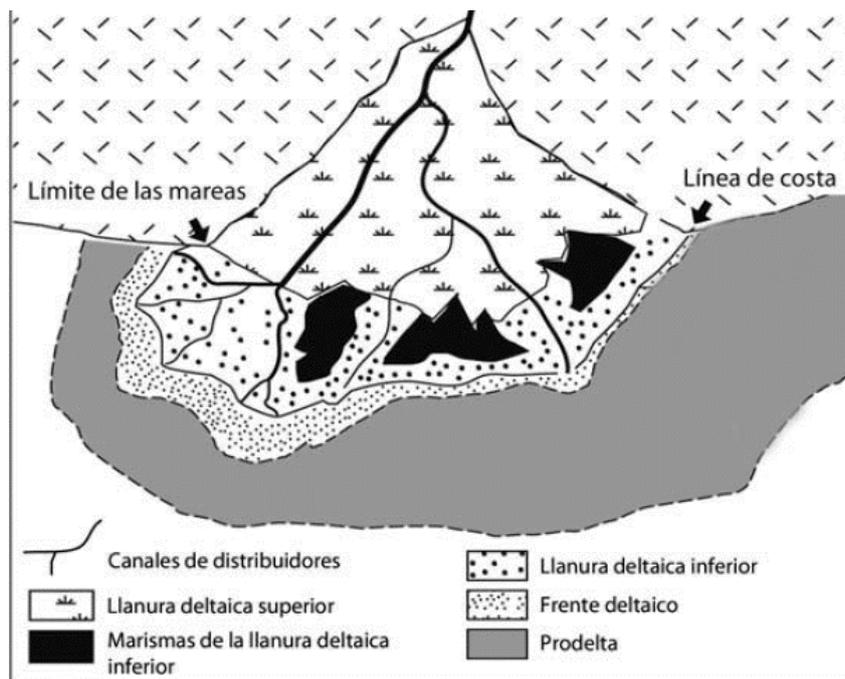


Figura 12. Zonación teórica de un delta (Arche, 2010).

2.2.5.2. Partes de un delta

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

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

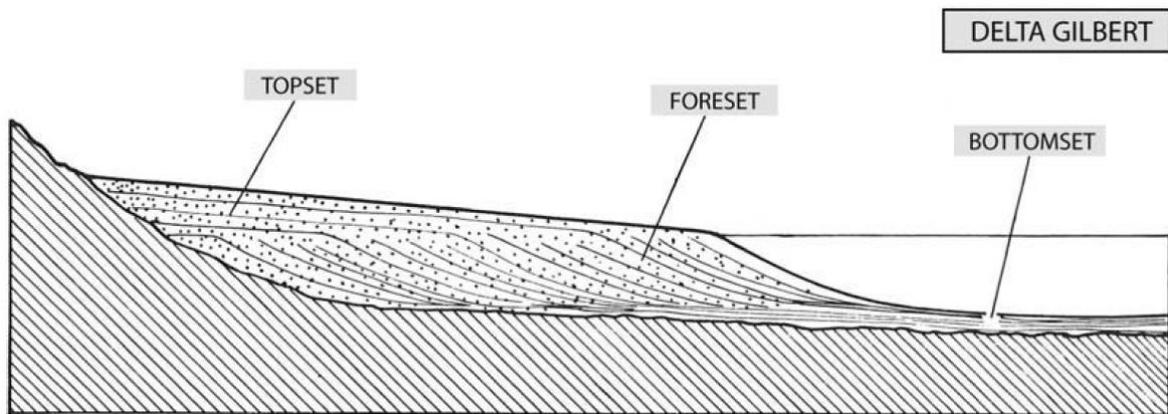


Figura 13. Llanura deltaica, Frente deltaico y Prodelta de un delta (Arche, 2010).

La llanura deltaica puede a su vez dividirse en dos partes: una superior o interna, siempre por encima de la acción marina, que está dominada por los procesos fluviales y otra inferior o externa, donde se da la interacción de procesos fluviales y marinos y que alcanza hasta el límite superior de la marea (Coleman y Prior, 1982; Coleman, 1976). La llanura deltaica puede tener áreas activas y áreas abandonadas, pues el río tiende a buscar el camino más corto hacia el mar, es decir, la máxima pendiente, y abandona un lóbulo cuando ha crecido en demasía.

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

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

2.2.5.3. Sedimentación en un Delta Dominado por Acción Fluvial

El ejemplo actual mejor descrito de este tipo de delta es el Mississippi (Figura 14.), sobre el que existe una enorme cantidad de información acumulada en los últimos cincuenta años. La descripción que sigue se basa en gran parte en este ejemplo.

En este tipo de ambiente se pueden distinguir los siguientes submedios (Arche, 2010):

Llanura deltaica:

Presenta un relieve muy pequeño y extensas áreas pueden quedar cubiertas por las aguas dulces o saladas por fenómenos como desbordamientos o tormentas.

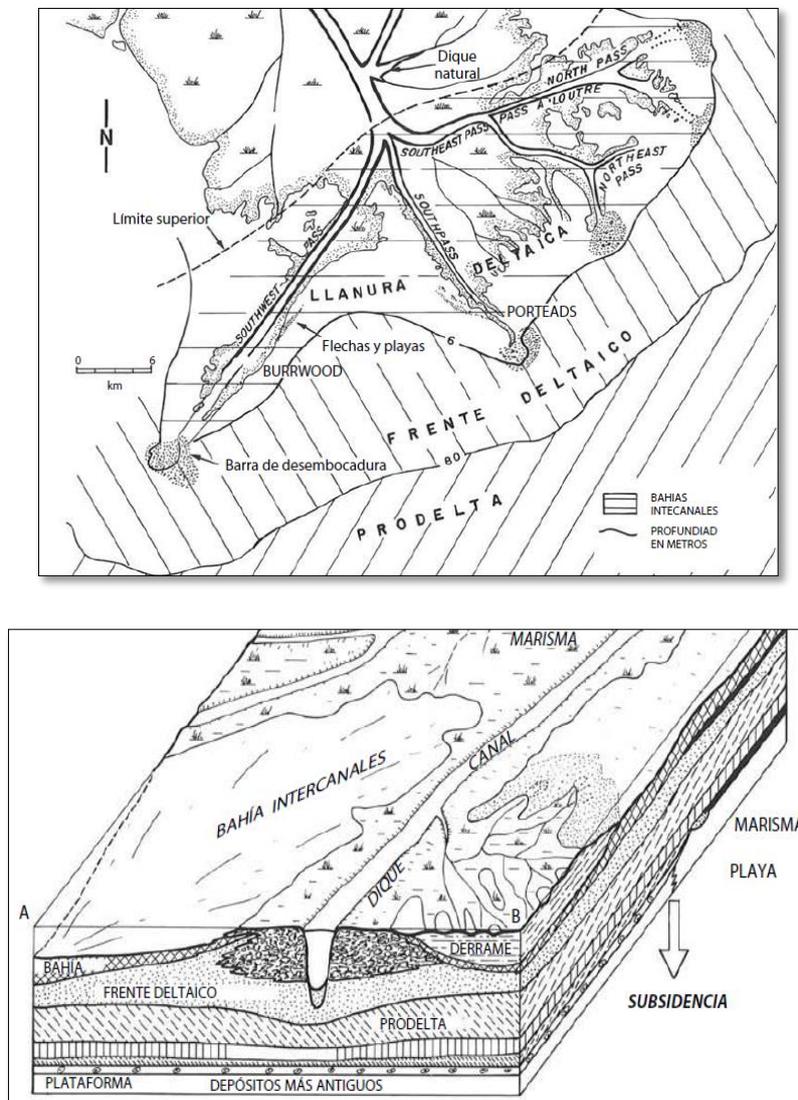


Figura 14. Submedios en el delta actual del Mississippi, con claro predominio fluvial (Modificado de Fisk, 1961 y Gould, 1970; Arche, 2010).

- a. Canales distribuidores:** Son los tramos finales de los cauces fluviales, por los que se distribuye el caudal y la carga sólida asociada; puede ser único, pero en general existen varios, subdiviniéndose hacia la parte baja en forma más o menos radial. El flujo en ellos es unidireccional y tiene variaciones estacionales de caudal. Sus dimensiones son variables (de más de 1 km a unos pocos metros).
- b. Bahías intercanales y depósitos de derrame:** Son las zonas situadas entre los canales activos, de muy poca profundidad y poca agitación. Se rellenan por materiales procedentes de los canales distribuidores en momentos de avenida por diferentes procesos: Por inundación, cuando las aguas desbordan el canal distribuidor en las avenidas, se forma un flujo no canalizado sobre toda el área, y se deposita una fina capa de arena y limo, cuya estructura interna desaparece posteriormente por bioturbación; otro proceso es el de los derrames localizados, a través de pequeñas roturas en los diques naturales de los canales distribuidores; también puede ser también semi-permanente y entonces se forman canales de derrame que progradan rápidamente.
- c. Marismas:** Se forman en los estadios finales de relleno de las bahías, cubriendo las plantas de agua dulce la superficie recién formada, pero con el tiempo, comienza la compactación de los sedimentos, dejan de llegar inundaciones y el mar comienza a invadir de nuevo la zona, desintegrando el tapiz vegetal que muere, y regresando a las condiciones de bahía intercanales.

La sucesión sedimentaria idealizada que resulta de la progradación de un sistema o complejo deltaico como el descrito es la de la Figura 15.

ASOCIACIONES DE FACIES	ESPESOR	LITOLOGÍA
BAHÍAS Y MARISMAS	2-25 m	
DERRAMES LATERALES	3-10 m	
BAHÍA INTERCANALES	3-25 m	
INUNDACIONES	3-10 m	
PLAYA Y DUNAS	7 m	
CANAL Y BARRA DE DESEMBOCADURA	>100 m	
PARTE DISTAL DE LA BARRA	10-25 m	
PRODELTA	20-50 m	
BLOQUES DESLIZADOS		
PLATAFORMA	0-150 m	

Figura 15. Sucesión sedimentaria ideal de un delta dominado por la acción fluvial inspirada en el ejemplo del río Mississippi. Modificado de Coleman y Wright 1975, (Arche, 2010).

La parte basal es un potente cuerpo de limos y arcillas con abundante fauna marina y bioturbación, que gradualmente pasa en la parte media a alternancias de limos, arcillas y arenas finas con ripples, también con fauna marina o salobre, pero cada vez más escasa, y a un cuerpo arenoso con estratificación cruzada de surco o planar sin fauna o bien restos de plantas y animales de origen continental, con superficies de crecimiento inclinadas.

La parte superior, en contacto neto y en ocasiones erosiva, está formada por una o varias secuencias granocrecientes de limos y arenas, que acaban en niveles de turba, suelos o costras salinas, y representan los depósitos de llanura deltaica.

Esta sucesión totalmente fluvial puede modificarse por procesos como deslizamientos subacuáticos y diapirismo, inducidos por la rápida acumulación de sedimentos, así como por la acción de procesos propios de la cuenca de recepción, fundamentalmente olas y mareas.

2.2.5.4. Sedimentación en Deltas Dominados por la Acción de las Olas

Si las olas son capaces de redistribuir parcialmente el sedimento aportado por el río, el resultado final puede ser una acumulación de sedimentos muy diferente a la antes descrita. El efecto del oleaje puede ser moderado como en el Po, Ebro, Ródano (Figura 16) o muy acusado como en el Tíber, São Francisco o Senegal, existiendo una gradación completa entre los deltas dominados por la acción fluvial y las costas lineales clásticas.

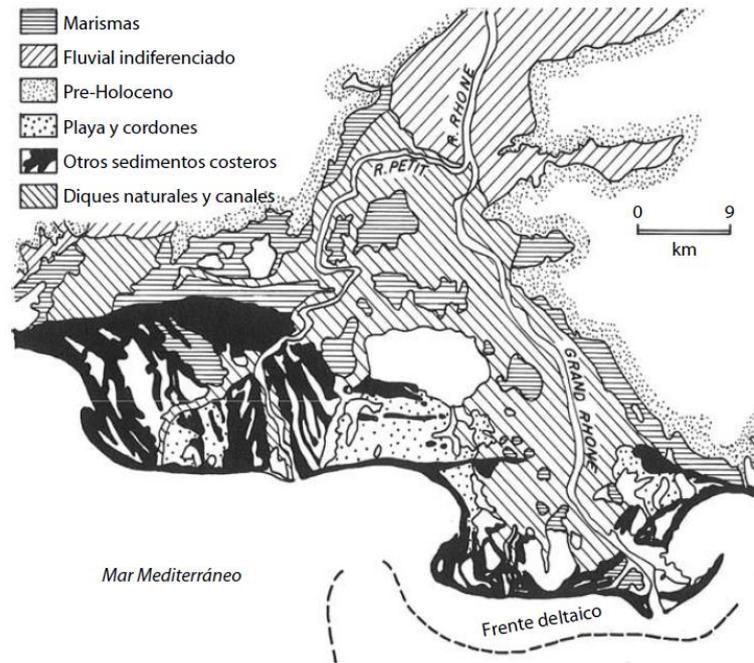


Figura 16. Delta dominado por la acción de las olas (río Ródano). Modificado de Fisher 1969, (Arche, 2010).

La progración del complejo deltaico se debe a acreción de cordones playeros y barras de desembocadura reducidas frente a la desembocadura de los canales distribuidores, pero en las áreas no activas puede darse incluso retroceso por erosión del techo del complejo.

La sucesión sedimentaria resultante es grano y estratocreciente, el miembro arenoso tiene arenas bien clasificadas con estratificación cruzada planar o paralela, y ocasionalmente se encuentran al techo los sedimentos del canal distribuidor. Tiene fauna marina.

Si la acción de las olas es más intensa, las barras de desembocadura no se forman, y la forma del delta es triangular, con una pequeña protuberancia en la desembocadura. La progración se produce por avance de los cordones playeros sobre todo el frente, no en puntos concretos

donde desemboquen canales, formando un manto de arena de gran continuidad lateral con estratificación paralela y cruzada de bajo ángulo, y a veces, dunas a techo (playa clásica).

En la Figura 17 se representa la sucesión sedimentaria ideal de este caso extremo, en el río Sao Francisco, de Brasil; se aprecia que el miembro arenoso es idéntico al de un complejo playero, y sobre todo en series antiguas, sólo la presencia o no, de una red de drenaje importante tras el complejo podría diferenciarlo de una costa lineal clásica; estas consideraciones a escala regional no siempre son fáciles de conseguir.

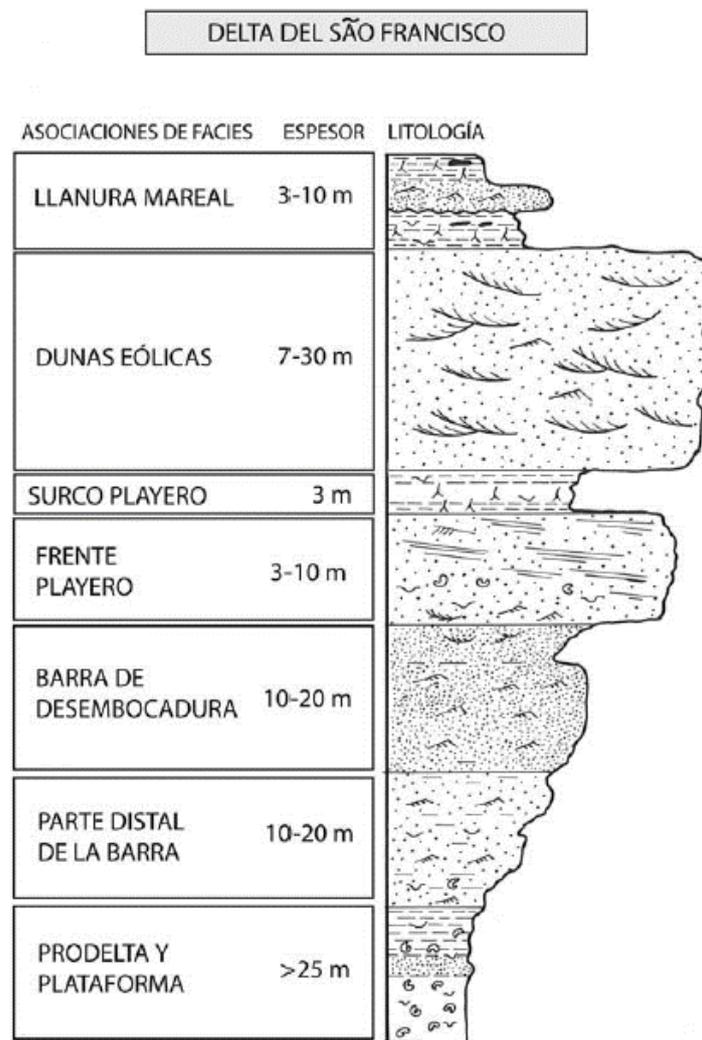


Figura 17. Sucesión sedimentaria ideal de un delta dominado por la acción de las olas inspirada en el ejemplo del río São Francisco (Modificado de Coleman, 1976; Arche, 2010).

2.2.5.5. Deltas Dominados por la Acción de las Mareas

En zonas meso a macromareales, la acción de las mareas se deja sentir produciendo también profundas modificaciones de la sucesión sedimentaria deltaica. Los sedimentos se acumulan en barras longitudinales movidas por las corrientes mareales y fluviales Figura 18.

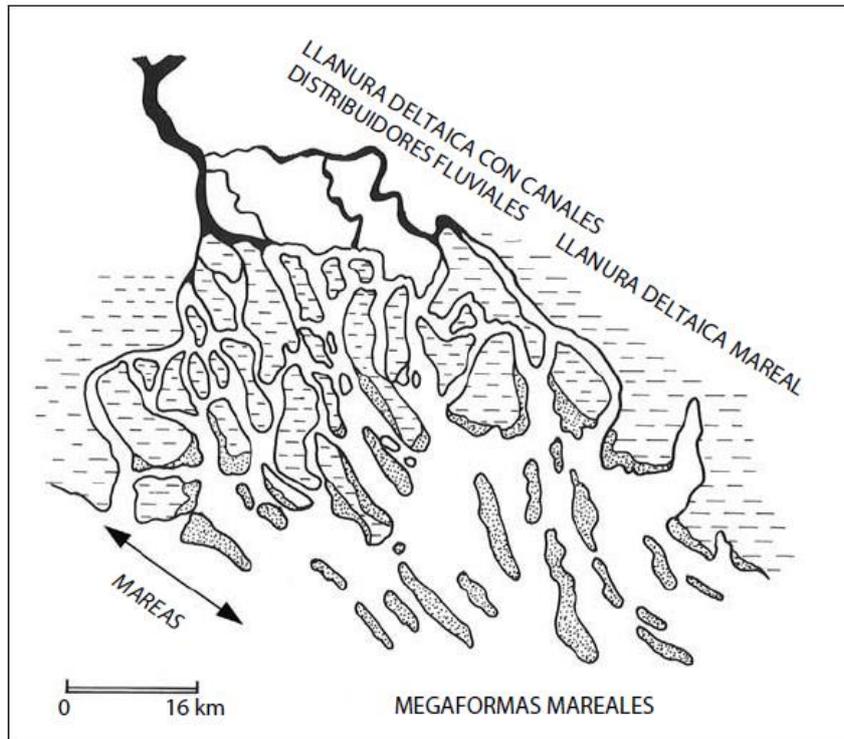


Figura 18. Delta dominado por la acción de las mareas (río Kikori, golfo de Papúa). Modificado de Fisher et al. 1969 (Arche, 2010).

La sucesión sedimentaria resultante de la progradación del delta actual tiene unos 30 m de espesor (Figura 19.). Comienza en su base por arcillas con bioturbación y fauna marina, seguida de alternancias de arenas y arcillas, y finaliza en arenas con estratificación cruzada planar o paralela (playas) cortadas por cuerpos lenticulares con estratificación cruzada de surco bipolar (canales mareales).

Si incrementamos progresivamente el rango mareal (de 4 a 12 m) la morfología va cambiando (Mekong, Ganges, Papua, Ord), dando lugar a una topografía compleja (Fisher et al., 1969) de islas y barras longitudinales subacuáticas que separan canales distribuidores fluviales-mareales que en aislado son estuarios (Figura 19).

Los sedimentos se acumulan en barras longitudinales de 1,5 a 2,5 km de longitud y 3 a 10 m de altura con facies heterolíticas dominantes y numerosas superficies de reactivación. Son casi imposible de distinguir en sección vertical de megaformas similares en estuarios.

Las barras subacuáticas tienen en el Ord (Coleman y Wright, 1975) 2 km de largo, 300 m de ancho y 10-12 m de altura de media, y en el Ganges son aún mayores. Están cubiertas de formas menores orientadas según el flujo o el reflujó. La sucesión sedimentaria resultante de su progradación (Figura 19.; Coleman, 1976) comienza por un cuerpo de arcillas reducido, pues el material fino no puede apenas decantarse por la energía del medio, seguido de alternancias de arenas y limos, y un potente cuerpo arenoso de decenas de metros de espesor con estratificación cruzada de surco bipolar, numerosas láminas de arcilla y superficies de reactivación, representando las barras arenosas. El techo está constituido por secuencias de granulometría decreciente que representan llanuras mareales que ocupan la llanura deltaica, y cuerpos arenosos lenticulares que las cortan (canales distribuidores).



Figura 19. Sucesión sedimentaria ideal de un delta dominado por las mareas, inspirado en el ejemplo del río Ord. Modificado de Coleman, 1976 (Arche, 2010).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Facies: La suma total de los aspectos litológicos y paleontológicos de una unidad estratigráfica (Gressly, 1838).

Estratigrafía: Rama de la geología que trata del estudio e interpretación de las rocas sedimentarias y estratificadas, y de la identificación, tanto vertical como horizontal, cartografía y correlación de las unidades estratigráficas de las rocas (Weller, 1960).

Estrato: Un nivel de roca o sedimento más o menos distinguible de forma visual o física, separados de los niveles superior e inferior por superficies denominadas superficies de estratificación (Campbell, 1967).

Transgresión: Movimiento horizontal tierra adentro de la línea de costas o Como un avance o extensión del mar sobre áreas en las que anteriormente había depósito (o erosión) continental debido a una elevación brusca del nivel relativo del mar (Vera, 1994).

Regresión: Movimiento horizontal mar adentro de las líneas de costa o Como un avance o extensión de áreas con depósitos costero y/o continental sobre áreas anteriormente ocupadas por el mar debido a un descenso brusco del nivel relativo del mar (Vera, 1994).

Sedimentación: Es el proceso geológico mediante el cual los materiales detríticos erosionados de las rocas pre-existentes se acumulan en un determinado lugar, que pueden ser los fondos marinos, los fondos lacustres o las depresiones continentales (Dávila, 1985).

CAPÍTULO III.

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE INVESTIGACIÓN

El área de trabajo está ubicada en el departamento de Cajamarca, en los sectores de San Cirilo, Callacpuma y Chilete, en los alrededores de la ciudad de Cajamarca (Figura 20).

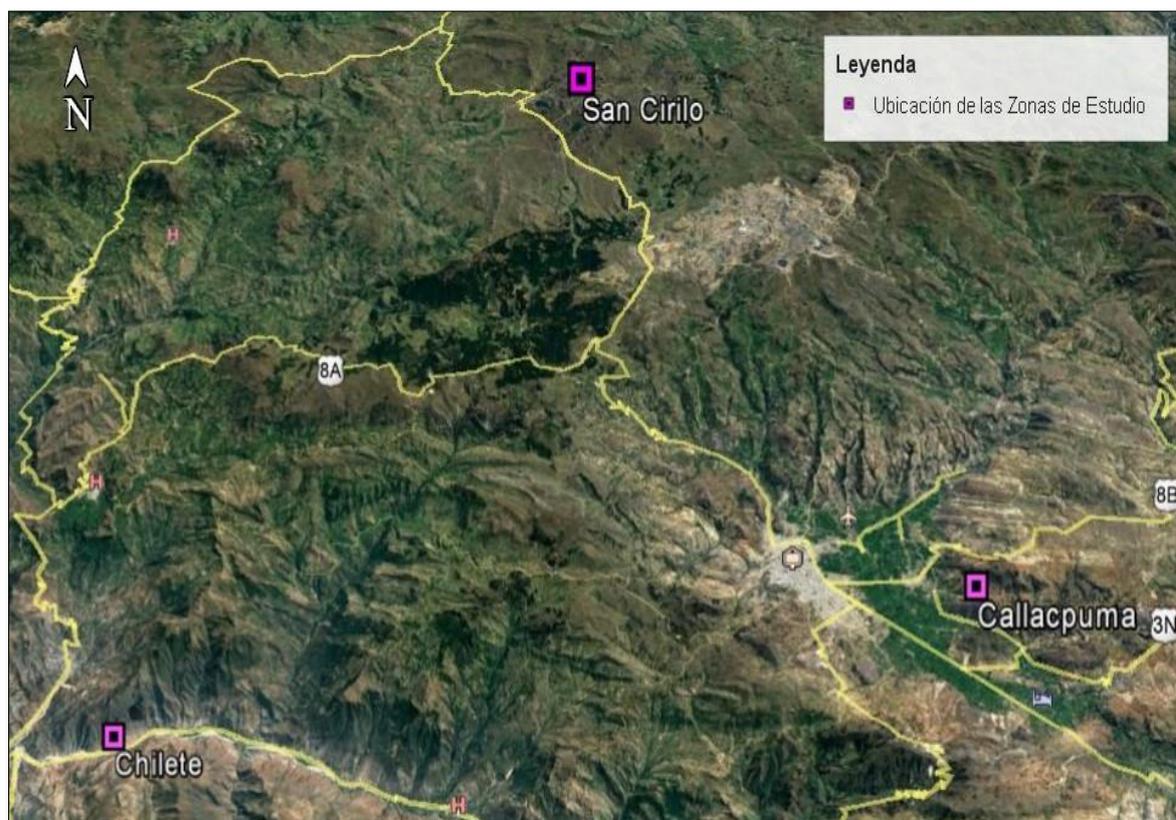


Figura 20. Ubicación de los sectores San Cirilo, Callacpuma y Chilete.

3.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA

Las zonas estudiadas (San Cirilo, Callacpuma y Chilete) se encuentran ubicadas políticamente en el departamento de Cajamarca, provincias de Cajamarca y Contumazá, y distritos de Cajamarca, Baños del Inca y Chilete (Tabla 2).

Tabla 2. Ubicación política de los sectores estudiados.

Sector	Departamento	Provincia	Distrito	Coordenadas UTM-WGS84-17S de la zona estudiada		
				Este	Norte	Altitud
Chilete	Cajamarca	Contumazá	Chilete	743074	9200895	919
San Cirilo	Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	765248	9237398	3950
Callacpuma	Cajamarca	Cajamarca	Baños del Inca	782654	9205898	2936

3.1.2. ACCESIBILIDAD

Para acceder a estos lugares se accede por la vía Cajamarca-Hualgayoc (Hacia San Cirilo), Cajamarca-Shaullo Chico (Hacia Callacpuma) y Cajamarca-Ciudad de Dios (Hacia Chilete) (Tabla 3).

Tabla 3. Rutas de acceso a las zonas de estudio.

De	A	Estado de Vía	Distancia (Km)	Tiempo en auto (Hrs)	Observación
Cajamarca	Chilete	Asfaltada	82	2	La zona se encuentra a 100 metros del puente Muyuna, Km 96 de la carretera Cajamarca - Ciudad de Dios.
Cajamarca	San Cirilo	Asfaltada	47	1.5	La zona se encuentra a 3Km entrando por el NE del desvío hacia las Lagunas de San Cirilo
Cajamarca	Shaullo Chico	Asfaltada	8.5	0.5	La zona se encuentra a 500 metros desde la Plazuela de Shaullo Chico con dirección hacia el SE (Cerro Callacpuma)

3.2. PROCEDIMIENTO

Para el desarrollo de la presente tesis, se describe las etapas según las siguientes categorías:

Etapas de Gabinete: Síntesis bibliográfica

Consistió en la recopilación de información técnica general y detallada del área y bibliografía especializada, diseñando planos geológicos iniciales de los sectores de interés.

Etapas de campo

Cartografiado de los sectores (San Cirilo, Callacpuma y Chilete) así como la recolección de datos geológicos de rocas sedimentarias, luego elaboración de columnas estratigráficas detalladas de las Formaciones Carhuaz y Farrat en los sectores mencionados.

Etapas de Gabinete final

Procesamiento de los datos recopilados de campo, para ello se empleará software de soporte: Microsoft Office 2016, AutoCAD 2018, ArcGis 10.6.1, Global Mapper 20, y digitalización de la columna lito-estratigráfica utilizaremos el software SedLog 3.1 y Strater 5.3.

Interpretación de los datos obtenidos en campo, elaboración de planos y el texto de la tesis, así como la contrastación de la hipótesis.

3.2.1. METODOLOGÍA

El tipo de investigación será analítica y de nivel descriptiva-correlacional en campo, ya que se centra en la observación directa en campo, sin pruebas de laboratorio de parámetros geológicos.

3.2.2. TÉCNICAS

Las técnicas empleadas para el acopio de la información serán:

Análisis Documental y observación Dirigida. Recopilación de información de facies, ambientes y estructuras sedimentarias.

Cartografiado Geológico. Se ha efectuado por la ubicación y contactos de las estructuras y tipo de litología.

Tomas Fotográficas. En cada estación estratigráfica, paisaje se ha tomado fotografías puntuales para la descripción correspondiente.

Muestreo litológico. Se realizó la descripción macroscópica de la litología de la Formación Carhuaz y Farrat.

Elaboración de columnas estratigráficas. Se realizó la elaboración de tres columnas estratigráficas mediante el software SedLog y Strater.

3.2.3. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

Para el desarrollo de la presente tesis se empleó los siguientes equipos y materiales:

Libreta de campo: En el cual se realizó los apuntes y gráficos correspondientes a las zonas de estudio.

Brújula Brunton: Equipo Geológico Azimutal para medir rumbos y buzamientos de los estratos y estructuras de las Formaciones Carhuaz y Farrat.

GPS Navigator: Permitió determinar las coordenadas en el Sistema UTM de las características geológicas de las Formaciones Carhuaz y Farrat.

Flexómetro de 5 m. Instrumento de medición utilizado para medir el espesor de los estratos.

Imágenes satelitales: Documento que nos permitió identificar y ubicar las estratigrafías y estructuras de las zonas de estudio.

Plano Topográfico - Plano Geológico (Escala: 1/25,000), coordenadas UTM WGS -84: Documento de la zona de estudio en escala 1/100000 de los cuadrángulos de Cajamarca 15-f y de San Marcos 15-g del INGEMMET.

Lupas de 20X: Equipo que sirvió para el reconocimiento mineralógico y petrográfico en la estratigrafía de las Formaciones Carhuaz y Farrat.

Picota de geólogo: Equipo para la extracción de muestras petrográficas y su posterior estudio y análisis en gabinete.

Cámara Fotográfica Digital: Instrumento con el cual se recopiló fotografías de las diferentes estructuras, litologías, cambios de facies, etc.

Protáctor: Instrumento para analizar los buzamientos, rumbos y escalas en los planos.

Útiles de Escritorio: Se utilizó durante todas las etapas del trabajo de investigación, como papel, lápiz, colores, plumones, etc.

Laptop: Equipo que permitió hacer la redacción, gráficas, planos y el informe final del presente trabajo de investigación.

Impresora: Permitted la impresión de los trabajos digitalizados

3.2.4. PROCEDIMIENTO DEL TRABAJO

3.2.4.1. Levantamiento de las Columnas Estratigráficas en Campo

Se realizaron visitas a los 3 sectores de estudio, donde se levantaron las columnas estratigráficas de las Formaciones Carhuaz y Farrat. Para este fin, se utilizaron tablas guías y los instrumentos necesarios, los datos fueron plasmados en hojas milimetradas a escala de 1/500. En cada estrato estudiado se documentaron sus propiedades físicas observables, litología, estructuras de ordenamiento interno del estrato, coloración, minerales destacables, etc. También, se recolectaron fotos, datos de paleocorrientes, comentarios extras, que sirvieron para los fines de la investigación.



Foto 1. Levantamientos de las columnas estratigráficas en los sectores de San Cirilo (Izquierda) y Chilete (Derecha).

También se realizó una visita guiada por el asesor de la presente investigación a la zona del sector Callacpuma, donde se reforzó la metodología de la toma de datos en campo.



Foto 2. Estratos de areniscas para la elaboración de la columna estratigráfica del sector Callacpuma de la Fm. Carhuaz.

3.2.4.2. Digitalización de las Columnas Estratigráficas

En la etapa de gabinete se procedió a digitalizar las columnas estratigráficas con el software SedLog, por su facilidad y practicidad a la hora de ingresar los datos descriptivos en el orden deseado, este software, además, permitió plasmar las estructuras halladas en campo para poder así interpretar el tipo de facies sedimentarias que se han hallado.

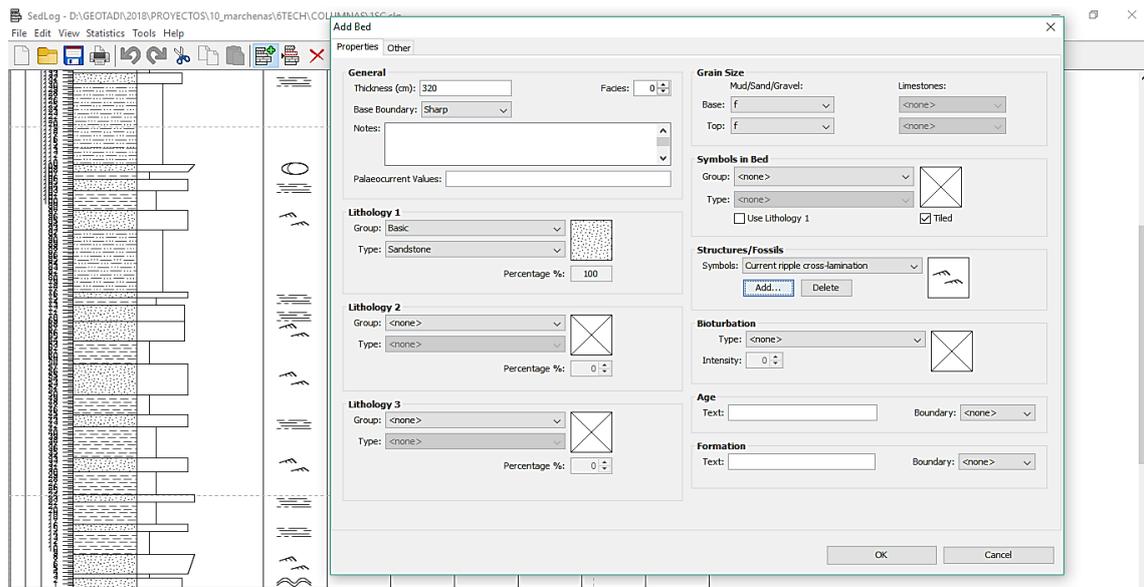


Figura 21. Digitalización de una columna estratigráfica en el software SedLog (sector San Cirilo).

Luego, la información del software SedLog se exportó para luego ser ingresado al software Strater para la creación de las columnas finales, por el nivel de personalización que alcanza (formas, tipos, colores, etc.) que se puede dar a las columnas estratigráficas.

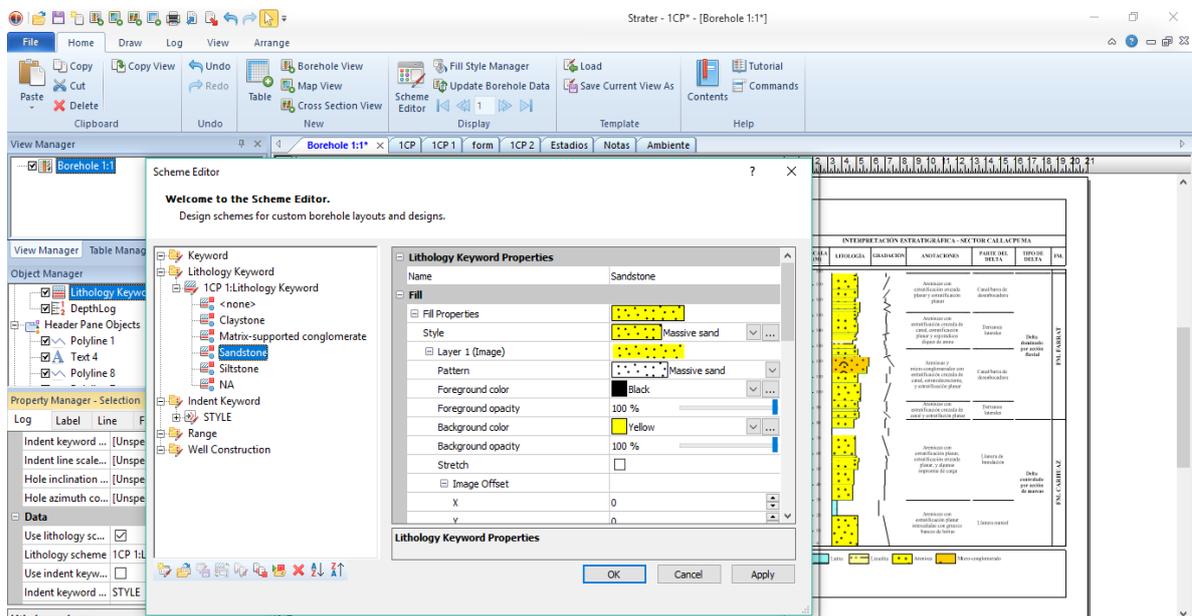


Figura 22. Interpretación de las columnas estratigráficas en el software Strater 5.

3.2.4.3. Presentación de los Resultados

Los resultados finales fueron presentados como columnas estratigráficas de sector, estas facies fueron asociadas según el tipo de ambiente sedimentario posible al que pertenecieron, así, se pudo concluir a cuál tipo de ambiente deltaico pertenecieron las unidades estudiadas.

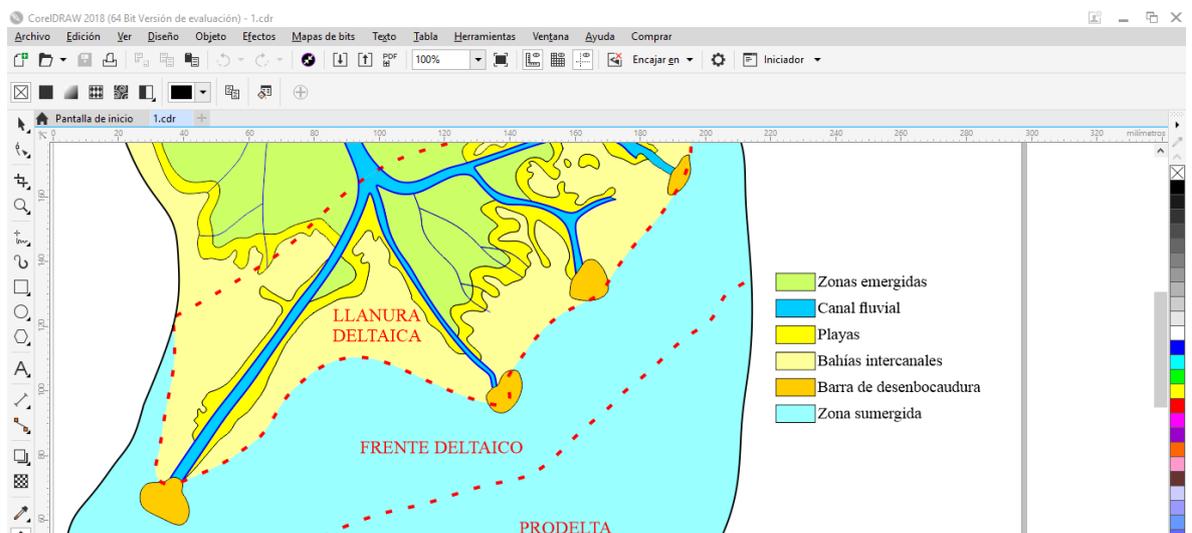


Figura 23. Elaboración de los gráficos finales en el software CorelDraw 2018.

3.3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

3.3.1. FISIOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA

Los sectores estudiados se encuentran ubicados en la cordillera nor-occidental de los andes peruanos, caracterizados por montañas de alturas variables de entre 1000 a 4000 m.s.n.m., sin presentar nevados. Las rocas, predominantemente sedimentarias, crean un drenaje paralelo característico.

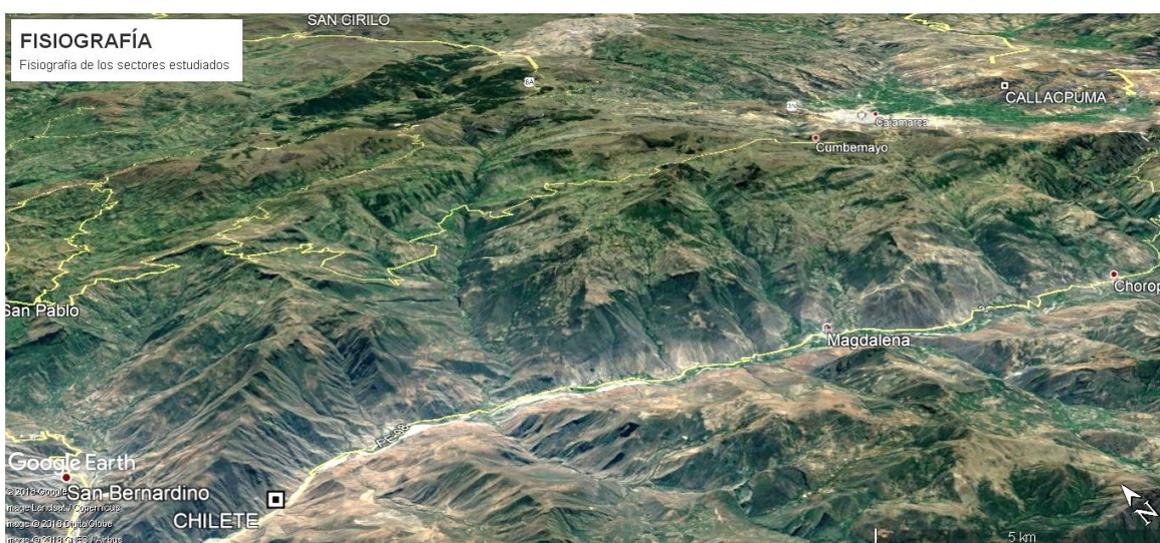


Figura 24. Fisiografía de los sectores estudiados.

3.3.2. GEOMORFOLOGÍA

En el área de estudio se realizó la zonificación de las Unidades Morfofenéticas resaltando la importancia de la investigación de Rodríguez (2018); se consideró los parámetros de geometría y pendiente lo cual sirvió como base para dicha investigación, Además se consideró las curvas de nivel, los parámetros de altitud mínima y máxima en los tres sectores (Callacpuma, Chilete y San Cirilo).

TIPO DE RELIEVE	GEOMETRIA	LITOLOGIA	ORIGEN	EDAD LITOLÓGICA		
				PERIODO	EPOCA	EDAD
UNIDAD MORFOGENÉTICA (UM)	PENDIENTE	ASOCIADA A SU COMPOSICION	ASOCIADO A LEVANTAMIENTO O PROCESO GEOLÓGICO			
Planicies	0° - 8°					
Lomadas	8° - 20°					
Laderas	20° - 50°					
Escarpas	> 50°					

Figura 25. Matriz para Clasificación de las Unidades Morfofenéticas (Rodríguez, 2018).

Planicies: Se ha denominado planicie en la zona de investigación a la superficie bastante homogénea, poco cambiante en su morfología, ligeramente ondulada, poca erosión actual, presentando una pendiente entre 0° a 8° y comprenden áreas relacionadas con los depósitos aluviales y fluvio-aluviales.



Foto 3. Geomorfología del sector San Cirilo, mostrando la planicie andina con las conocidas “Lagunas del Alto Perú”.

Lomadas y Escarpes: Las lomadas, geformas de tendencia cómica, pequeñas elevaciones, homogéneas y pendientes suaves. Su rango de pendientes está entre 8° y 20° . Los escarpes son fuertes desniveles entres dos puntos o superficies, caracterizado por tener formas alargadas, pendientes suaves en sus topes y pisos, el intervalo de inclinación debe ser mayor a 50° ya que con esta pendiente siempre tendremos tendencia a una mayor inestabilidad.



Foto 4. Unidades Morfogenéticas sector San Cirilo (Lomadas y Escarpes)

En el sector Chilete se puede observar grandes escarpes que sobresalen del valle fluvial y se alzan mostrando estratos con fuerte buzamiento. Inclinación actual es debida a los diversos eventos tectónicos que afectaron a toda la región durante el Cenozoico.



Foto 5. Unidades Morfogénicas sector Chilete (Escarpes).

Laderas: En la investigación se realizó la caracterización de las geoformas en el sector Callacpuma teniendo en cuenta la pendiente con intervalos de 20° a 50° , con lo cual determinamos estas geoformas con mayor precisión. Es conocido el anticlinal excavado de Baños del Inca, formado por los cerros Condorpuñuna y Callacpuma (sector Callacpuma del presente estudio), donde se encuentran estratos buzando contrariamente en cada montaña, siendo el eje del anticlinal el valle de Shaullo.



Foto 6. Unidades Morfogénicas sector Callacpuma (Laderas). Interpretación geológica del Anticlinal excavado de Baños del Inca, en la parte derecha del mismo se ubica el cerro Callacpuma. (Lagos, 2010).

3.3.3. GEOLOGÍA REGIONAL

La región Cajamarca tiene principalmente rocas sedimentarias formadas a fines del Jurásico (Reyes, 1980), donde se formó una cuenca al oeste que fue cubierta por el mar y siguió desarrollándose en el Neocomiano-Aptiano, depositándose casi exclusivamente sedimentos clásticos, representados por 1,500 m. en la cuenca (Grupo Goyllarisquizga, Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat) y apenas unos 200 m. en la plataforma. Si bien el mar cubría sectores de la cuenca, éste no fue profundo, por lo que casi toda la acumulación clástica es deltaica o playera a excepción de las calizas de la Formación Santa (representando una considerable transgresión), mientras que la plataforma permaneció prácticamente emergida.

A fines del Aptiano y comienzos de Albiano, la cuenca y plataforma empezaron a hundirse, invadiendo decididamente el mar a la cuenca y en forma progresiva, cubriendo totalmente recién en el Albiano medio. En estas circunstancias, se depositaron los niveles calcáreo-arenosos de la Formación Inca, seguido de las calizas Chulec y Pariatambo en la cuenca.

A fines de Albiano medio, el mar cubrió totalmente la región llegando hasta el oriente peruano, condiciones que subsistieron hasta el Santoniano, en cuyo lapso se depositaron en la cuenca, rocas calcáreas de las Formaciones Yumagual, Mujarrúm, Quilquiñán, Cajamarca y Celendín (ésta última con bastante contenido arenoso) llegando a un grosor de 1,500 m. aproximadamente.

En el Paleógeno se depositaron los derrames y brechas del volcánico Llama, seguidas de las brechas piroclásticas y tobas del volcánico Porculla; y finalmente en el Neógeno se depositaron las tobas de cenizas y cristales del volcánico Huambos, en la región.

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD	ABREV.	SIMB.	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	NEÓGENO	MIOCENO	Volc. Huambos	Nm-vh	X X	Tobas de cenizas y cristales
		PALEÓGENO	OLIGOCENO	Volc. Porculla	Po-vp	◻ ◻
	EOCENO		Volc. Llama	Pe-vll	▨ ▨	Derrames y brechas andesíticas
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	Fm. Celendín	Ks-ce	▨ ▨ ▨ ▨ ▨	Calizas mudstone y lutitas calcareas
			Fm. Cajamarca	Ks-ca	▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨	Calizas cristalinas y calizas wackestone
			Fm. Quilquiñan-Mujarrún	Ks-qm	▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨	Calizas wackestone y lutitas calcareas
			Fm. Yumagual	Ks-yu	▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨	Calizas cristalinas y calizas wackestone
		INFERIOR	Fm. Pariatambo	Ki-pa	▨ ▨ ▨ ▨ ▨	Lutitas calcáreas y calizas mudstone bituminosas
			Fm. Chulec	Ki-chu	▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨	Calizas wackestone y lutitas calcareas
			Fm. Inca	Ki-in	▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨	Limolitas y areniscas ferruginosas
			Fm. Farrat	Ki-f	▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨	Areniscas cuarzosas de grano grueso
			Fm. Carhuaz	Ki-ca	▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨	Limolitas y areniscas ferruginosas
			Fm. Santa	Ki-sa	▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨	Lutitas y limolitas gris-oscuras
			Fm. Chimú	Ki-chim	▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨ ▨	Areniscas cuarzosas de grano grueso

Figura 26. Columna estratigráfica resumida de la Región de Cajamarca.

3.3.4. GEOLOGÍA LOCAL

Las unidades a estudiar (Formaciones Carhuaz y Farrat) se formaron en la conocida Cuenca Occidental (Cuenca Chicama) (INGEMMET, 1995), esta cuenca fue de depositación deltaica durante el Cretácico inferior, con aportes aparentemente del Norte (Carlotto et al.,

2009), en las cercanías de Cajamarca se pueden diferenciar 4 unidades (Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat), mientras en los bordes de la cuenca todo el paquete sedimentario se considera como una sola unidad (grupo Goyllarisquizga).

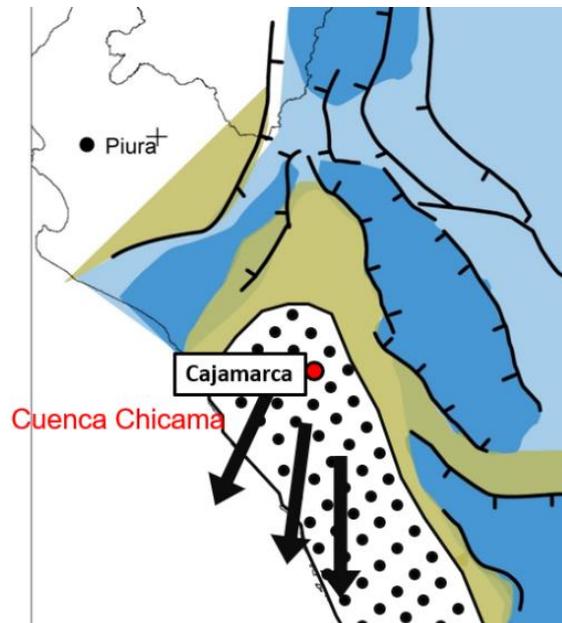


Figura 27. Geografía de la cuenca Chicama durante el Cretácico inferior (Carlotto et al., 2009).

Al oriente se desarrolló una cuenca de similares características, separados por el Alto del Marañón, siendo el Grupo Oriente con sus unidades Formaciones Cushabatay, Raya y Agua Caliente; la contraparte del Grupo Goyllarisquizga (Mégard, 1979).

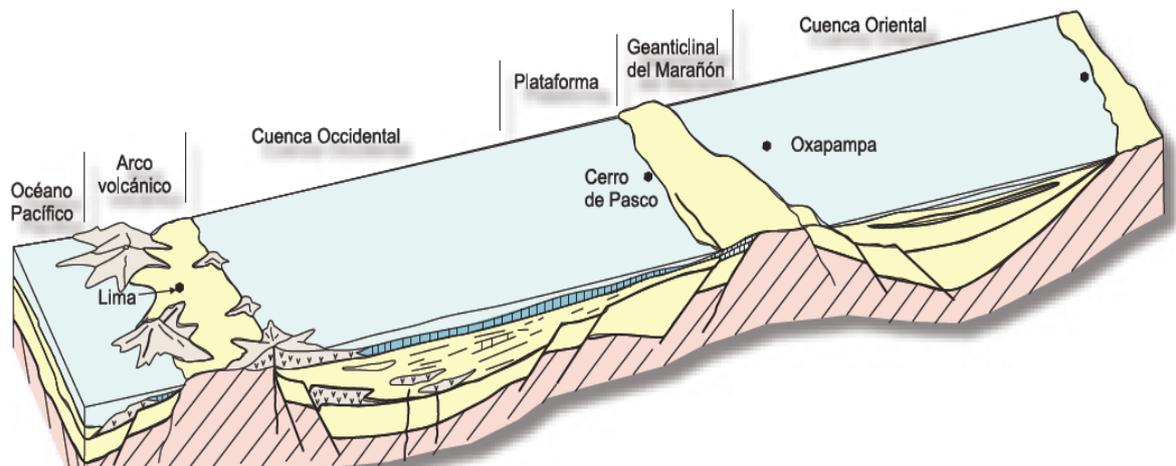


Figura 28. Reconstrucción de las cuencas Occidental (Chicama) y Oriental separadas por el Alto del Marañón durante el Cretácico (Mégard, 1979).

3.3.4.1. Formación Carhuaz

La Formación Carhuaz yace con suave discordancia sobre la Formación Santa e infrayace concordantemente a la Formación Farrat.

Para el análisis de la geología de esta formación ha realizado la descripción macroscópica en los tres sectores (Sector Chilete, Callacpuma y San Cirilo), aprovechando los afloramientos y cortes de carretera en donde mejor de evidencian los diferentes tipos de rocas. En cada sector se realizó la identificación de los contactos y diferentes tipos de litología.

Sector San Cirilo

La columna estratigráfica elaborada en este sector es de 135 metros de espesor identificando litológicamente en la base areniscas con estratificación planar intercalados con gruesos bancos de lutitas, en la parte media hacia la parte superior areniscas con estratificación planar intercalas con limolitas y lutitas.



Foto 7. Areniscas de grano fino a medio (coordenadas Longitud: 764764 y Latitud: 9237010)

Sector Callacpuma

En este sector, la columna estratigráfica elaborada de la Formación Carhuaz; se caracteriza por presentar areniscas ferruginosas con estratificación planar, intercaladas con gruesos bancos de lutitas.



Foto 8. Lutitas grises en la base con areniscas de grano medio en el techo (Coordenadas Longitud: 782246 y Latitud: 9206182).

Sector Chilete

La columna estratigráfica elaborada en el sector Chilete de la Formación Carhuaz se caracteriza por encontrar las siguientes rocas, areniscas de grano fino a medio, limolitas y lutitas grises, además posee una coloración anaranjada a rojo oscuro eso se debe que en las rocas sedimentarias mencionadas hay óxido de hierro.

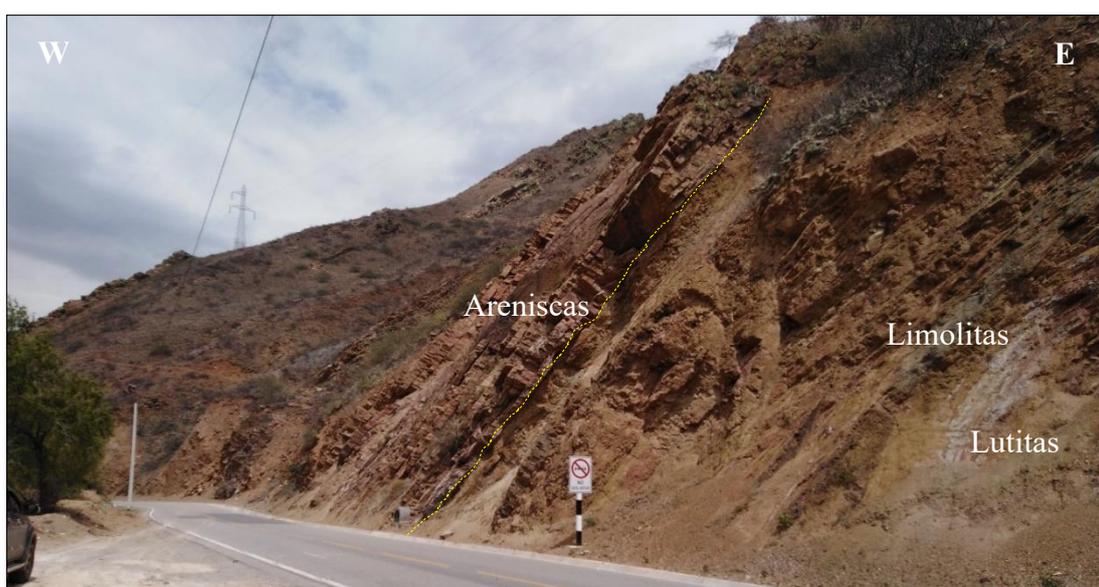


Foto 9. Areniscas de grano fino a medio (estratificación planar), limolitas y lutitas; presencia de óxidos de hierro (Coordenadas Longitud: 744309 y Latitud: 9201647).

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, por lo que se le asigna una edad aptiana (Reyes, 1980).

Sector San Cirilo

La columna estratigráfica elaborada en este sector presenta areniscas blanquesinas de grano medio a grueso con estratos creciente.



Foto 10. Areniscas de grano medio en estrato creciente (Coordenadas Longitud: 764633 y Latitud: 9237117)

Sector Callacpuma

La columna estratigráfica elaborada en este sector, se caracteriza por presentar areniscas blanquecinas de grano medio a grueso con estratificación paralela, estratocreciente.



Foto 11. Areniscas cuarzosas Fm. Farrat (Coordenadas Longitud: 782481 y Latitud: 9205861)

Sector Chilete

La columna estratigráfica elaborada en el sector Chilete de la Formación Farrat es 40 metros de espesor caracterizado por encontrar laminación cruzada, estratodecreciente y areniscas cuarzosas de grano grueso en la base.



Foto 12. Afloramientos de areniscas cuarzosas de grano grueso en el Sector Chilete, presencia de óxidos de hierro (Coordenadas Longitud: 743059 y Latitud: 9200911).

3.4. SEDIMENTOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA

3.4.1. LITOLOGÍA

Se han identificado los siguientes tipos de rocas, para ello se realizó la descripción macroscópica con lupa de 20x Iwamoto.

3.4.1.1. Lutitas

Se ubican en estratos desde pocos centímetros hasta algunos metros, normalmente presentan una coloración blanquecina e intercalaciones con limolitas. En algunos sectores se observa una ligera coloración verduzca.

3.4.1.2. Limolitas

Estas rocas se encuentran asociadas a lutitas, tienen un tamaño promedio de grano comprendida entre 1/16 a 1/256 mm, su composición son básicamente micas y minerales arcillosos en abundancia, presentando textura muy fina en los tres sectores de estudio.

3.4.1.3. Areniscas

Son las más abundantes en las zonas de estudio, mineralógicamente está compuesta de granos de cuarzo detrítico, texturalmente las areniscas son de grano uniforme, arenas bien lavadas prácticamente libre de material arcilloso de modo que los granos de arena son subredondeados o bien redondeados (grano fino, medio a grueso).

3.4.1.4. Conglomerado

Son el tipo de rocas menos comunes en los sectores de estudio, encontrando en el sector Callacpuma, son rocas sedimentarias clásticas más típicas de grano grueso, formadas por partículas mayores a 2 mm de diámetro. La matriz está constituida por una arena de cuarzo bien clasificada unida por cemento silíceo.

Tabla 4. Tipos de litologías utilizadas para el análisis petrográfico y descripción macroscópica.

TIPO DE ROCA	MUESTRA DE MANO	LUPA IWAMOTO 20X
Lutita		
Limolita		
Arenisca grano fino		
Arenisca grano medio		
Arenisca grano grueso		
Conglomerado		

3.4.2. ESTRUCTURAS DE ORDENAMIENTO INTERNO

Se han logrado documentar las siguientes estructuras de ordenamiento interno.

3.4.2.1. Laminación paralela

Se encuentra en la mayoría de las areniscas de grano fino o en lutitas y limolitas, donde la menor energía de la fuente fluvial, permitió que los sedimentos decanten de forma uniforme generando que los estratos tengan sus límites paralelos entre sí. En algunas zonas se puede identificar la laminación gradada de grano grueso en la base a grano fino en el techo, sirviendo como indicador de polaridad del estrato.



Foto 13. Laminación paralela en un estrato de areniscas en el sector de Callacpuma.

3.4.2.2. Laminación Cruzada

Se encuentra en estratos de areniscas de grano fino a grueso, siendo de menor dimensión de la estratificación cruzada ya que se ubican dentro de un mismo estrato. Lo común fue encontrar laminación cruzada o sesgada de canal “trough cross-bedding” y en raras ocasiones laminación cruzada planar “planar cross-bedding”. Esta estructura indica que hubo fuerte energía en la fuente fluvial a la hora de la depositación de los sedimentos, ejercido por una fuerte avenida o por acción de mareas y/o oleaje.



Foto 14. Laminación cruzada en un estrato de areniscas en la zona de Callacpuma.

3.4.3. TIPO DE ESTRATIFICACIÓN

Se han identificado los siguientes tipos de estratificación.

3.4.3.1. Estratificación paralela

Es común ubicarla en areniscas de grano medio a fino, donde los estratos tienen sus límites paralelos entre sí y, en general, mantienen el mismo patrón de grosor. De similar manera las rocas de este tipo de estratificación también presentan laminación paralela.



Foto 15. Estratificación paralela en areniscas de grano fino en el sector de Chilete.

3.4.3.2. Estratificación cruzada

Este tipo de estratificación se encontró en areniscas de grano medio a grueso, donde los estratos disminuyen de grosor lateralmente hasta terminar en forma de “cuña”. Esta estructura indica una energía muy fuerte de la fuente fluvial al momento de la depositación.



Foto 16. Estratificación cruzada en el sector de San Cirilo.

3.4.3.3. Estratificación gradada

Este tipo de estratificación se la encontró en paquetes de areniscas de grano medio a grueso, donde los estratos disminuyen de espesor y también de tamaño de grano, tanto hacia la base del paquete (estrato creciente) o hacia el tope del paquete (estrato decreciente); indicando el cambio de régimen en la fuente fluvial, de una reactivación de la energía o disminución de la misma, respectivamente.

Este tipo de estratificación puede ir en conjunto, iniciando con una sucesión estrato creciente y terminando en una de estrato decreciente; o también en series cíclicas, de paquetes estrato crecientes o estratos decrecientes.



Foto 17. Estratificación gradual “estratocreciente” en el sector de San Cirilo



Foto 18. Estratificación gradual “estratodecreciente” en el sector de San Cirilo.

3.4.4. TECTÓNICA SIN-SEDIMENTARIA

3.4.4.1. Estructuras de deformación sin-sedimentaria

Se han identificado improntas de carga “load cast” en varios estratos, formados por la diferencia de densidades entre la capa superior y la inferior durante la consolidación del paquete de estratos. El resultado es un aplastamiento diferenciado del estrato más pesado sobre el estrato más ligero.



Foto 19. Estructura de carga “load cast” en areniscas del sector Chilete.

3.4.5. FACIES SEDIMENTARIAS

Se ha definido las siguientes facies sedimentarias, a partir de los tipos de rocas y estructuras sin-sedimentarias encontradas en los sectores estudiados:

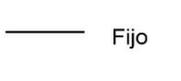
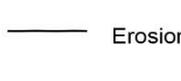
LITOLOGÍAS	ESTRUCTURAS	CONTACTOS
		 Fijo
		 Erosional
		
		
		
		
		

Figura 29. Simbologías utilizadas en las columnas del presente estudio.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1.1. AMBIENTE DE FORMACIÓN

Se interpretaron las columnas estratigráficas de los 3 sectores: Chilete (Figura 30), San Cirilo (Figura 32), y Callacpuma (Figura 34); los resultados se muestran en las columnas interpretadas (Figura 31, Figura 33 y Figura 35 respectivamente). De estas columnas estratigráficas se sugiere que existieron 2 ambientes sedimentarios:

4.1.1.1. Delta dominado por acción de mareas, se identifican las partes sedimentarias de:

- Llanura mareal: Conformado por estratos de areniscas con estratificación planar, y/o ripples de corriente, intercaladas con gruesos bancos de lutitas.
- Llanura de inundación: Conformado por areniscas con estratificación planar, estratificación cruzada planar, improntas de carga, intercalados con lutitas y/o limolitas.
- Podría corresponder a la Formación Carhuaz, coincidiendo con los estudios realizados por Jacay 2005 y Alvan et al 2018.

4.1.1.2. Delta dominado por acción fluvial, se identifican las partes sedimentarias de:

- Canal/barra de desembocadura: Conformado por areniscas y micro-conglomerados con estratificación cruzada de canal estratodecreciente y estratificación planar.

- Derrames laterales: Conformado por areniscas con estratificación cruzada de canal y estratificación planar.
- Podría corresponder a la Formación Farrat, coincidiendo con los estudios realizados por Jacay 2005 y Alvan et al 2018.

4.1.2. INTERPRETACIÓN ESTRATIGRÁFICA

Sector Chilete

UBICACIÓN-COORDENADAS	FORMACIÓN
E: 742912 N: 9200938 COTA: 922 msnm	Carhuaz, Farrat



Foto 20. Vista al cerro Mirador, lugar del desarrollo de la columna estratigráfica.

La columna estratigráfica que se elaboró en el sector Chilete de la Formación Carhuaz es de 130 metros y de la Formación Farrat es 40 metros.

Las facies sedimentarias en este sector evidencian la presencia de una llanura mareal, seguida por una secuencia de llanura de inundación (ambiente deltaico dominado por acción de mareas); luego se presentan facies de canales o barras de desembocadura (ambiente deltaico dominado por acción fluvial), no se evidencia asociaciones de facies de un ambiente deltaico dominado por acción de olas.

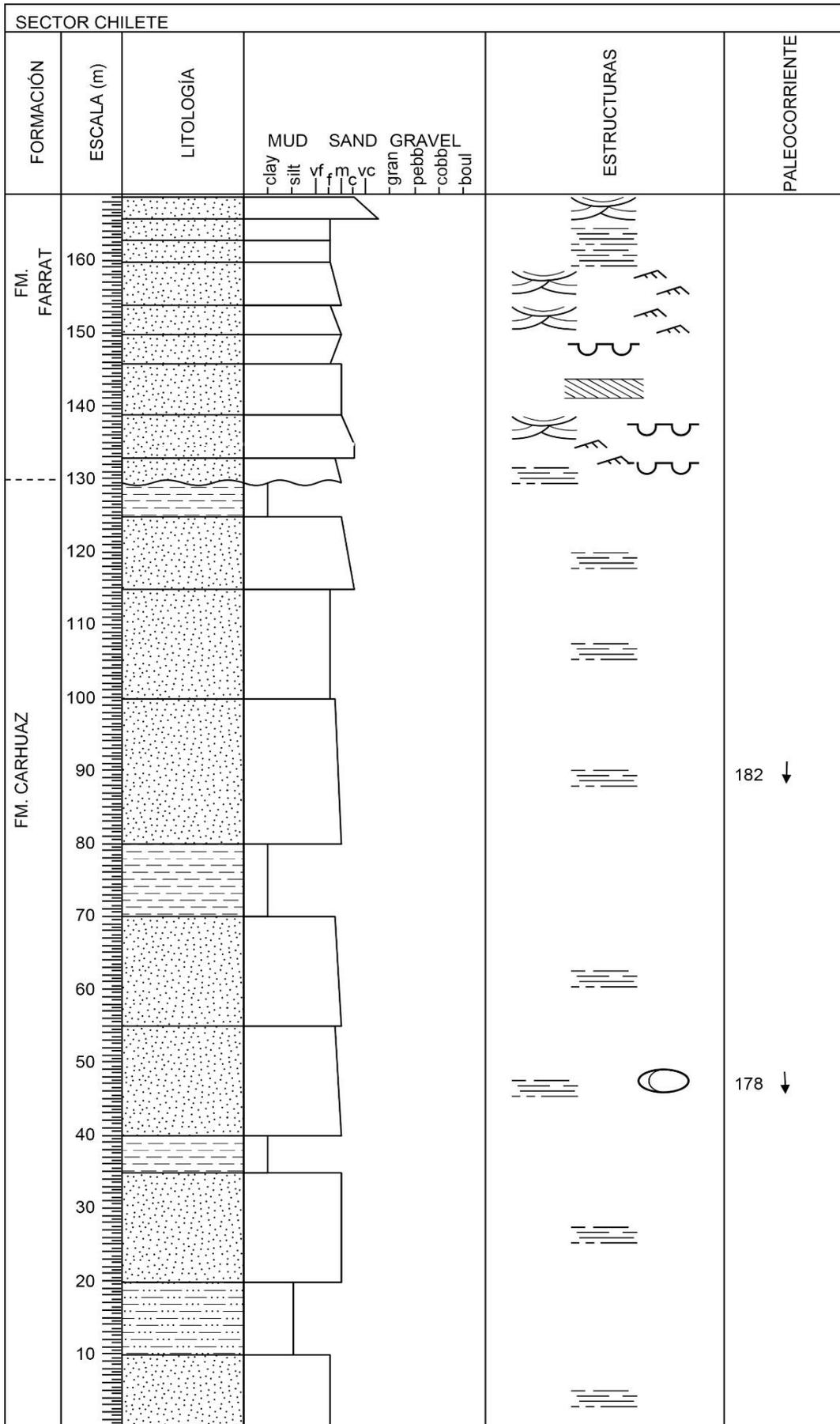


Figura 30. Columna estratigráfica levantada en el sector Chilete.

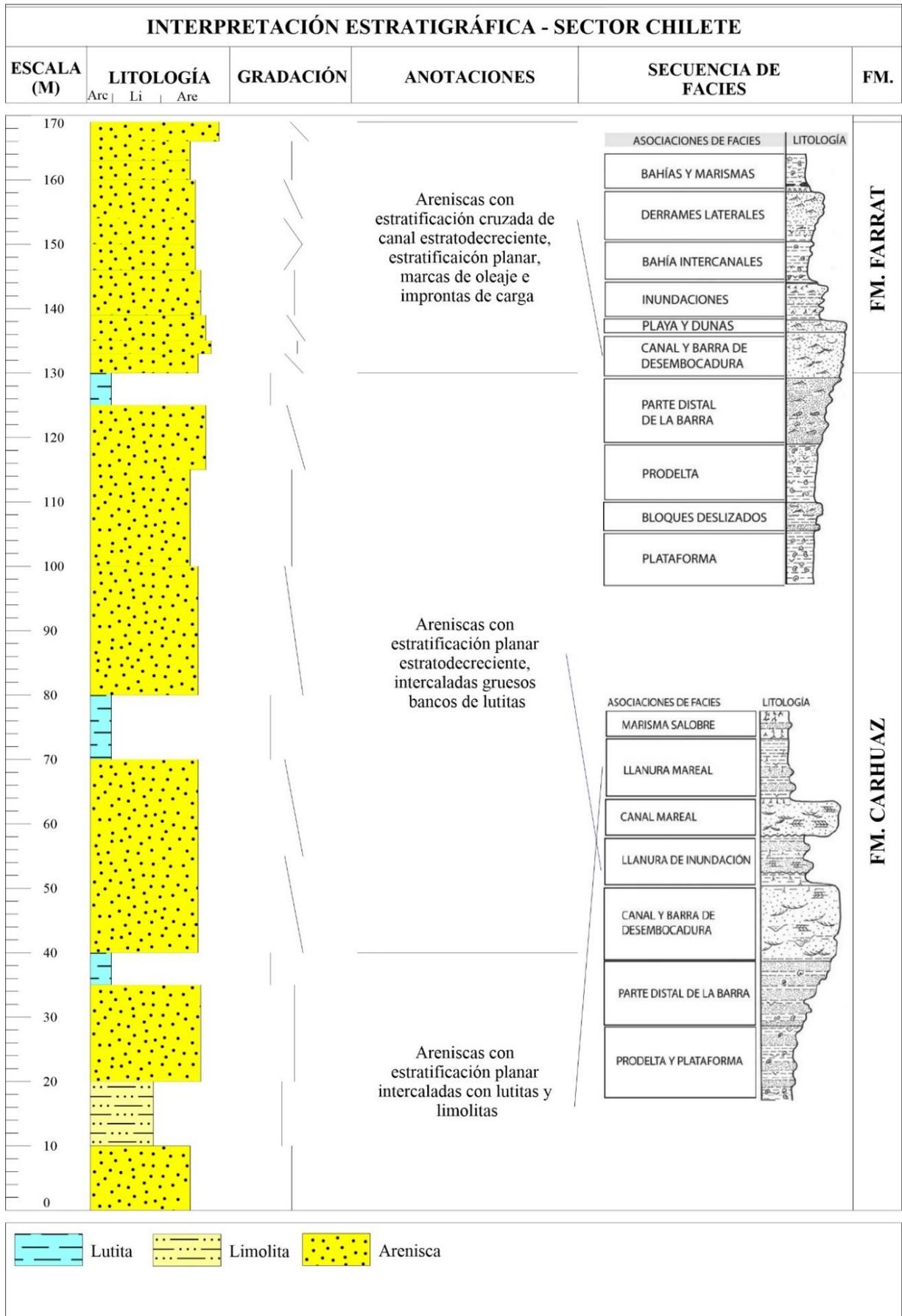


Figura 31. Interpretación estratigráfica de la columna levantada en el sector Chilete.

Sector San Cirilo

UBICACIÓN-COORDENADAS	FORMACIÓN
E: 764639 N: 9236999 COTA: 4066 msnm	Carhuaz, Farrat

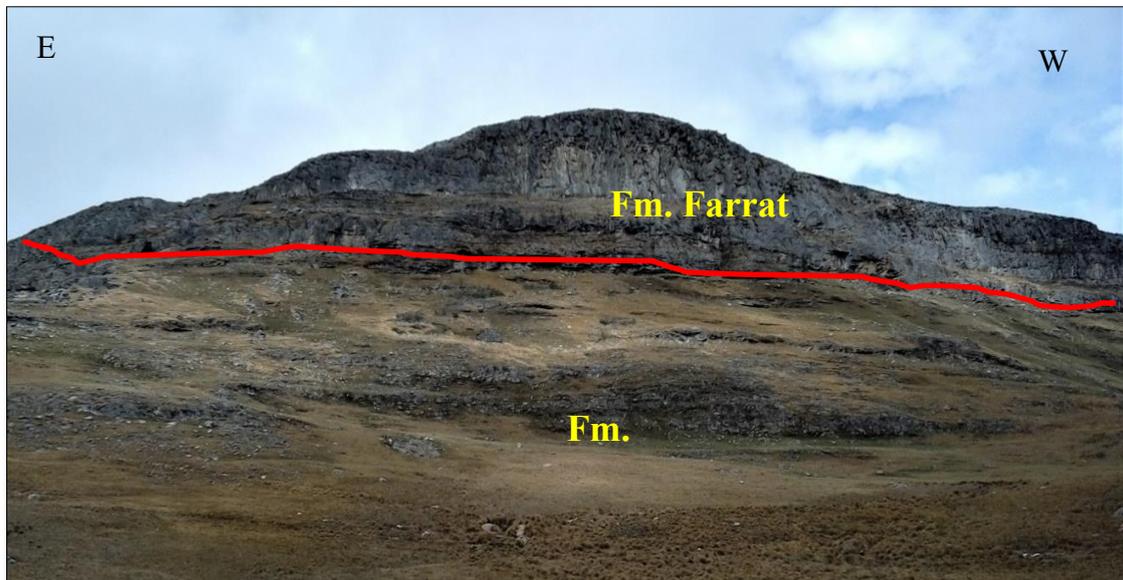


Foto 21. Vista al cerro San Cirilo, lugar del desarrollo de la columna estratigráfica.

La columna estratigráfica que se elaboró en el sector San Cirilo de la Formación Carhuaz es de 135 metros y de la Formación Farrat es 50 metros.

Las facies sedimentarias en el sector San Cirilo evidencian la presencia de una llanura mareal, seguida por una secuencia de llanura de inundación (ambiente deltaico dominado por acción de mareas); luego se presentan facies de canales o barras de desembocadura (ambiente deltaico dominado por acción fluvial), no se evidencia asociaciones de facies de un ambiente deltaico dominado por acción de olas.

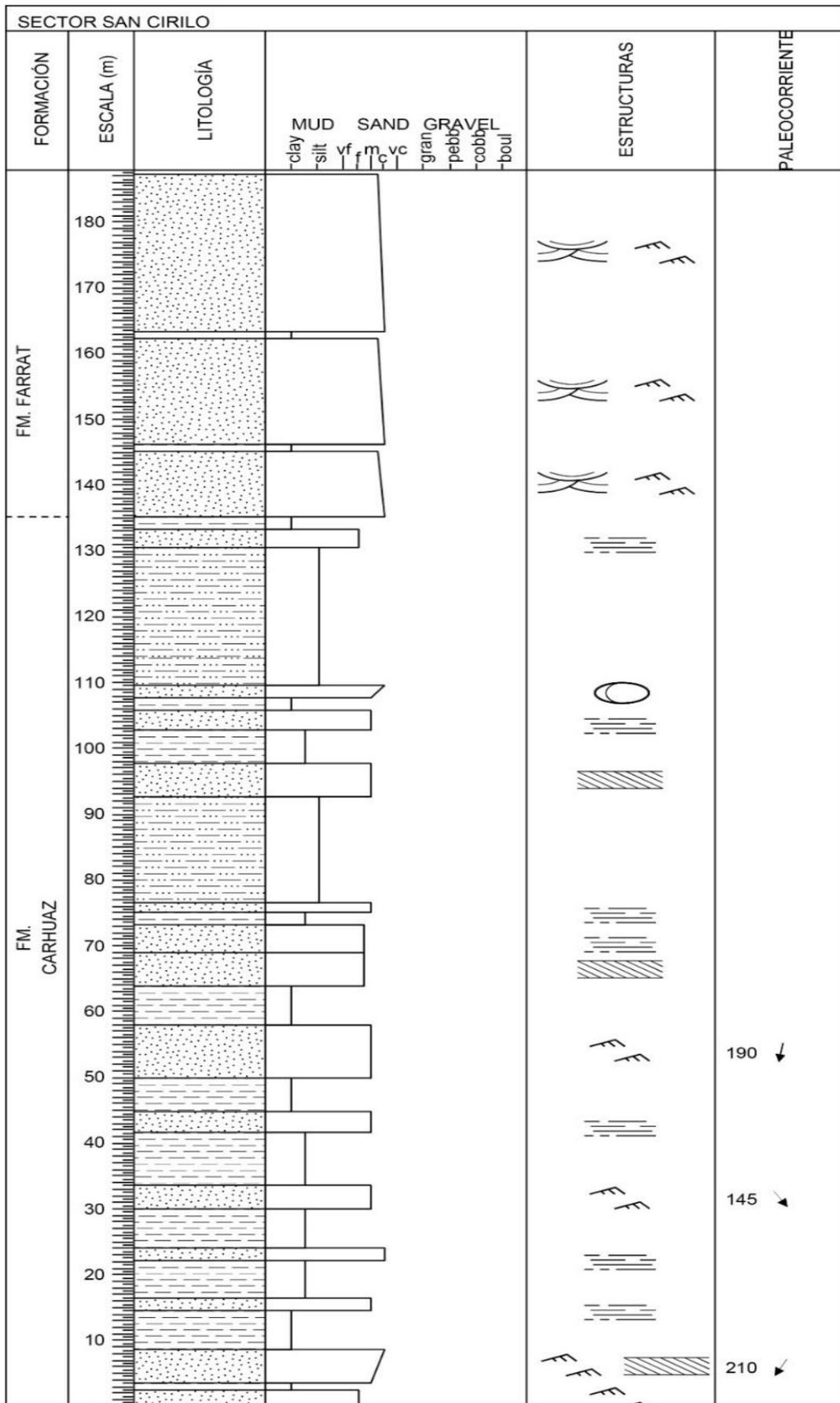


Figura 32. Columna estratigráfica levantada en el sector San Cirilo.

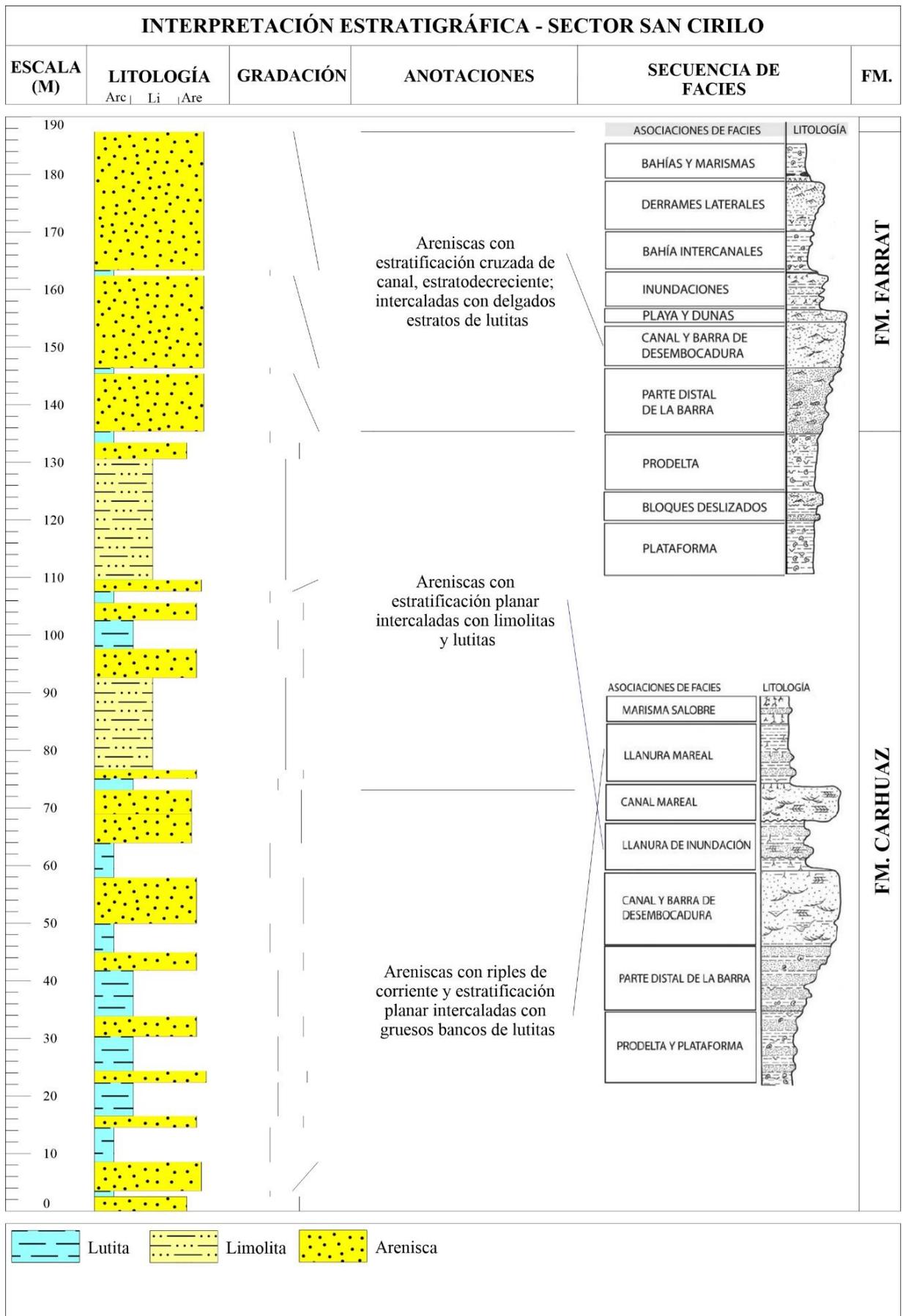


Figura 33. Interpretación estratigráfica de la columna levantada en el sector San Cirilo.

Sector Callacpuma

UBICACIÓN-COORDENADAS	FORMACIÓN
E: 782683 N: 9206005 COTA: 2868 msnm	Carhuaz, Farrat

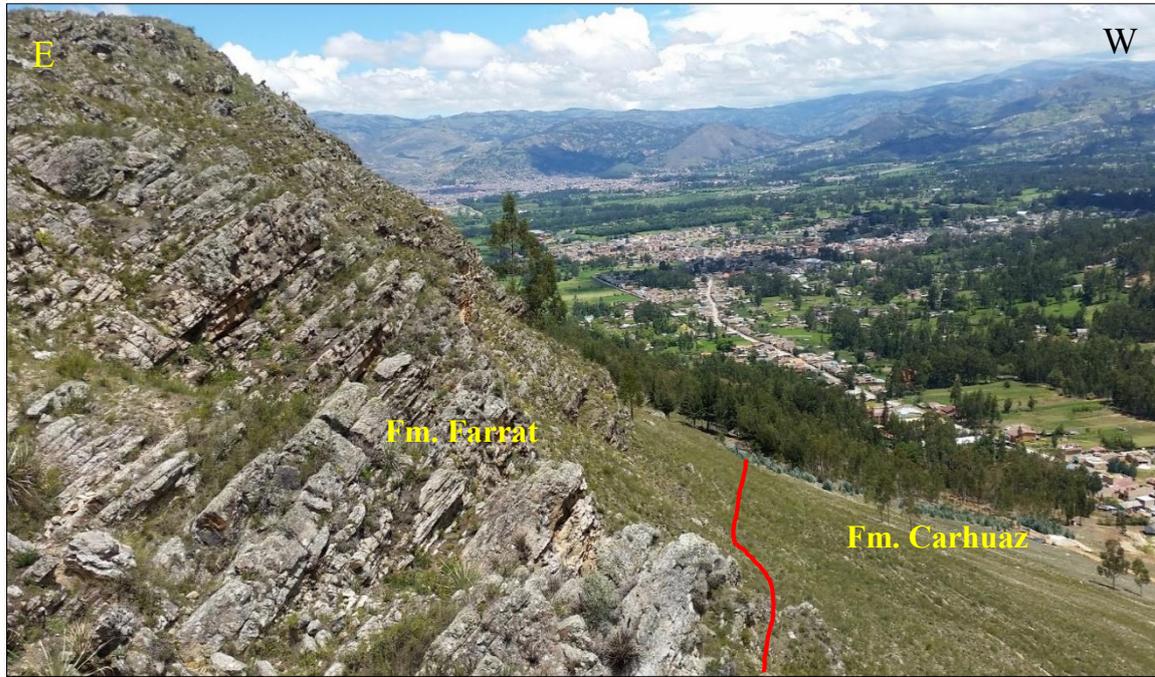


Foto 22. Vista al cerro Callacpuma, lugar del desarrollo de la columna estratigráfica.

La columna estratigráfica que se elaboró en el sector San Callacpuma de la Formación Carhuaz es de 85 metros y de la Formación Farrat es 90 metros.

Las facies sedimentarias en el sector Callacpuma evidencian la presencia de una llanura mareal, seguida por una secuencia de llanura de inundación (ambiente deltaico dominado por acción de mareas); luego se identifican intercalaciones de canales o barras de desembocadura y derrames laterales (ambiente deltaico dominado por acción fluvial), no se evidencia asociaciones de facies de un ambiente deltaico dominado por acción de olas.

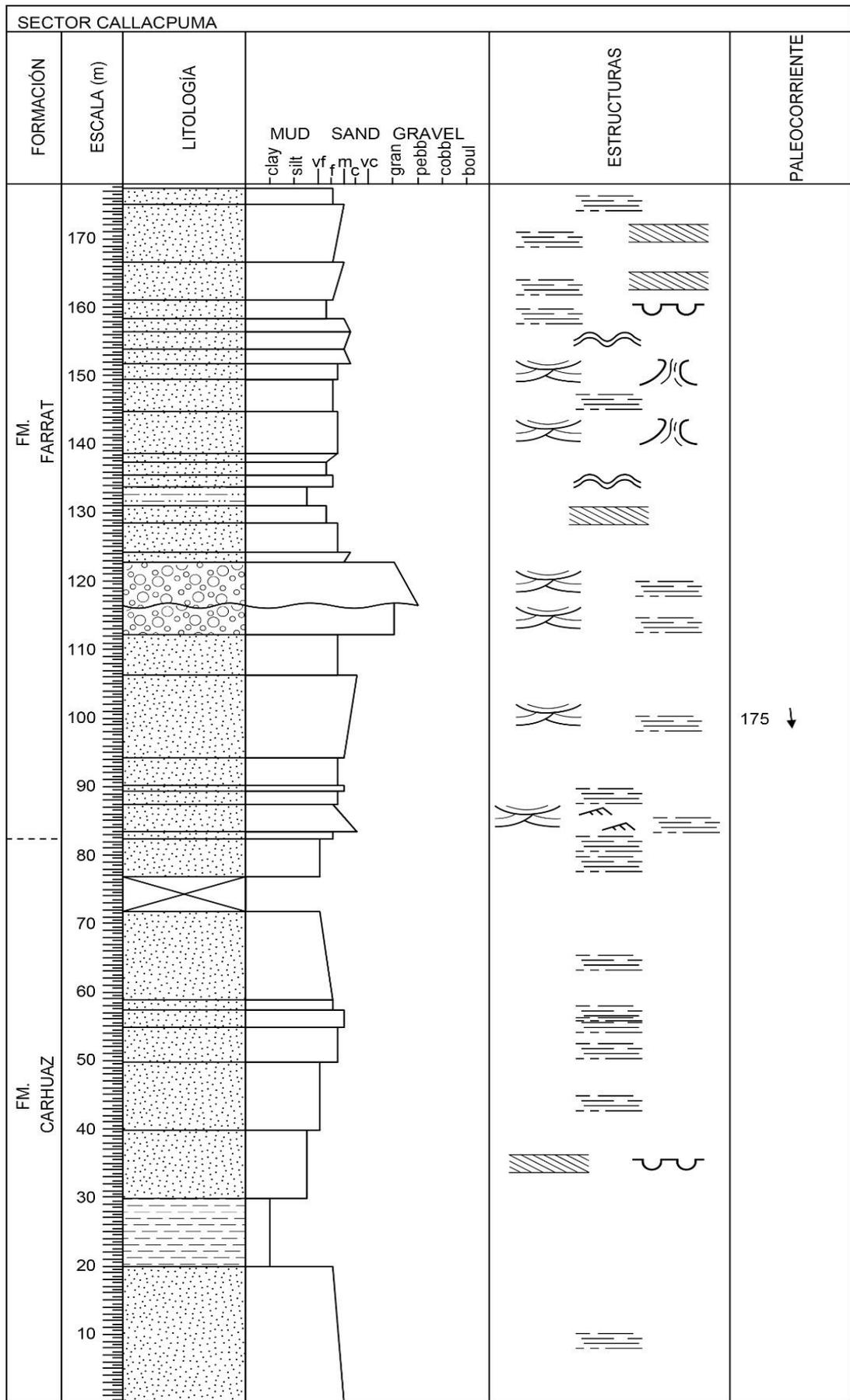


Figura 34. Columna estratigráfica levantada en el sector de Callacpuma.

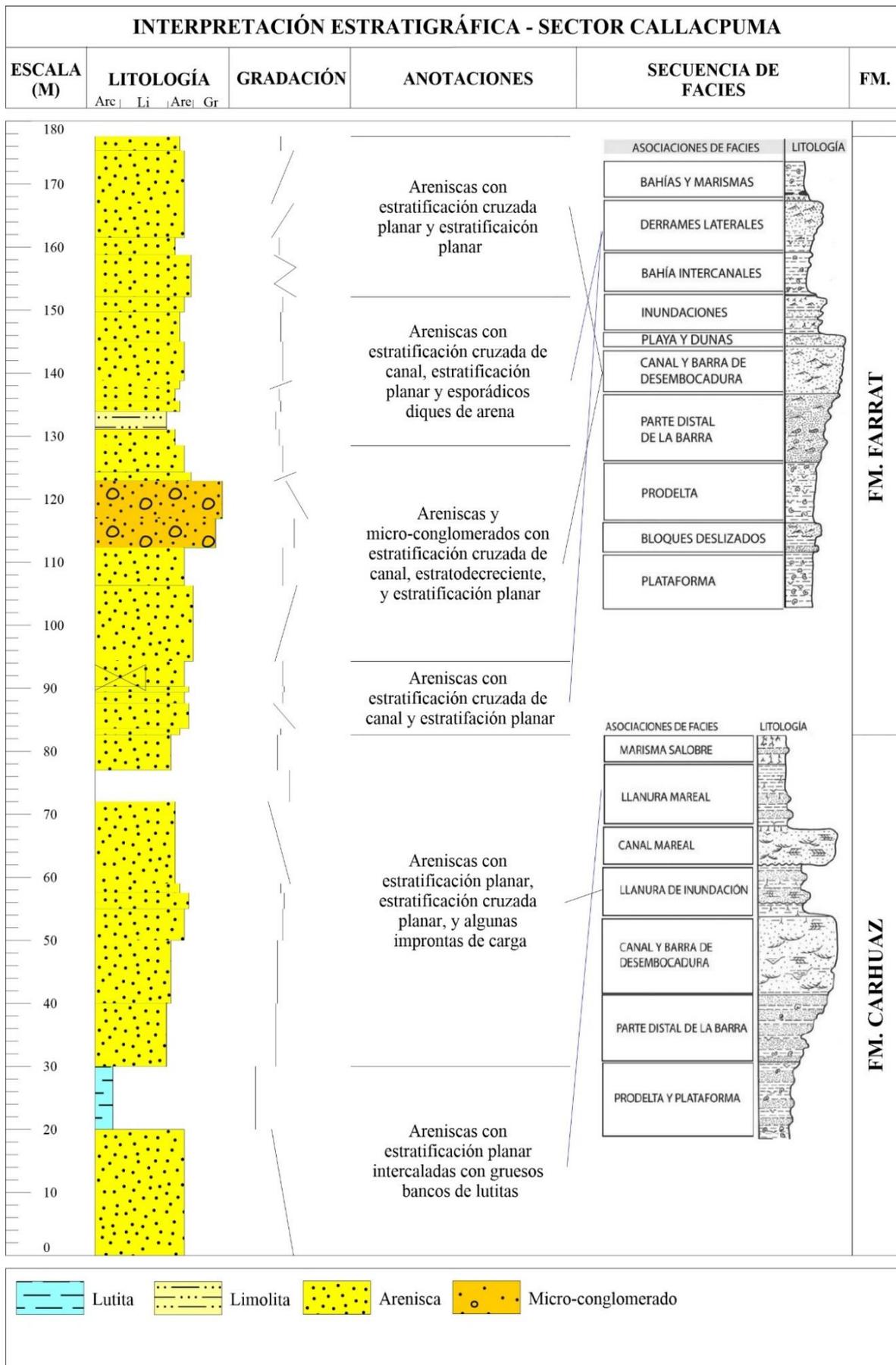


Figura 35. Interpretación estratigráfica de la columna levantada en el sector Callacpuma.

Al correlacionar las columnas estratigráficas (Figura 36), notamos que la Formación Carhuaz está bien marcada en las 3 columnas, con facies mareales en la base y continuando con facies de llanuras de inundación. La Formación Farrat inicia con facies de canales/barras de desembocadura, mejor marcada al Este de la zona (Sector Callacpuma) donde incluso se puede distinguir facies de derrames laterales intercalando a las facies de canales/barras.

4.1.4. DINÁMICA DEL MEDIO SEDIMENTARIO

Utilizando un ejemplo típico de ambiente deltaico dominado por acción de mareas (Arche, 2010), podemos inferir que, al momento de la formación Carhuaz, los sectores de Chilete y Callacpuma estaban más cerca a zonas de playas y el sector de San Cirilo estaba en una zona con mayor tiempo sumergido (Figura 37) por su mayor grosor de los bancos de lutitas hallados en la columna levantada.

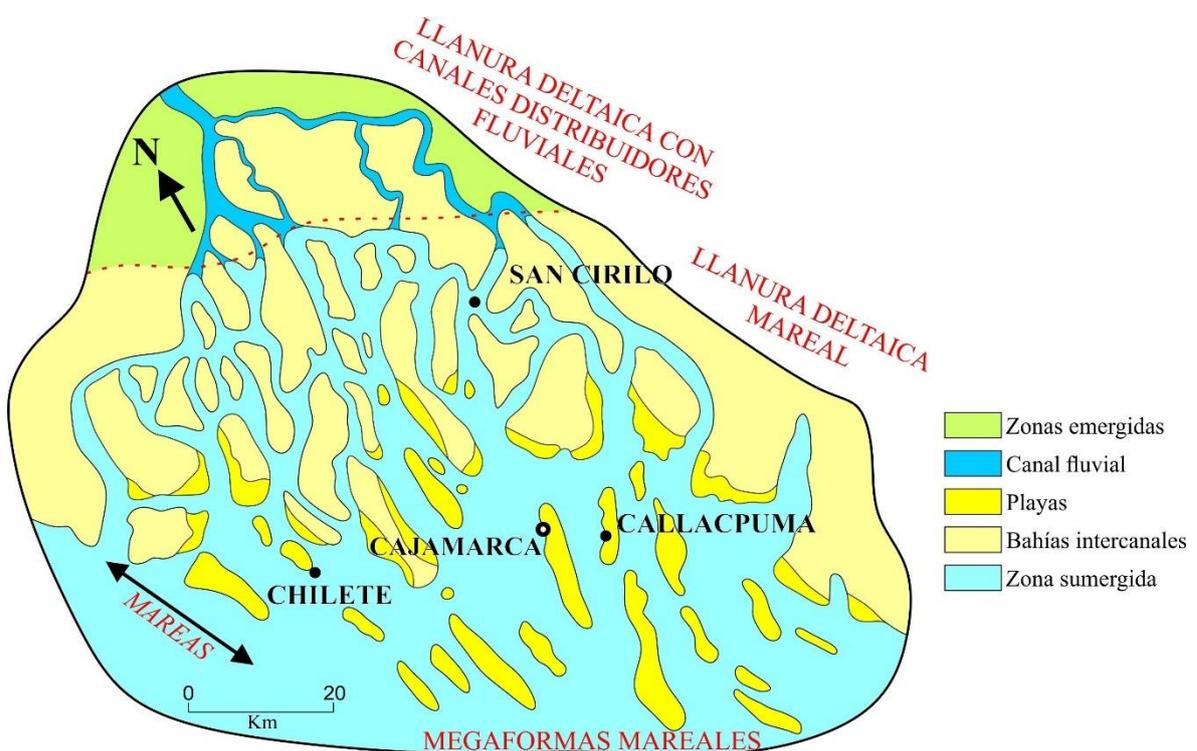


Figura 37. Forma tentativa que hubiera tenido la cuenca Chicama (Región de Cajamarca) al momento de la sedimentación de la Fm. Carhuaz (Modificado de Arche 2010).

De igual manera, utilizando un ejemplo típico de delta dominado por acción fluvial (Arche, 2010), podemos inferir que, al momento de la Formación Farrat, los sectores de San Cirilo y Chilete se encontraban cercanos a canales fluviales en la llanura deltaica y el sector Callacpuma estaba entre la zona de llanura deltaica y frente deltaico, cercano a una zona de barra de desembocadura (Figura 38).

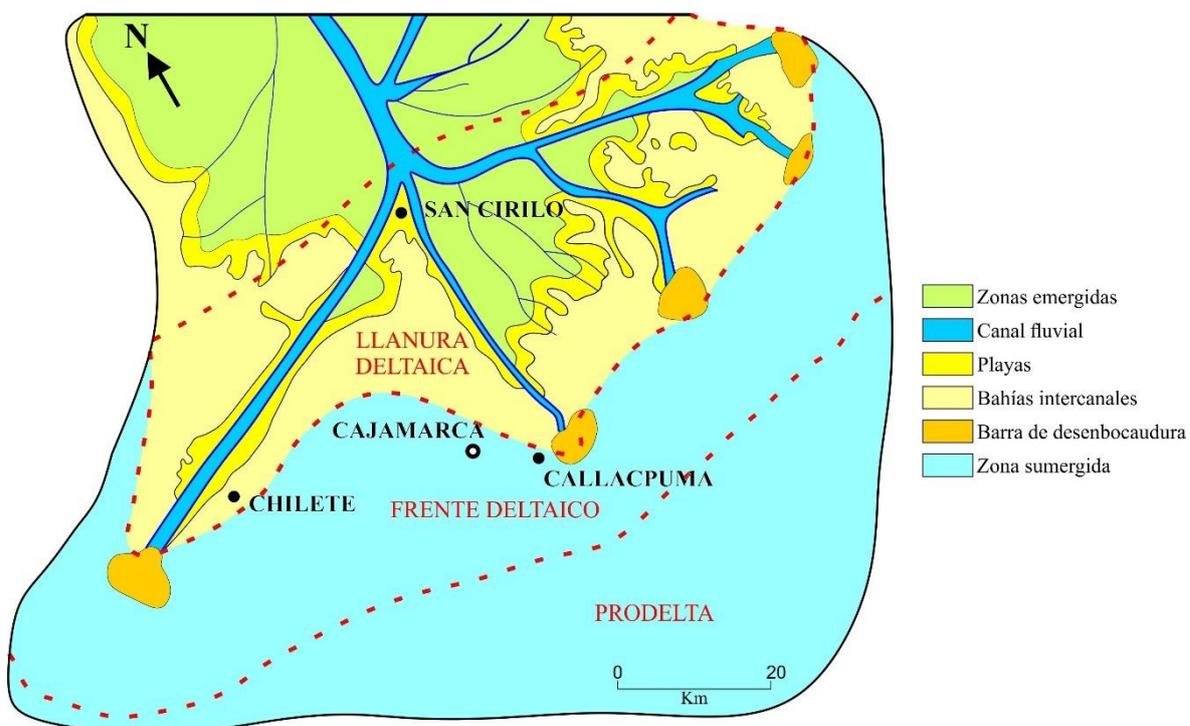


Figura 38. Forma tentativa que hubiera tenido la cuenca Chicama (Región de Cajamarca) al momento de la sedimentación de la Fm. Farrat (Modificado de Arche 2010).

4.1.5. ACTIVIDAD TECTÓNICA EN LA CUENCA

La zona de estudio presenta, como se ha venido infiriendo, un cambio en el tipo de ambiente sedimentario, de un delta dominado por acción de mareas (Formación Carhuaz) a un delta dominado por acción fluvial (Formación Farrat), esto puede deberse a una actividad tectónica en la cuenca entre estas Formaciones, que levantó a la zona en relación con el nivel del mar, cambiando el nivel de influencia de las mareas a acción fluvial (Figura 39).

El levantamiento de la cuenca también se ve evidenciada porque la Formación Santa (infrayacente a la Formación Carhuaz) se generó cuando la cuenca estuvo completamente sumergida e incluso hay lugares donde se depositaron calizas (Reyes, 1980); régimen

sedimentario que desapareció hasta la transgresión marina de la Formación Inca (suprayacente a la Formación Farrat).

En los sectores estudiados no se han identificado estructuras que evidencien compresión o distensión, solo estructuras de deformación gravitacional (improntas de carga y algunos diques de arena).

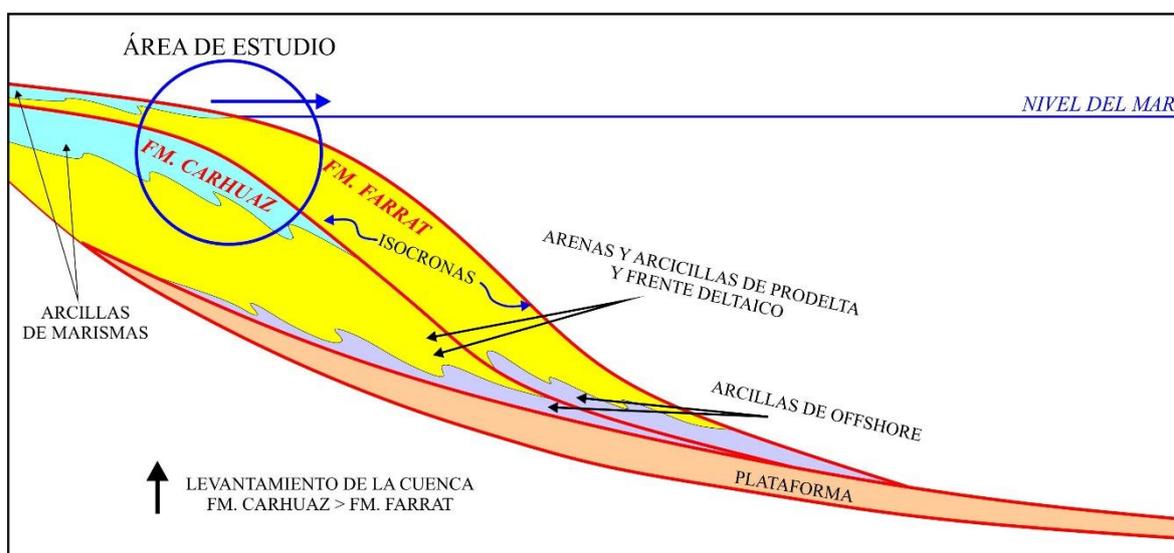


Figura 39. Lito-estratigrafía secuencial interpretada de las Fm. Carhuaz y Farrat en el área de estudio, cambio debido al levantamiento tectónico de la cuenca entre ambas formaciones (Modificado de Arche, 2010).

4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Los afloramientos silococlásticos de las Formaciones Carhuaz y Farrat corresponden a la clasificación litoestratigráfica del Grupo Goyllarisquizga de edad Barreniano y Aptiano (Reyes 1980). Con la investigación se obtuvo que las facies sedimentarias halladas en los sectores San Cirilo, Callacpuma y Chilete evidencian un ambiente sedimentario deltaico; pero entre ambas unidades se diferencia un cambio de régimen gobernante en el delta, de una mayor influencia mareal a una mayor influencia fluvial respectivamente. Las facies estudiadas agrupan a ambas Formaciones en las zonas de llanura deltaica; quedando corroborada así la hipótesis inicialmente planteada en la investigación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Los sectores de San Cirilo, Callacpuma y Chilete tienen afloramientos rocosos correspondientes a las Formaciones Carhuaz y Farrat, en base a la elaboración de columnas lito-estratigráficas, mediante software SegLog y Strater.

Las columnas estratigráficas evidencian un cambio de facies sedimentarias de lutitas y limolitas, intercaladas con areniscas de estratificación planar (Formación Carhuaz) a areniscas de grano grueso con estratificación cruzada de canal (Formación Farrat), facies pertenecientes a un ambiente sedimentario deltaico.

En la Formación Carhuaz, se presentan facie deltaicas de un régimen controlado por acción de las mareas, en la formación Farrat el régimen muestra ser controlado por acción fluvial; en el primero se puede distinguir una sucesión de llanura mareal con gruesos bancos de lutitas, a llanura de inundaciones con areniscas de grano fino y limolitas con estratificación planar; en el segundo se presentan areniscas de grano grueso de estratificación cruzada de canal indicando la presencia del canal o la barra de desembocadura, mejor marcada en el sector de Callacpuma, donde también se evidencia etapas por la acción fluvial.

El cambio de régimen se debe a un levantamiento de la cuenca desde la Formación Santa (infrayacente a la Formación Carhuaz), hasta la transgresión en la Formación Inca (suprayacente a la Formación Farrat). Por el cambio de litologías de areniscas cuarzosas a capas de limoarcillas.

5.2. RECOMENDACIONES

Realizar dataciones geo-cronológicas en las Formaciones Carhuaz y Farrat para conocer con más exactitud sus edades de formación.

Realizar columnas lito-estratigráficas en otros lugares de Cajamarca que presenten las Formaciones Carhuaz y Farrat para conocer de mejor manera la geografía de la cuenca al momento de las formaciones Carhuaz y Farrat.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvan, A., Valdivia W., & Machaca C. (2018). Elementos arquitecturales de una plataforma siliciclástica antigua: aportes en la definición paleoambiental de las Formaciones Carhuaz y Farrat (Aptiano, 7°-7° 30' S)
- Arche, A. (2010). Sedimentología del Proceso Físico a la Cuenca Sedimentaria. Madrid, España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Benavides, V. (1956). Cretaceous System in Northern Peru. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 108(1), 353–494.
- Campbell, C. (1967). Lamina, Laminaset, Bed and Bedset. *Sedimentology*, 8(1), 1–4.
- Carlotto, V., Quispe, J., Acosta, H., Rodriguez, R., Romero, D., Cerpa, L., ... Cueva, E. (2009). Dominios Geotectónicos y Metalogénesis del Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 103(1), 1–89.
- Fernandez, H. (2010). Estudio Sedimentológico y Estratigráfico en el Área de Cruz Blanca y Alrededores. Universidad Nacional de Cajamarca.
- INGEMMET. (1995). Geología del Perú - Boletín N° 55 Serie A. Lima, Perú.
- Jacay, J. (2018). Evolución de Facies mareicas en el frente deltaico del Delta del Goyllarisquizga, cretaceo inferior.
- Jacay, J. (2005). Análisis de la Sedimentación del Sistema Cretáceo de los Andes del Perú Central
- Krumbein, W. C., & Sloss, L. L. (1969). Estratigrafía y Sedimentación. Barcelona, España: Editorial Hispano Americana.
- Lagos, A., Sánchez, J., Quispe, Z., & Palacios, O. (2006). Aportes al Análisis de Cuencas Sedimentarias en los Alrededores de las Localidades de los Baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco, Distrito de Cajamarca. En XIII Congreso Peruano de Geología (pp. 551–554). Lima, Perú: Sociedad Geológica del Perú.
- López, M. (1996). Estratigrafía Secuencial de Sistemas Deltaicos en Cuencas de Antepais. Universidad de Barcelona, Barcelona, España.

- McKee, E., & Weir, G. W. (1953). Terminology for Stratification and Cross-Stratification in Sedimentary Rocks. *Geological Society of America Bulletin*, 64, 381–390.
- Mégard, F. (1979). Estudio geológico de los Andes del Perú central. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Recuperado a partir de <https://books.google.com.pe/books?id=CAwQPwAACAAJ>
- Middleton, G. V. (1973). Johannes Walther's Law of the Correlation of Facies. *Geological Society of America Bulletin*, 84, 979–988.
- Otto, G. H. (1938). The Sedimentation Unit and Its Use in Field Sampling. *The Journal of Geology*, 46(4), 569–582.
- Peláez, M., Serra, J., & Manzano, M. (1986). Sedimentos Prodeltaicos en el Delta Emergido del Llobregat. *Acta Geológica Hispánica*, 21, 205–211.
- Pomerol, C. (1987). *Stratigraphie-Méthodes, principes, applications*. París, Francia: Doin.
- Reyes, L. (1980). Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba (1ª ed.). Lima, Perú: INGEMMET.
- Vera, J. A. (1994). *Estratigrafía: Principios y Métodos* (1ª ed.). Madrid, España: Editorial Rueda.
- Walker, R. G., & of Canada, G. A. (1979). Facies Models. *Geological Association of Canada*. Recuperado a partir de <https://books.google.com.pe/books?id=fkJXAQAACAAJ>
- Wegmann, E. (1963). L'exposé original de la notion de facies par A. Gressly (1814-1865). *Science de la Terre*, 83–119.
- Weller, M. (1960). *Stratigraphic Principles and Practice* (1ª ed.). Nueva York, Estados Unidos: Harper & Brothers.
- Wilson, J. (1984). Geología de los Cuadrángulos de Jayanca (13-d), Incahuasi (13-e), Cutervo (13-f), Chiclayo (14-d), Chongoyape (14-e), Chota (14-f), Celendín (14-g), Pacasmayo (15-d), Chepén (15-e) - *Boletín N°38 Serie A* (1ª ed.). Lima, Perú.

ANEXOS

PLANO 01	UBICACIÓN
PLANO 02	SATELITAL – UBICACIÓN DE LOS TRES SECTORES
PLANO 03	GEOLÓGICO REGIONAL
PLANO 04	IMAGEN SATELITAL SECTOR CALLACPUMA
PLANO 05	GEOLÓGICO SECTOR CALLACPUMA
PLANO 06	IMAGEN SATELITAL SECTOR SAN CIRILO
PLANO 07	GEOLÓGICO SECTOR SAN CIRILO
PLANO 08	IMAGEN SATELITAL SECTOR CHILETE
PLANO 09	GEOLÓGICO SECTOR CHILETE