

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLOGICA



TESIS

**CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA Y ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN
CHOTA EN EL DISTRITO DE HUACAPAMPA. PROVINCIA DE CELENDÍN.**

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Bach. Herrera Valdivia Jhon Michael

Asesor:

Dr. Lagos Manrique Alejandro Claudio

CAJAMARCA- PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** JHON MICHAEL HERRERA VALDIVIA
DNI: 71597750
Escuela Profesional: INGENIERÍA GEOLÓGICA
- Asesor:** Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique
Facultad: Ingeniería
- Grado académico o título profesional**
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
- Tipo de Investigación:**
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**

CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA Y ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN CHOTA EN EL DISTRITO DE HUACAPAMPA. PROVINCIA DE CELENDÍN.
- Fecha de evaluación:** 05/06/2025
- Software antiplagio:** TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 11%
- Código Documento:** oid:3117:464810029
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 07/06/2025

 <p>FIRMA DEL ASESOR ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE DNI: 09224934</p>	 <p>Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 07/06/2025 18:58:25-0500</p> <p>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</p>
---	--

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA Y ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN CHOTA EN EL DISTRITO DE HUACAPAMPA. PROVINCIA DE CELENDÍN.*

ASESOR : *Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0408-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 21 de julio de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a **un día del mes de agosto de 2025**, siendo las nueve horas (09:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J - 210), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

- Presidente : Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
- Vocal : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
- Secretario : M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA Y ESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN CHOTA EN EL DISTRITO DE HUACAPAMPA. PROVINCIA DE CELENDÍN*, presentado por el Bachiller en Ingeniería Geológica **JHON MICHAEL HERRERA VALDIVIA**, asesorado por el Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : *04* PTS.
 EVALUACIÓN PÚBLICA : *11* PTS.
 EVALUACIÓN FINAL : *15* PTS *QUINCE* (En letras)

En consecuencia, se lo declara *APROBADO* con el calificativo de *QUINCE* acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *10:00* horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. Segundo Reinaldo Rodríguez Cruzado.
Presidente

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.
Vocal

M.Cs. Ing. Victor Ausberto Arapa Vilca.
Secretario

Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
Asesor

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento a mis padres, hermanos y a mis amigos que con su apoyo fue posible la culminación de esta tesis. A la Universidad Nacional de Cajamarca y a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (EPIG) y a todos mis docentes.

Un agradecimiento especial a mi asesor, el Dr. Alejandro Claudio Lagos Manrique, por sus sugerencias y correcciones oportunas para el mejoramiento de esta tesis.

J.M.H.V

DEDICATORIA

A mis progenitores María y Víctor por darme la vida y la educación que tengo y por su comprensión y apoyo durante mi etapa como estudiante dentro de la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC) y en todo el transcurso de mi vida.

A mi familia y amigos que en el transcurso de la realización de la tesis me ayudaron de forma desinteresada.

J.M.H.V

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FOTOS	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN	1
---------------------------	---

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS	4
2.1.1. Internacionales	4
2.1.2. Nacionales	4
2.1.3. Locales	5
2.2. BASES TEÓRICAS	6
2.2.1. Estructura sedimentaria	6
2.2.2. Estratigrafía	6

	Pág.
2.2.3. Principios de la Estratigrafía.....	6
2.2.3.1. Principio de la Horizontalidad Original.....	6
2.2.3.2. Principio de la Superposición	7
2.2.3.3. Principio del Uniformismo o Actualismo	7
2.2.3.4. Principio de la Simultaneidad de Eventos	7
2.2.4. Litología.....	8
2.2.5. Columnas Estratigráficas.....	8
2.2.6. Textura	9
2.2.7. Ambiente de Depositación.....	13
2.2.8. Caracterización Estratigráfica.....	14
2.2.9. Moladas	14
2.2.10. Capas Rojas.....	14
2.2.11. Asociación de Facies Sedimentaria.....	14
2.2.12. Tipos de Facies	15
2.2.12.1. Llanura de Inundación	15
2.2.12.2. Expansión de Grietas	15
2.2.12.3. Barras de Canal.....	15
2.2.13. Estratigrafía secuencial	15
2.2.14. Secuencias de Deposición	16
2.2.14.1. Secuencia de Deposición de Nivel Bajo (LST)	16
2.2.14.2. Secuencia de Deposición Transgresivo (TST)	16
2.2.14.3. Secuencia de Deposición de Nivel Alto (HST)	17

2.2.14.4. Secuencia de Deposición de Caída del Nivel de Base (FSST)	17
2.2.14.5. Secuencia de Deposición Regresivo (RST)	18
2.2.15. Litofacies	19
2.2.15.1. Tamaño de Grano	19
2.2.15.2. Composición Mineralógica	20
2.2.15.3. Estructuras Sedimentarias	20
2.2.16. Elementos Arquitecturales.....	22
2.2.17. Análisis de Facies.....	23
2.2.17.1. Límites de Superficie y Elementos Arquitecturales	24
2.2.17.2. Escala Arquitectural.....	25
2.2.17.3. Elemento Arquitectural	26
2.2.17.4. Modo de Empleo de los Códigos de Miall	33
2.2.17.5. Escala.....	33
2.2.17.6. Interestratificación	34
2.2.17.7. Intergradación	34
2.2.18. Nivel de Base	36
2.2.18.1. La Transgresión.....	36
2.2.18.2. La Regresión	36
2.2.18.3. Fluctuaciones del Nivel de Base	37
2.2.19. Laminación	40

	Pág.
2.2.20. Correlación Estratigráfica	40
2.2.20.1. Correlación Directa.....	41
2.2.20.2. Correlación Indirecta	41
2.2.21. Columnas Estratigráficas.....	41
2.2.22. Tipos de Estratificación	41
2.2.22.1. Por la Superficie de Estratificación.....	41
2.2.23. Asociación de Estratos	43
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	44

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN	46
3.1.1. Geográfica.....	46
3.1.2. Política.....	46
3.2. ACCESIBILIDAD	47
3.3. GEOLOGIA LOCAL	48
3.3.1. Formación Chota (PN-cho).....	48
3.3.2. Depósitos Aluviales (Qp-al).....	49
3.3.3. Depósitos Coluviales (Qh-co).....	50
3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	50
3.4.1. TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.....	50
3.4.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	51
3.4.3. MUESTRAS	51

3.4.4.	UNIDAD DE ANÁLISIS.....	51
3.4.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	52
3.4.5.1.	Técnicas	52
3.4.5.2.	Instrumentos y Equipos	52
3.4.6.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS	53

CAPITULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.	FORMACION CHOTA	55
4.1.1.	Miembro Inferior (MI)	55
4.1.1.1.	Características Litológicas.....	55
4.1.1.2.	Características Estratigráficas	55
4.1.1.3.	Estructuras Sedimentarias	55
4.1.2.	Miembro Superior (MS)	57
4.1.2.1.	Características Litológicas.....	57
4.1.2.2.	Características Estratigráficas	57
4.1.2.3.	Estructuras Sedimentarias	57
4.2.	FACIES SEDIMENTARIAS DE LA FORMACIÓN CHOTA	59
4.2.1.	Metodología Aplicada	59
4.2.2.	Asociación de Facies del Miembro Inferior (MI)	60
4.2.2.1.	La Base del Miembro Inferior	60
4.2.2.2.	La Parte intermedia del Miembro Inferior	60
4.2.2.3.	La Parte superior del Miembro Inferior	61
4.2.3.	Asociación de Facies del Miembro Superior (MS).....	61
4.2.3.1.	La Base del Miembro Superior	61
4.2.3.2.	La Parte Intermedia del Miembro Superior	62

4.2.3.3.	La Parte Superior del Miembro Superior	62
4.2.4.	Interpretación	65
4.3.	Porcentaje de Arcillas, Arenas y Gravas en Ambiente Continental	65
4.4.	Columna Estratigráfica de la Formación Chota	69
4.5.	Comparaciones Estratigráficas de la Formación Chota	69
4.6.	Descripción Petrográfica	70
4.7.	Análisis Químico de Muestras de Rocas de la Formación Chota	74
4.7.1.	Comentarios	75
4.8.	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	75

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	CONCLUSIONES	76
5.2.	RECOMENDACIONES	77
	REFERENCIAS BIBLIOGRÀFICAS	78
	ANEXOS	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.	Clasificación de las Areniscas	10
Figura 2.	Características de las Cuarzo-Arenitas	11
Figura 3.	Características de las Arcosas y Subarcosas	12
Figura 4.	Características de las Litoarenitas y Sublitoarenitas	12
Figura 5.	Diagrama Triangular para Clasificar Areniscas	13
Figura 6.	Representación de un Ciclo Estratigráfico Completo	19
Figura 7.	Elementos Arquitecturales sugerido por Miall	30
Figura 8.	Los 8 elementos Arquitecturales Básicos en los Depósitos Fluviales ...	31
Figura 9.	Código de Facies correspondientes a gravas y arenas.....	32
Figura 10.	Código de Facies correspondientes a arenas y arcillas	32
Figura 11.	Código de Facies su geometría y relaciones.....	33
Figura 12.	Código de Facies su geometría, relaciones y su interpretación	35
Figura 13.	Espacio disponible para la acumulación de sedimentos	37
Figura 14.	Reducción de espacio disponible por acumulación de sedimentos.....	38
Figura 15.	Subida de nivel de base hace aumentar el espacio disponible	38
Figura 16.	La caída del nivel de base hace disminuir el espacio disponible.....	38
	Transgresiones y regresiones 1 estado inicial, 2 Transgresión= migración de las facies hacia el continente; 3 Regresión= migración de las facies hacia el mar; 4: Ciclo Transgresión- regresión, la línea roja representa la superficie de máxima inundación.....	39
Figura 17.	Guía de descripción de laminación en rocas sedimentarias de grano fino según Campbell, (1967) y mejorado por Zavala y González, (2001)	40
Figura 18.	Tipos más simples de geometrías de estratos de acuerdo con su continuidad, forma de las superficies de estratificación y variación lateral de espesor	42
Figura 19.	Ubicación política de la localidad de estudio	46
Figura 20.	Mapa satelital	47
Figura 21.	Recorrido de Cajamarca-Huacapampa	48

Figura 22.	Afloramientos de la Formación Chota, en Huacapampa, Provincia de Celendín. N: 9233614 E: 818063	49
Figura 23.	Presencia de depósitos aluviales meteorizadas de color gris amarillenta y gris rojizas del Miembro Superior de la Formación Chota. Ubicados a 2Km de Huacapampa	49
Figura 24.	Depósito de areniscas meteorizados cuyos estratos no son consolidados, ubicado a los costados de la Carretera de Huacapampa-Sucre.	50
Figura 25.	Flujo diagrama que indica el procedimiento realizado por el tesista	54
Figura 26.	Miembro inferior (MI) de la Formación Chota. Foto tomada en la localidad de Huacapampa	56
Figura 27.	Lentes arcillosos encontrados dentro del Miembro Inferior. Foto tomada al SE de la localidad de Huacapampa. N: 9233551 E: 818270	56
Figura 28.	Nivel de Conglomerado encontrado en el Miembro Inferior de la Formación Chota. Foto tomada al SO y a 2km de la localidad de Huacapampa.	57
Figura 29.	Miembro Superior de la Formación Chota ubicado al costado de la carretera a Sucre-Huacapampa. N: 9233249 E: 818415.....	58
Figura 30.	Estratos de areniscas, que corresponden a barras de canal debido a la presencia de sedimentos grueso. Ubicado en la localidad de Huacapampa	58
Figura 31.	Pequeñas fracturas rellenas con óxidos de Fe, dentro de las areniscas de la Formación Chota, ubicado a 1 Km de la localidad de Huacampampa.	59
Figura 32.	Características de los elementos arquitecturales CH+SB	60
Figura 33.	Características de las Litofacies Gm, St, Sp, Sr, Sh.....	60
Figura 34.	Características de las Litofacies St, Sp, Sh.....	61
Figura 35.	Características del Elemento Arquitectural SB.....	61
Figura 36.	Características de las Litofacies Sm, Sh.	62
Figura 37.	Características de las Litofacies Sl, Fl.....	63
Figura 38.	Asociación de facies St y Sr y dentro de estructuras de acuñamiento, ubicado al SE de Huacapama. N: 9233655 E: 818082	63

Figura 40. Asociación de Facies Sh y Fm relacionado a depósitos de ríos entrelazados de baja energía, debido a que se hizo la depositación de arenas finas a gruesas. Ubicado a 1 Km de la localidad de Huacapampa. 64

Figura 41. Relación de facies Fl y Sl con estratificación sesgada ondulada en estratos de tipo laminar. Ubicados a los costados de la carretera Sucre-Huacapampa. N: 9233932 E: 817345 64

Figura 42. Barra de canal que corresponden a depósitos de Areniscas Finas a Gruesas. Foto tomada al SE de la localidad de Huacapampa. N: 9233856 E: 817201 65

Figura 43. Porcentaje de Gravas, Arenas, Limos y Arcillas que determinan diferentes ambientes en un Ambiente Continental Fluvial..... 67

Figura 44. Clasificación de Areniscas de la Formación Chota en Huacapampa-Celendín 70

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de Rocas Clásticas.....	9
Tabla 2. Accesibilidad del área de Estudio.....	47
Tabla 3. Tipo de Investigación.....	51
Tabla 4. Coordenadas UTM de las 06 muestras para el estudio macroscópico..	71
Tabla 5. Descripción Petrográfica de la Muestra HER- 01	71
Tabla 6. Descripción Petrográfica de la Muestra HER- 02	72
Tabla 7. Descripción Petrográfica de la Muestra HER- 03	72
Tabla 8. Descripción Petrográfica de la Muestra HER- 04	73
Tabla 9. Descripción Petrográfica de la Muestra HER- 05	73
Tabla 10. Descripción Petrográfica de la Muestra HER- 06	74
Tabla 11. Coordenadas UTM de las Muestras de Rocas para el análisis químico	74
Tabla 12. Resultado del Análisis Químico de las Muestras.....	75

ÍNDICE DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Depósitos de areniscas fangosas gris rojizas del Miembro Superior de la Formación Chota. Ubicada al SE de la localidad de Huacapampa.....	100
Foto 2. Depósito cuaternario de origen aluvial. A 200 metros de la localidad de Huacapamapa.	100
Foto 3. Arenisca de grano fino con venillas rellenas de óxido de hierro eciente al MS de la Formación Chota. Ubicado en la localidad de pampa.....	101
Foto 4. Medición directa del Miembro Inferior de la Formación Chota. A 2 Km de la localidad de Huacapampa. N: 9233945 E: 817323.....	101
Foto 5. Medición de depósitos de barras de canal (Chanel sand) identificado en el Miembro Superior, debido a la presencia de arenas de tamaño fino a grueso, así como la presencia de limos. Ubicado a 1 Km de la localidad de Huacapampa	102
Foto 6. Medición del Miembro inferior con areniscas de grano fino a medio de la Formación Chota. En la localidad de Huacapampa.....	102
Foto 7. Areniscas de grano fino, gris amarillentas con algunas concreciones de óxido de hierro. Al costado de la carretera Huacapampa-Sucre.....	103
Foto 8. Presencia de nódulos de óxidos en areniscas gris amarillentas de la Formación Chota. En la Localidad de Huacapampa.....	103
Foto 9. Afloramiento de areniscas de coloración gris amarillentas con meteorización moderada a 1 Km de la localidad de Huacapampa.	104
Foto 10. Areniscas gris amarillentas con presencia de limos del Miembro Inferior de la Formación Chota. A 1 Km de la localidad de Huacapampa.....	104
Foto 11. Medición de los estratos de areniscas moderadamente meteorizadas del Miembro Superior de la Formación Chota. A 2 Km de la localidad de Huacapampa	105
Foto 12. Medición de los estratos de areniscas meteorizadas de moderado a fuerte del Miembro Superior de la Formación Chota. En la localidad de Huacapampa	105

Foto 13. Areniscas anaranjadas parduzcas meteorizadas moderadamente de la
Formación Chota. En la localidad de Huacapampa..... 106

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

m	:	Metro
cm	:	Centímetro
mm	:	Milímetro
msnm	:	Metros sobre el nivel de mar
h	:	Hora
Km	:	Kilómetro
S	:	Sur
N	:	Norte
E	:	Este
O	:	Oeste
NE	:	Noreste
NO	:	Noroeste
SE	:	Sureste
SO	:	Suroeste
GPS	:	Sistema Global de Posicionamiento
UTM	:	Universal Transversal Mercator
Fe	:	Hierro
Ox	:	Óxido
MS	:	Miembro Superior
MI	:	Miembro Inferior
TST	:	Secuencia de Depositación Transgresivo
A/S	:	Relación de Espacio de Acomodación vs Suministro
HST	:	Secuencia de Depositación de Nivel Alto

RESUMEN

El estudio se realizó en el Distrito de Huacapampa en la provincia de Celendín en donde aflora la Formación Chota con una orientación NO- SE. El objetivo principal es caracterizar la estratigrafía de la Formación Chota. El procedimiento fue revisar literatura y estudios previos, seguido de una etapa de campo en donde se levantó una columna estratigráfica donde se identifican dos Miembros, el Miembro Inferior (MI) con un espesor de 175m y el Miembro Superior (MS) con 75m. El MI se caracteriza por poseer estratos delgados de areniscas de grano fino a veces areniscas limosas y arcillosas. El MS se caracteriza por poseer estratos medianos a gruesos de areniscas, intercalado con limos y arcillas, interpretadas como depositadas en un ambiente continental de llanura de inundación. La base presenta un HST (Sistema de Deposition de Nivel Alto). Aplicando la Metodología de Miall (1996) se concluye que el Miembro Inferior se compone de elementos arquitecturales CH+SB, relacionado con las litofacies Sr, St, Fl, Sh, Sp, Gm. La parte inferior del Miembro Superior (MS) se caracteriza por poseer el elemento arquitectural SB y está relacionado a las litofacies Fl, Sm, Sh. Se obtuvo muestras para la realización de una descripción petrográfica indicando la presencia de rocas areniscas y areniscas fangosas. Finalmente se hizo análisis químico de laboratorio a las muestras indicando una mayor presencia de cuarzo (SiO₂) en promedio de 65.22% a 72.33%, concluyendo la predominancia de la composición de las rocas de arenas cuarzosas.

Palabras Claves: *Facies sedimentaria, barras de canal, llanura de inundación, Formación Chota.*

ABSTRACT

The study was carried out in the Huacapampa District in the province of Celendín where the Chota Formation emerges with a NW-SE orientation, The main objective is to characterize the stratigraphy of the Chota Formation. The procedure was to literature and previous studies were reviewed, followed by a field stage where a stratigraphic column was built where two Members are identified, the Lower Member (MI) is characterized by having thin strata of fine-grained sandstones, sometimes silty and clayey sandstones, interpreted as deposited in a continental environment. The MS is characterized by having medium to thick strata of sandstone, interspersed with silt and clay, interpreted as deposited in a continental floodplain environment. The base features a HST (Hightand System Tract). Channel bar deposits (chanel sand) and flood plain deposits have been determined in the MS and are classified as HST (Hightand System Tract) and low ratio (A/S). Applying the Miall Methodology (1996) it is concluded that the base of the Lower Member is composed of the architectural elements CH+SB, related to the Sr, St, Fl, Sh, Sp, Gm. The lower part of the Upper Member (MS) is characterized by having the architectural element SB and is related to the lithofacies Fl, Sm, Sh. Samples were obtained to carry out a petrographic description indicating the presence of sandstone rocks and muddy sandstones. Finally, laboratory chemical analysis was performed on the samples indicating a greater presence of quartz (SiO₂) on average from 65.22% to 72.33%, concluding the predominance of the composition of quartz sand rocks.

Keywords: *Sedimentary facies, channel bars, floodplain, Chota Formation.*

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

A finales del Cretácico superior se da inicio a un gran proceso de levantamiento del territorio debido a Tectónica epirogenética llamada por Steinman como Fase Peruana. Como consecuencia de ello los mares comienzan a retirarse produciéndose una gran erosión de los terrenos emergidos y depositándose la Formación Chota. El conocimiento de las características lito-estratigráficas de estas unidades litológicas, mencionadas, es de sumo interés porque nos da a conocer el comportamiento estratigráfico regional y con ello la reconstrucción de su historia depositacional. En el distrito de Huacapampa, ubicado en la provincia de Celendín, afloran rocas sedimentarias que pertenecen a la Formación Chota los mismos que se han depositado en un ambiente continental. Esta investigación proporcionará mayores aportes al conocimiento de la caracterización lito-estratigráfica de la Formación Chota; lo que permitirá realizar una comparación regional.

Para la realización de esta investigación será necesario, además, realizar el análisis de las estructuras sedimentarias, realizar la elaboración de columnas estratigráficas, realizar la recolección de muestras de rocas. Por este motivo se hace el siguiente planteamiento del problema: ¿Cuál es caracterización litológica y estratigráfica de la Formación Chota en el distrito de Huacapampa?, Teniendo la siguiente hipótesis, las secuencias sedimentarias de la Formación Chota en la localidad de Huacapampa se han depositado en un ambiente continental fluvial de ríos entrelazados, meándricos y que evolucionan a depósitos de llanura de inundación.

El estudio a realizarse es transversal y el diseño de la investigación es descriptiva explicativa. La limitación de la investigación es el poco acceso que hay a la zona de investigación.

El objetivo general es Caracterizar la estratigrafía de la Formación Chota en la localidad de Huacapampa y alrededores. Provincia de Celendín. Y como objetivos específicos Confeccionar columna estratigráfica, realizar la comparación estratigráfica y realizar la descripción petrográfica.

Este estudio de investigación se justifica porque dará muchos aportes al conocimiento de la caracterización estratigráfica de la Formación Chota. El levantamiento de la columna estratigráfica permitirá correlacionarla y analizar sus variaciones de facies tanto vertical como horizontal. Este trabajo pretende de servir de apoyo en diferentes trabajos que se hagan sobre esta unidad.

La investigación se ha estructurado en V capítulos:

El capítulo I se refiere a la Introducción, que consiste en dar una versión introductora de la investigación. El capítulo II denominado Marco Teórico, está compuesto por tres subcapítulos; Antecedentes de la Investigación, Bases Teóricas y Definición de Términos Básicos. El primero consiste en la recopilación de todos los antecedentes teóricos que están referidos al tema en mención; estos antecedentes son en el ámbito internacional, nacional y local. El segundo se refiere a todas las bases teóricas los que sirven de sustento para el desarrollo de este trabajo. El tercero corresponde a la Definición de los Términos Básicos. El capítulo III, denominado Materiales y Métodos, contiene: la ubicación del área de estudio, la metodología utilizada en la investigación utilizada, la identificación de las variables dependientes e independientes, las técnicas utilizadas, los instrumentos y equipos utilizados, además se describen el clima, vegetación, la geomorfología. El Capítulo IV, titulado como Análisis y Discusión de Resultados, están los trabajos referidos a la realización de los objetivos, los resultados de estos trabajos, también está la Contrastación de la Hipótesis en donde se comparan los

resultados obtenidos con la hipótesis planteada. Dentro del Capítulo V, referido a las Conclusiones y Recomendaciones, en primer lugar, contiene las conclusiones íntimamente relacionadas a los objetivos planteados, seguidamente de las recomendaciones. En la parte final de esta tesis se tiene las referencias bibliográficas utilizadas en la tesis y finalmente están los anexos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1 Internacionales

Alonso (2021) en su estudio sobre: Las capas rojas del Norte argentino, menciona que las capas rojas en la literatura científica son una parte distintiva y muchas veces ignorada o infravalorada en los paisajes argentino. En el ámbito internacional son famosas las viejas areniscas rojas del Devónico de Escocia y las secuencias del oeste de los Estados Unidos que muestran y repiten las películas de Hollywood. Tal como ocurre con esos magníficos desiertos rojos de Arizona con sus particulares formas de erosión de mesas y tablas gracias a la posición horizontal de los estratos.

Card y Montenari (2022) en su estudio Geoquímica comparativa de los estratos rojos marinos del Carbonífero temprano, compara la geoquímica de las capas rojas marinas del Carbonífero temprano y su importancia en las reconstrucciones paleoceanográficas. Este estudio contribuye a la comprensión de las condiciones paleoceanográficas y paleoclimáticas durante el Carbonífero Inferior y destaca la importancia de las MRBs (Capas Rojas Marinas) como indicadores de cambios en la química oceánica a lo largo del tiempo geológico.

2.1.2 Nacionales

Aliaga (2019) en su trabajo "Estudio Geológico – Geotécnico para la Rehabilitación de la Carretera Corral Quemado – Río Nieva, Tramo I: Puerto Naranjitos - Pedro Ruiz". Este trabajo se centra en el análisis geológico y geotécnico del tramo mencionado, con el objetivo de identificar y proponer soluciones a los problemas de inestabilidad y erosión que afectan la carretera.

El estudio destaca la importancia de la Formación Chota, compuesta por areniscas y lutitas de colores rojo a púrpura, debido a su influencia en la estabilidad de los taludes y suelos a lo largo del tramo evaluado.

Chacaltana, et al (2018). La Formación Chota en la Cuenca Bagua: evaluación e implicancias del criterio de clasificación litoestratigráfico. El objetivo del presente trabajo es reevaluar sus aspectos estratigráficos para una división litoestratigráfica de sus secuencias, con la finalidad de precisar límites estratigráficos en la variación vertical de sus depósitos. Esta investigación concluye que la Formación Chota consta de dos miembros cartografiables que sobreyacen a la Formación Celendín e infrayace a la Formación Cajaruro. Sus mejores afloramientos se les denomina como miembros Rentema y Esperanza.

2.1.3 Locales

Herrera (2021). En su tesis de pregrado: "Comportamiento geológico, hidrogeológico y geotécnico del área para el diseño de la cimentación del colegio San Carlos – Bambamarca" Aunque centrado en el diseño de cimentaciones, este estudio analiza el comportamiento geológico y geotécnico de suelos derivados de la meteorización in situ de la Formación Chota, proporcionando información sobre sus propiedades físico-mecánicas y su influencia en proyectos de construcción.

Tafur (2022). En su tesis de pregrado: Petrografía de la Formación Chota en el tramo de la carretera PE-3N 1+413Km A 1+410Km de Distrito de Chota. Tiene como objetivo principal describir la petrografía de la Formación Chota mediante estudio macro y microscópico de muestras de rocas y sedimentos, concluye que la Formación Chota presenta dos ambientes uno de transición y otro continental.

Requejo (2016). En su tesis de pregrado: Estratigrafía secuencial de la Formación Chota, Distrito de Chota –Cajamarca, 2016. Evidencia el afloramiento de la Formación Chota, haciendo una descripción detallada de la petrografía sedimentaria e identifica sus facies litológicas.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Estructura Sedimentaria

Es una organización geométrica de todos los componentes de una roca sedimentaria los que se han formado como consecuencia de los procesos que lo han estructurado y de todos los elementos que lo componen (Krumbein & Sloss, 1969).

2.2.2. Estratigrafía

Es la parte de la geología que estudia, interpreta, identifica y describe la secuencia tanto vertical como horizontal de los estratos. Por tanto, un registro estratigráfico es el resultado de la continuidad de procesos sedimentarios a través del tiempo geológico; constituye registro de datos fundamental para la comprensión de la evolución geológica, la configuración de las placas tectónicas a través del tiempo y los cambios climáticos globales (Krumbein y Sloss, 1969).

2.2.3. Principios de la Estratigrafía

2.2.3.1. Principio de la Horizontalidad Original

Definido por Steno, determina que los estratos en el momento de su depósito son horizontales y paralelos a la superficie de depósito (horizontalidad original) y que 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 permite conocer excepciones a este principio en las que los estratos se disponen paralelos a las superficies de depósito, pero no necesariamente horizontales, sino con una ligera inclinación original. La aplicación de este principio ha llevado a la idea actual que considera como isócronas a las superficies de estratificación (Vera, 1994).

La Formación Chota pertenece al periodo geológico entre finales del Cretácico superior y los inicios del Paleógeno, está constituida litológicamente por tres zonas (Tafur, 2022).

2.2.3.2. Principio de la superposición

Planteado por primera vez por Steno establece que en una sucesión de estratos los más bajos son los más antiguos y los más altos los más modernos. El principio es básico para la ordenación temporal de los estratos (o conjuntos de estratos) subhorizontales 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 (p.ej. cuevas). 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, 1994).

2.2.3.3. Principio del Uniformismo o Actualismo

Manifiesta 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. 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 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"(Vera, 1994).

2.2.3.4. Principio de la Simultaneidad de Eventos

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 (cambios climáticos, cambios del nivel del mar, cambios en el campo magnético terrestre, grandes terremotos, explosiones de volcanes, etc.) pueden quedar reflejados en los estratos de muy diferentes localidades y constituyen un excelente criterio de correlación, a veces a escala mundial (Vera, 1994).

2.2.4. Litología

Es la parte de la geología que estudia las características de las rocas que aparecen constituyendo una determinada formación geológica, es decir una unidad litoestratigráfica, en la superficie del territorio, o también la caracterización de las rocas de una muestra concreta. Se distingue de la petrología, que estudia y describe (petrografía) en todos sus aspectos lo que caracteriza a los diversos tipos de rocas que existen, aunque en castellano y en francés litología se usó antiguamente como sinónimo de petrología. Por ejemplo, el estudio de las características de los granitos, o del tipo específico de granitos que se encuentran en cierta región, es hacer petrología (Vera, 1994).

2.2.5. Columnas Estratigráficas

Se define como una representación vertical de la superposición de distintos fenómenos físicos presentes en la naturaleza los cuales, a lo largo del tiempo geológico se depositan los diferentes estratos y que se encuentran presentes en la actualidad. La interpretación de estos fenómenos y los ambientes donde éstos se producen (continentales y/o marinos) es clave para determinar la evolución de los distintos cambios que se han producido a lo largo de la formación de la Tierra (Navarrete, 2014). (se tomó como base para realización de las columnas estratigráficas)

2.2.6. Textura

La textura de una roca es el conjunto de relaciones espaciales intergranulares y de características morfológicas (tamaño y forma) de los componentes principalmente granos y/o agregados de minerales. Describe las relaciones entre los componentes que constituyen las rocas. por lo tanto, la textura es determinado por la forma de los componentes de los minerales y por las relaciones geométricas entre ellos (Navarrete, 2014).

Tabla 1. Clasificación de rocas clásticas

CLASIFICACIÓN DE LOS SEDIMENTOS					
Energía de transporte	Tamaño (Ø)	phi	Tamaño (cm)	Nombre del sedimento	Nombre de la roca
Muy alta	-6	Gravas	32	Peñasco	Conglomerado
	-5		16	Matatenas	
	-4		8	Guijarros	
	-3		4	Granulos	
Alta	-2	Arenas	2	Arena muy gruesa	Arenisca muy gruesa
	-1		1	Arena gruesa	Arenisca gruesa
Intermedia	0		0.5	Arena mediana	Arenisca mediana arenisca
	1		0.25	Arena fina	fina
	2		0.12	Arena muy fina	Arenisca muy fina
Baja	3	Limos	0.06	Limo grueso	Limolita gruesa
	4		0.03	Limo mediano	Limolita mediana
	5		0.01	Limo fino	Limolita fina
	6		0.0005	Limo muy fino	Limolita muy fina
Muy baja	7	Arcilla	0.00025	arcillas	Arcillita
	8				

Fuente: Wentworth, (1922)

Existe varias maneras de clasificar una arenisca, sin embargo, se ha aceptado el diagrama de Pettijohn et al, (1973), como base para describir los diferentes tipos. Las areniscas se clasifican en ocho tipos según la proporción de los componentes principales de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca: Arenitas de cuarzo que contienen más del 95% de cuarzo. Las arenitas líticas contienen menos del 75% de cuarzo y los fragmentos de roca superan a los feldespatos potásicos. Las arenitas

feldespáticas contienen menos del 75% de cuarzo y el feldespato supera a los fragmentos de roca. Las arenitas sublíticas contienen cuarzo entre 75% y 95% y los fragmentos de roca superan al feldespato. Las subarcosas contienen entre 75% y 95% de cuarzo y el feldespato supera a los fragmentos de roca. Grauvaca lítica que contiene menos del 95% de cuarzo y más fragmentos de roca que de feldespato. Grauvaca feldespática que contiene menos del 95% de cuarzo y más feldespato que fragmentos de roca. Grauvaca de cuarzo que contiene más del 95% de cuarzo

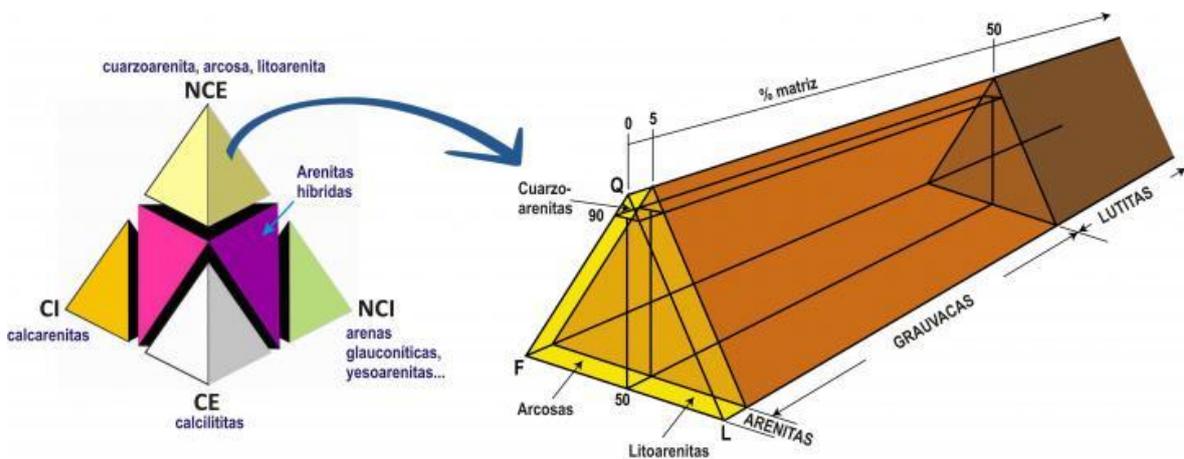


Figura 1. Clasificación de las areniscas

Fuente: Pettijhon, (1963) y mejorado por Arango et al, (2015)

Estas rocas se clasifican, generalmente, en función de su mineralogía, si bien, a veces, se utilizan criterios texturales, como puede ser la presencia de matriz detrítica. Esta clasificación subdivide a las areniscas, en base a criterios texturales, en dos grandes grupos dependiendo del contenido de matriz que presenten (fracción < 0,030 mm)

- **Arenitas** cuando el porcentaje de matriz es inferior a 15 % (otros autores ponen el límite en el 5%)
- **Grauvacas** cuando el contenido en matriz es superior al 15 %.

Estos dos grupos se subdividen en función de la mineralogía que presenta el esqueleto. Para su representación se utilizan diagramas triangulares en donde cada

vértice corresponde a un componente principal de las areniscas. De esta forma, en el vértice superior se contabilizan todos los granos de cuarzo (Q), así como los que tienen unas características hidrodinámicas y de resistencia a la alteración-abrasión similar, como es el chert y la metacuarcita. En el vértice izquierdo se contabilizan el porcentaje de Feldespatos (F), tanto potásicos (ortosa, microclina), como calcosódicos (Plagioclasas) y, por último, en el vértice derecho se cuantifica el porcentaje de líticos (L) o fragmentos de rocas (metamórficos, ígneos, sedimentarios).

A continuación, se ilustran algunos ejemplos de arenitas, indicando las características texturales y composicionales más comunes que se pueden encontrar en estos tipos.

Esqueleto	> 95% de Cuarzo, generalmente monocristalino Accesorios: Feldespatos potásicos y plagioclasas
Textura	-Cuarzos redondeados y muy seleccionados -Alta porosidad y alta permeabilidad -Alta madurez textural y mineralógica
Cemento	-Sintaxial de cuarzo -Poiquilotópico de calcita
Matriz	-Puede estar ausente o ser muy escasa

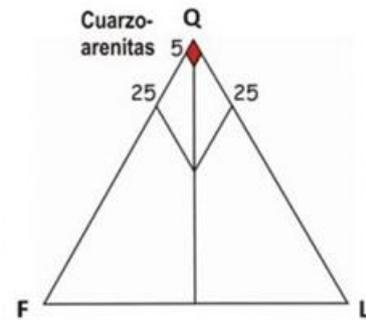


Figura 2 Características de las Cuarzo-Arenitas

Fuente: Arango et al, (2015)

Esqueleto	> 75% de Cuarzo, mono o policristalino. Los feldespatos mayormente potásicos, (> 25%)
Textura	-Redondez Baja -Selección Baja - Media -Porosidad Alta
Cemento	-Carbonático y/o Yesífero -Silíceo y óxidos de hierro
Matriz	-Es escasa siempre inferior al 15%, siendo su naturaleza arcillosa, por general, producto de la alteración de los feldespatos.

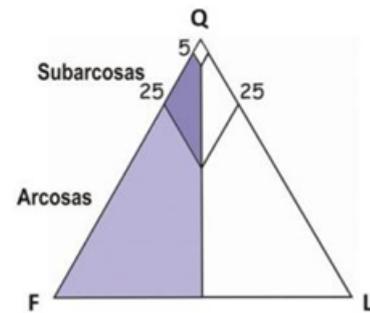


Figura 3 Características de las Arcosas y Subarcosas

Fuente: Arango et al, (2015)

Esqueleto	< 75% de Cuarzo, mono o policristalino. -Fragmentos de roca (>25%) en función de sus tipos. <ul style="list-style-type: none"> • Filoarenitas: Predominio de FR metamórficos • Calcilitas: Predominio de FR carbonáticos • Arenitas Volcánicas: Predominio de FR volcánicos. - Los Feldespatos en porcentajes bajos y siempre inferiores a FR, puede haber presencia de micas.
Textura	-Cuarzo subangular a redondeado -Moderadamente seleccionado -Porosidad alta
Cemento	- Silíceo y/o Carbonático
Matriz	-Es escasa generalmente arcillosa, producto de la alteración de los feldespatos (Epimatriz) y de disgregación de fragmentos de roca lábiles (Pseudomatriz)

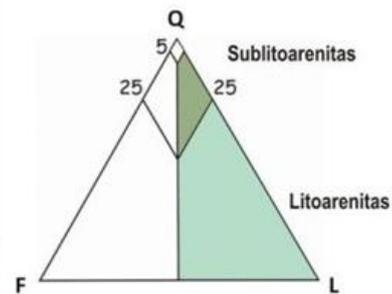


Figura 4 Características de las Litoarenitas y Sublitoarenitas

Fuente: Arango et al, (2015)

Para clasificar las areniscas el componente Q es el cuarzo, el componente F es el feldespato y el componente FR es el fragmento de roca. Cada arista es un diagrama binario de los dos componentes que figuren en sus extremos, y obviamente con el 0 % del tercer componente (el vértice opuesto). Cada punto del interior representa tres valores de porcentajes que son directamente proporcionales a las distancias de las aristas opuestas al vértice en el que figura el componente. Además, pueden observarse ciertas divisiones horizontales y oblicuas, las cuales tienen el objetivo de facilitar la ubicación de una roca en el diagrama, es decir, sirven únicamente como referencia.

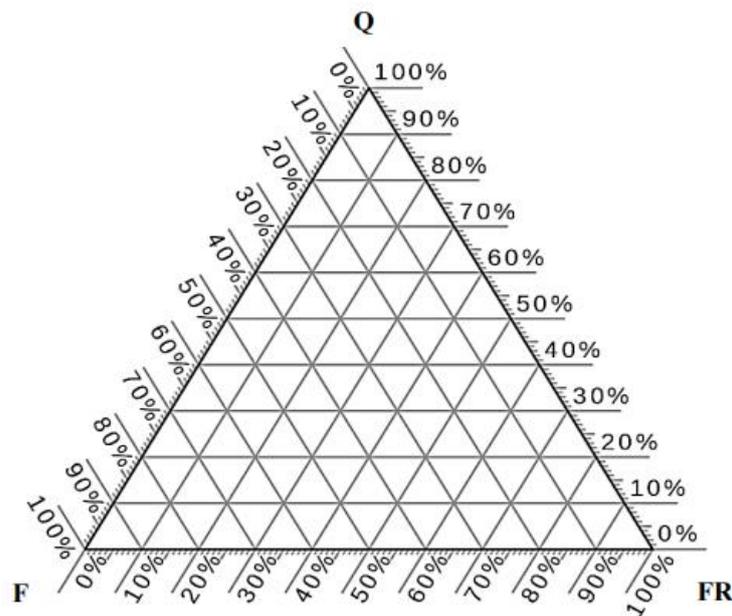


Figura 5 Diagrama Triangular para clasificar areniscas

Fuente: Pettijohn et al, (1987), modificado de Adewumi, (2016)

2.2.7. Ambiente de Depositación

El ambiente depositacional es un punto geográfico donde se acumulan los sedimentos. Los materiales son transportados a grandes distancias de su origen por una combinación de gravedad, agua viento y hielo (Navarrete, 2014).

2.2.8. Caracterización Estratigráfica

Consiste en determinar los atributos peculiares de las rocas y los estratos, así como: formas, composiciones litológicas, propiedades físicas y geoquímicas, sucesiones originarias, relaciones de edad, distribución y contenido de fósiles y que lo distinga claramente de los demás. Una característica es una cualidad que permite identificar a algo o alguien, distinguiéndolo de sus semejantes. (Navarrete, 2014).

2.2.9. Moladas

En geología se denomina molada a una asociación de rocas sedimentarias clásticas de origen terrestre y marino que forman depósitos costeros. Constituyen principalmente areniscas y pizarras y se depositan en playas, lagunas, ríos y pantanos. (Navarrete, 2014).

2.2.10. Capas Rojas

Son secuencias sedimentarias que son predominantemente de color rojo, pero generalmente asociadas con proporciones variables de estratos pardos interdigitados, típicamente grises, gris verdosos, marrones o negros. Comprenden una amplia gama de facies que representan todo el espectro de entornos de depósito no marinos, desde abanicos aluviales, llanuras aluviales, desiertos, lagos y deltas, y varían en edad desde el Proterozoico Temprano hasta el Cenozoico. Las capas rojas son económicamente significativas; albergan una gran cantidad de yacimientos de petróleo y gas y están asociados con depósitos tabulares de cobre y uranio-vanadio (Turner, 1978).

2.2.11. Asociación de Facies Sedimentaria

Se denomina asociación de facies a un conjunto de propiedades que caracterizan a rocas estratificadas. El reconocimiento de las facies en campo constituye la herramienta básica del estudio estratigráfico y la fuente de información en la que se puede basar cualquier tipo de interpretación posterior (Vera, 1994).

2.2.12. Tipos de Facies

2.2.12.1. Llanura de Inundación

Las llanuras de inundación representan ambientes de baja energía, donde el río toma la mayor parte del valle. Estos son depósitos de tipo agradacional que corresponden a limolitas y arcillitas de color gris verdoso representadas por las subfacies arcillita, arcillolita bioturbada, limolita y limolita bioturbada. (Dario et al, 2010)

2.2.12.2. Expansión de Grietas

Son ambientes que indican que el río ha roto su barrera natural y se ha desbordado, tienen cierto interés en la industria petrolera por sus facies arenosas, aunque no presentan mucha continuidad, el desborde de canal corresponden a depósitos progradacionales identificados por la facies de arenas bioturbada, arenas lodosas, arenas con relictos de estratificación cruzada, arena con bioturbación en menor proporción. (Dario et al, 2010)

2.2.12.3. Barras de Canal

Estas facies consisten en cuerpos arenosos de origen fluvial. Las barras de canal o arenas de canal, son depósitos de tipo agradacional compuestos por facies de arenas a veces con leve estratificación cruzada. (Dario et al, 2010)

2.2.13. Estratigrafía Secuencial

La estratigrafía secuencial constituye una subdivisión de la estratigrafía y tiene una variedad de definiciones siendo la más simple la que la define como la subdivisión del relleno sedimentario de las cuencas en paquetes relacionados genéticamente limitados por disconformidades y/o sus conformidades correlativas.

2.2.14. Secuencias de Deposición

Es una sucesión progresiva de depósitos sedimentarios genéticamente ligados, contemporáneos y limitados por superficies estratigráficas. Se reconocen cinco (05) Secuencias de deposición

2.2.14.1. Secuencia de Deposición de Nivel Bajo (LST)

Se forma durante la etapa precoz de subida del nivel de base, cuando la tasa de subida está compensada por la tasa de sedimentación; estamos en contexto de regresión normal. El LST incluye los sedimentos más gruesos, es decir la parte inferior de la serie granodecreciente en ambiente continental, y la parte superior de la serie granocreciente en ambiente marino somero. Tiene como límites: en su base la discontinuidad subaérea o su concordancia correlativa marina, en su tope la superficie de máximo de regresión (Marocco, 2009).

2.2.14.2. Secuencia de Deposición Transgresivo (TST)

El TST comienza a depositarse cuando la velocidad de subida del nivel de base sobrepasa la tasa de sedimentación. Así que, en su base, este system tract tiene como límite la superficie de máximo de regresión (MRS) y, en su tope, la superficie de máximo de inundación (MFS). El TST se identifica por su patrón de acumulación retrogradante (es decir grano decreciente) tanto en las series marinas como en las continentales. La parte marina del cortejo transgresivo se desarrolla en primer lugar en las zonas de poca profundidad, cerca de la línea de costa. La parte costera del TST está compuesto por depósitos de playa, facies estuarinas y sistemas de islas barreras. La agradación costera se favorece de una fuerte tasa de subida del nivel de base, y de una baja gradiente topográfica. En cambio, una fuerte gradiente topográfica induce una erosión costera en relación con una fuerte energía fluvial. La parte fluvial del TST muestra influencias mareales, y también una organización vertical granodecreciente debido a la disminución gradual de la gradiente topográfica y de la energía fluvial por la agradación costera. La tasa elevada de

subida del nivel de base provoca la retrogradación de las facies en la plataforma donde los sedimentos fluviales anteriores se encuentran entrampados por los sistemas fluviales, costeros o de aguas someras de la etapa transgresiva. La mayor parte de los sedimentos terrígenos está entrampada en el prisma sedimentario transgresivo que va de los ambientes fluviales a los de mar somero. El tope del conjunto de los sedimentos transgresivos está limitado por la superficie de máxima inundación (Marocco, 2009).

2.2.14.3. Secuencia de Deposición de Nivel Alto (HST)

El HST tiene como límites, en su base la superficie de máxima inundación y, al tope, una superficie compuesta que incluye la discontinuidad subaérea, la superficie regresiva de erosión marina y la superficie basal de regresión forzada.

El HST representa la etapa tardía de la subida del nivel de base, cuando la tasa de subida del nivel es inferior a la tasa de sedimentación, ocasionando una regresión normal de la línea de costa. En la parte continental del sistema, se produce agradación fluvial con una tasa más importante en la proximidad de la línea de costa provocando una disminución correlativa de la pendiente topográfica. La parte no marina del cortejo de alto nivel registra una disminución de la energía fluvial y, por consiguiente, una organización granodecreciente de las acumulaciones sedimentarias. La parte profunda de la cuenca (plataforma y talud) recibe esencialmente una sedimentación de grano fino pelágica o hemipelágica. Los sedimentos continentales y los de mar somero en la etapa de alto nivel de base tienen poca probabilidad de conservarse debido a la erosión subaérea y marina de la etapa siguiente de caída del nivel de base (Marocco, 2009).

2.2.14.4. Secuencia de Deposición de Caída del Nivel de Base (FSST)

El FSST está compuesto por todos los sedimentos que se acumulan en la parte marina de la cuenca durante la caída del nivel de base. En el mismo tiempo, la parte emergida del sistema está sometida a la erosión subaérea, formándose la discontinuidad subaérea. El tipo de sedimentos de FSST que se depositan en un

tiempo dado depende de la posición del nivel de base respecto al borde de la plataforma (shelf-break).

Si el nivel de base se encuentra por encima del borde del talud los depósitos del FSST se organizan en offlap y consisten en lóbulos de frente de playa (de shoreface), en macroformas de plataforma continental y en abanicos de talud y de cuenca. En este caso, los límites del FSST son superficies compuestas: al tope discontinuidad subaérea, concordancia correlativa; en la base superficie basal de regresión forzada, las partes más antiguas de la superficie regresiva de erosión marina. La mayor parte de los sedimentos va hacia los abanicos de mar profundo que almacenan gran cantidad de arenas bajo forma de turbiditas arenosas de alta densidad (Marocco, 2009).

2.2.14.5. Secuencia de Deposición Regresivo (RST)

El RST es un cuerpo sedimentario compuesto constituido por los systems tracts de Alto nivel (HST), de caída del nivel de base (FSST) y de Bajo nivel (LST). El cortejo regresivo se usa cuando hay imposibilidad de diferenciar los diferentes cortejos regresivos en los documentos de subsuelo. El RST está limitado, en su base, por la superficie de máximo de inundación y, al tope, por la superficie de máximo de regresión; el RST se caracteriza por un patrón de acumulación progradante, tanto en sus partes continentales como marinas. Representa bajo forma de un diagrama de Wheeler la organización de los depósitos durante un ciclo regresivo-transgresivo en el caso de una sedimentación detrítica. Aparecen los cortejos con las superficies que los limitan, los patrones de acumulación

Un ciclo estratigráfico completo registra tanto el tiempo de incremento como el de disminución en A/S y que el ciclo puede estar representado solo por intervalos de rocas más superficies o por superficies. Se hace una relación entre las rocas depositadas durante una disminución de A/S corresponden a highstand system tract (HST) y las rocas depositadas durante un aumento de A/S corresponden a transgressive system tract (TST)

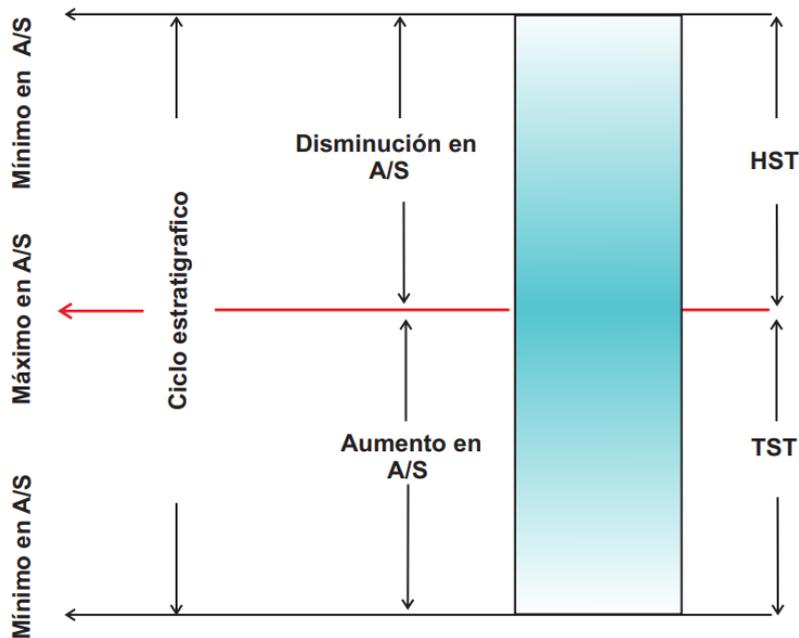


Figura 6 Representación de un ciclo estratigráfico completo

Fuente: Reyes et al, (1998)

2.2.15. Litofacies

Son unidades de rocas definida por un conjunto de características físicas tales como tamaño de grano, composición mineralógica, estructuras sedimentarias y tipo de estratificación, presentes en las rocas sedimentarias, que permiten caracterizar el ambiente sedimentario en el que se depositaron, término empleado para referirse a un grupo de rocas que presentan características litológicas comunes (Bermúdez, López y Troconis, 2003)

2.2.15.1. Tamaño de grano

El tamaño de grano de los componentes clásticos es el criterio fundamental para clasificar las rocas sedimentarias detríticas, siendo su morfología y su naturaleza composicional criterios adicionales para adjetivar las rocas.

2.2.15.2. Composición mineralógica

Los minerales que conforman las rocas sedimentarias pertenecen a dos tipos diferentes de minerales:

Detríticos

Son minerales resistentes (anfíbol, clorita, fluorita, cuarzo, feldespato, plagioclasas, zircón, calcedonia, etc.) liberados de las rocas madres o por meteorización, transportados mecánicamente y depositados posteriormente. (Castro, 1989).

Químicos

Son minerales que se precipitan de una solución y son generalmente compuestos hidratados (calcita, dolomita, siderita, halita, limonita, etc), como es de esperarse en las sustancias que se forman en un ambiente rico en agua.

2.2.15.3. Estructuras Sedimentarias

Son rasgos de las rocas sedimentarias que se observan frecuentemente en los planos de estratificación, se forman debido a los procesos de sedimentación estas pueden ser estructuras primarias o secundarias (Caballero, 2016).

a. 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:

Rizaduras u ondulitas (ripple marks): que pueden ser simétricas (de oscilación) o asimétricas (de corriente). Las de mayor tamaño se denominan dunas.

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.

Estratificación laminar, estratificación cruzada, gradada, estratificación inclinada: Se presentan los diferentes tipos de laminación dependiendo de la morfología del sustrato en el que se depositen los sedimentos, la continuidad, la densidad del agente de transporte (agua, viento), el grado de energía del medio de deposición, el tamaño y densidad de las partículas sedimentarias, así como de su mineralogía (algunos materiales pueden ser disueltos o meteorizados más rápidamente que otros, desapareciendo de la estratificación).

Marcas de corriente (sole marks): Scour marks: producidas por 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.

b. Estructuras diagenéticas

Se forman con posterioridad a la sedimentación, durante la diagénesis, y sin relación directa con el evento sedimentario principal (nódulos de yeso, paleosuelos hidromorfos, etc.)

Estructuras de deformación: se originan después de la sedimentación, pueden ser de carga (calcos de carga, areniscas almohadilladas), de escape de fluidos (convolute lamination, volcanes y diques de arena) y de deslizamiento (olistostromas, slumps, estructuras contorsionadas, etc.).

Estructuras inorgánicas: Su génesis está dominada por procesos físicoquímicos.

Estructuras orgánicas: Su génesis está dominada por procesos biológicos (estromatolitos, bioturbación, pistas, etc.).

Tipos de Estratificación:

Estratificación laminar o horizontal: Se le llama “láminas” a los depósitos de sedimento que, aunque distinguibles, no alcanzan el grosor de un estrado. En este tipo de estratificación, las láminas varían en espesor desde sólo unos pocos diámetros de partícula hasta un centímetro. Su característica esencial es que la extensión de sus estratos es mucho mayor que su grosor.

Estratificación sesgada: Común en depósitos fluviales o eólicos. Es una característica que se produce en varias escalas, y se observa en conglomerados y areniscas. Refleja el transporte de la grava y la arena por las corrientes que fluyen sobre la superficie del sedimento.

Estratificación gradada: Este tipo de estratificación refleja el transporte por corrientes de densidad (o turbidez) o, en ciertos casos, depósitos varados. Las corrientes de turbidez se originan en la pendiente entre las plataformas continentales y las cuencas de aguas profundas.

2.2.16. Elementos arquitecturales

El transporte de grava toma lugar bajo un amplio espectro de condiciones físicas que produce un rango de variaciones texturales y estructurales en los depósitos

producidos. Los principales factores controlantes son la condición del flujo, tanto laminar o turbulento, y la concentración del sedimento (Miall, 1996).

La principal diferenciación es entre 2 tipos de procesos: a) flujos que son turbulentos y tienen poca concentración sedimentaria, en el cual el transporte y la depositación toma lugar por tracción y muy limitada suspensión. b) flujos en el cual la alta viscosidad asociada con alta concentración de sedimentos minimiza la turbulencia, dando lugar a un flujo laminar y grano soportado por flotabilidad. Esta segunda clase de evento tiene el nombre general de flujo sedimentario gravitacional (Miall, 1996).

Una litofacies es definida como un cuerpo de rocas (sedimentos) con características específicas. Puede ser una simple capa o un grupo de ellas. Idealmente, ésta debería ser una roca distintiva que se formó bajo ciertas condiciones de sedimentación, reflejando procesos particulares, set de condiciones o ambientes. Para describir diferentes litofacies, Miall (1996) propone el uso de un sistema de códigos identificatorios de las distintas facies que pueden existir en los sistemas fluviales. El funcionamiento de éste se explica a continuación:

La letra mayúscula (G = grava, S = arena F = facies finas, incluyendo arena muy fina, limo y fango) indica el tamaño de grano dominante.

La letra minúscula acompañante caracteriza la textura o estructura de las litofacies. Si existe una segunda letra minúscula (c, m), correspondiente a la letra media, ésta indicará si las facies son clastosoportado (c), o matriz soportada (m)

2.2.17. Análisis de Facies

Desde el punto interpretativo las facies pueden ser combinadas o agrupadas en asociaciones ya que representan varios tipos de eventos depositacionales que frecuentemente ocurren juntos en el mismo ambiente de depósito. Las Facies se asocian para reconstruir los procesos depositacionales específicos y llegar a

definir el ambiente. Las facies corresponden a atributos sedimentarios asociados por tener algo en común, incluyendo geometría, continuidad y forma de las unidades litológicas, tipos de rocas, estructuras sedimentarias y fauna. La asociación de facies se basa en la observación y se expresa en forma de tablas, resúmenes estadísticos o en diagramas de ocurrencia (perfil vertical).

La Facies puede asociarse tomando en cuenta varios criterios (Miall, 1991):

Ley de Walters (Regla de la Sucesión de Facies).

Técnica de la cadena de Markov (Análisis de Ciclicidad).

Métodos estadísticos (métodos de análisis de Cluster).

Método de análisis de elementos arquitecturales (Límites de Superficie, órdenes de magnitud, hidrodinámica de las estructuras sedimentarias).

Sucesión de Facies (definidas cuando una o más de sus características cambian progresivamente en una dirección específica, vertical o lateralmente (“coarsening-upward”, cambio progresivo de tamaño de grano) o (“thickening-upward”, cambio en el espesor de las capas individuales).

Secuencias estratigráficas (límites de discontinuidades, cambios en el nivel del mar).

2.2.17.1. Límites de Superficie y Elementos Arquitecturales

El análisis de elementos arquitecturales es la base del razonamiento inductivo y consiste en el mapeo en dos o tres dimensiones de los afloramientos. La metodología de elementos arquitecturales se basa en dos conceptos: Escala arquitectural y) elemento arquitectural.

2.2.17.2. Escala Arquitectural

En el concepto de escala arquitectural los depósitos se encuentran caracterizados por un conjunto de litofacies y estructuras originadas en respuesta a los procesos que ocurrieron en una escala de tiempo particular y que son separados físicamente de otros por una jerarquía interna de superficies. Las de primer orden limitan sets (grupo) de láminas, las de segundos conjuntos de sets y las de tercer orden básicamente limitan unidades de canal, en donde mostró que ambientes como ríos y deltas podrían ser clasificados dentro de un orden jerárquico (microformas, mesoformas y macroformas) basadas en una escala temporal y una escala física. Las capas individuales (litofacies) forman una variedad de escalas físicas. La escala más pequeña son las láminas individuales y marcas de ondulitas < 5 cm mientras que las barras complejas y los canales rellenos representan escalas más grandes de decenas de metros de espesor y centenas a miles de metros de longitud. Estas ideas fueron incorporadas por Jackson, (1975) dentro de las jerarquías mencionadas anteriormente formalizando las diferencias en la escala temporal y física en Facies depositacionales de sedimentos clásticos:

Microformas caracterizadas por una escala pequeña representada por laminación, ondulitas.

Las macroformas representan un largo tiempo de acumulación de sedimento, decenas de años a miles de años en respuesta a controles tectónicos geomorfológicos y climáticos, caracterizados por canales principales, barras complejas y límites de superficie.

Para rocas y sedimentos antiguos se registran estas diferencias en escala y se suele introducir el término de "límite de superficie" (bounding surface). Estos límites son superficies de erosión macroscópica cuya extensión física, geometría y asociación de facies son componentes importantes en la subdivisión arquitectural y clasificación de depósitos clásticos, como es también, para la definición y subdivisión de secuencias estratigráficas.

Los límites separan estructuras sedimentarias de unidades de facies, caracterizan la formación del depósito en una escala de tiempo particular, lo que permite que el depósito se subdivide empíricamente dentro de jerarquías de unidades arquitecturales.

Miall (1985) propuso una serie de elementos arquitecturales sobre la base de los siguientes elementos descriptivos:

1. Naturaleza de las superficies limitantes
2. Geometría externa del depósito
3. Escala (espesor y extensión lateral)
4. Litofacies presentes
5. Geometría interna
6. Orientación de paleocorrientes

2.2.17.3. Elemento Arquitectural

Por el concepto de elemento arquitectural el cual es definido como un litosoma caracterizado por una geometría, composición de facies y escala producto de un proceso particular o un conjunto de procesos que ocurrieron dentro de un sistema depositacional y se interpreta en términos de cambios climáticos y tectónicos a través del tiempo.

Miall (1985) Sugiere además 9 elementos arquitecturales para depósitos fluviales:

1. Canales (CH)
2. Barras gravosas y bedforms (GB)
3. Bedformas arenosos (SB)
4. Macroformas de acreción lateral (LA)
5. Macroformas de acreción río abajo (DA)
6. Pozos "scour hollows" (HO)
7. Flujos de sedimentos de gravedad (SG)

8. Capas arenosas laminadas (LS)
9. Sedimentos de planicie de inundación (FF)

De acuerdo con la tabla, el primero y segundo orden de superficie registran límites de “sets” de capas cruzadas. El segundo orden de superficie es simple límites de cosets. Los cuales indican cambios en las condiciones o en la dirección de flujo. Las superficies de tercero y cuarto orden son definidas cuando la reconstrucción arquitectural indica la presencia de macroformas e incluyen depósitos de acreción e incluyen depósitos de acreción lateral (LA), macroformas de acreción río abajo (DA) y canales menores.

El quinto orden de superficie son aquellas limitadas por capas arenosas, canales complejos de relleno y que presentan formas cóncavas hacia arriba marcadas por un relieve local de corte y relleno y por gravas o clastos rezagados en la parte del canal.

El sexto orden de superficie define grupos de canales o paleovalles. Unidades cartografiables estratigráficamente tales como miembros o submiembros. El séptimo orden de superficie equivale lateralmente a cuerpos de abanicos que corresponden a pulsos de actividad tectónica a lo largo de una cuenca limitada por fallas.

El octavo orden de superficie son disconformidades regionales desarrolladas en respuesta a eventos de escala continental o a eventos geológicos globales. Los elementos depositacionales y sus límites de superficie pueden ser clasificados en grupos, con la finalidad de unificar la teoría de la clasificación arquitectural. La agrupación de dichas unidades se da bajo el criterio de duración del evento depositacional y el intervalo de su ocurrencia.

Los depósitos del grupo 1 se forman en pocos segundos (laminación), los del grupo 2 en periodos de pocos minutos a pocas horas (ondulitas), los del grupo 3 se forman en periodos de pocas horas a un día o dos (sets de ondulitas). Para el grupo 4 los

depósitos representan periodos de tiempo de pocos días a pocos meses (estratificación cruzada tipo hummocky). El grupo 5 representa periodos de tiempo de 1 año a decenas de años (varvas glaciares). Para el grupo 6 los periodos de tiempo van de cientos a pocos miles de años (huracanes violentos, inundaciones), el grupo 7 incluye elementos mayores de un sistema depositacional (canales). Para el grupo 8 los periodos de tiempo van de cientos a miles de años (canales principales)

El grupo 9 incluye los sistemas depositacionales que se acumularon en un tiempo de cientos de miles a pocos millones de años y el grupo 10 presenta un periodo de tiempo de millones de años a decenas de millones de años (cambios en el nivel de mar)

Es un término empleado para agrupar la geometría y arreglo interno de los cursos fluviales y de las llanuras de inundación en una secuencia fluvial (Miall, 1996) (Interpretación en 3D). Se entiende como un elemento arquitectural fluvial como el componente de un sistema depositacional equivalente en tamaño no mayor que un canal lleno, y no menor que una unidad de facies (Miall, 1996). Se caracteriza por poseer un distintivo conjunto de facies, geometría interna, forma externa y, en algunas instancias, un perfil vertical (Miall, 1996). Esta clasificación es un poco difícil de entender debido a la complejidad que tiene en algunos casos agrupar litofacies en elementos arquitecturales. Es por esta razón, que el concepto arquitectural debe ser utilizado sólo en los casos que la geometría y configuración de las litofacies permitan un claro reconocimiento de la arquitectura fluvial. Similar al caso de las litofacies, (Miall, 1996). propone un sistema de códigos para catalogar los distintos tipos de elementos arquitecturales. En la tabla se presentan los elementos arquitecturales, con sus respectivos códigos, agrupación de litofacies, y la geometría y relaciones que pueden presentar.

La mayoría de estos elementos corresponden a macroformas las cuales han sido tomados de definiciones anteriores y son el producto del efecto acumulativo de la sedimentación en periodos de decenas a miles de años.

Las macroformas corresponden al grupo 6 e incluyen principalmente los canales y barras, sedimentos de flujos de gravedad y depósitos de inundación y se encuentran limitados por superficies de cuarto orden.

El análisis de estos canales es un componente esencial del análisis de facies. Dicho autor clasifica los canales, en canales fijos y canales móviles.

Sin embargo, se menciona que algunas unidades arquitecturales que han sido clasificadas como canales requiere de una interpretación diferente ya que no presentan formas cilíndricas como los canales, su relleno consiste de litofacies Gm, Sh Ss, Sl, y se encuentran limitados por superficies de cuarto orden con bases curvas y cóncavas. Con base en ello, se propone un nuevo tipo arquitectural (HO: Scour Hollows). Estos se forman en donde convergen canales e interactúan con otro tipo de macroformas tales como DA (macroformas de acreción río abajo), LA (macroformas de acreción lateral).

El rasgo más distintivo de un sistema fluvial es el tamaño, geometría de los canales, sinuosidad y habilidad para migrar, asociaciones barras y a depósitos de overbank. La sinuosidad y los canales son los rasgos diagnósticos de un ambiente fluvial.

Otra clasificación de los sistemas fluviales toma en cuenta los mecanismos de transporte de las partículas y la sinuosidad de los canales:

Canales bedload, típicamente caracterizados por gradientes escarpados, la tasa ancho/ profundidad (> 40) y patrones de canales de baja sinuosidad. Estos canales tienden a migrar lateralmente, su relleno es de grano grueso y contienen poco material por suspensión- carga. Los depósitos de limo- arcilla de planicies de inundación juegan un papel secundario.

La mezcla- carga, contiene un gran porcentaje de depósitos de planicies de inundación, los cuales consisten de limos-arcillas. Los canales son más estables y tienen una tasa baja ancho/profundidad (< 10), su gradiente es bajo. Los canales

se encuentran rellenos de arena y en menor proporción por limo-arcillas. Suspensión-carga, se encuentra caracterizados por canales individuales de alta sinuosidad y gran estabilidad, la tasa ancha/profundidad es (< 10), su gradiente es bajo. Los canales se encuentran rellenos principalmente por limos-arcillas.

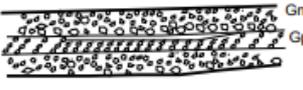
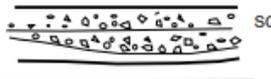
Elemento	Símbolo	Principales asociaciones de Facies	Geometría y relaciones	Dibujo
Canales	CH	Ninguna combinación	Lentes o capas base erosiva concava altamente variables	
Barras de gravas y bedforms	GB	Gm, Gp, Gt	Lentes generalmente cuerpos tabulares comunmente intercalados con SB	
Bedforms arenosos	SB	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Lentes, capas aparecen como canales de relleno, barras menores crevasse splays	
Macroforma acreción río abajo	DA	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Lentes planos base canalizado superficie de erosión interna de tercer orden, convexo	
Macroforma acreción lateral	LA	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss, menos común Gt, Gp	Capas, lóbulos caracterizado por superficies de tercer orden de acreción lateral	
Sedimentos de flujos de gravedad	SG	Gmm, Gmg, Gci, Gcm	Lóbulos, capas intercalados con GB	
Capas de arenas laminadas	LS	Sh, Sl, Menor Sp, Sr.	Capas con laminación	
Sedimentos de planicie de inundación	FF	Fm, Fl	Capas comúnmente intercaladas con SB pueden rellenar canales abandonados.	
Canales menores	HO	Fm, Fl	Canales menores con relleno asimétrico.	

Figura 7 Elementos arquitecturales sugerido por Miall

Fuente: Tomado de Miall, (1996) y mejorado por Caballero, (2016).

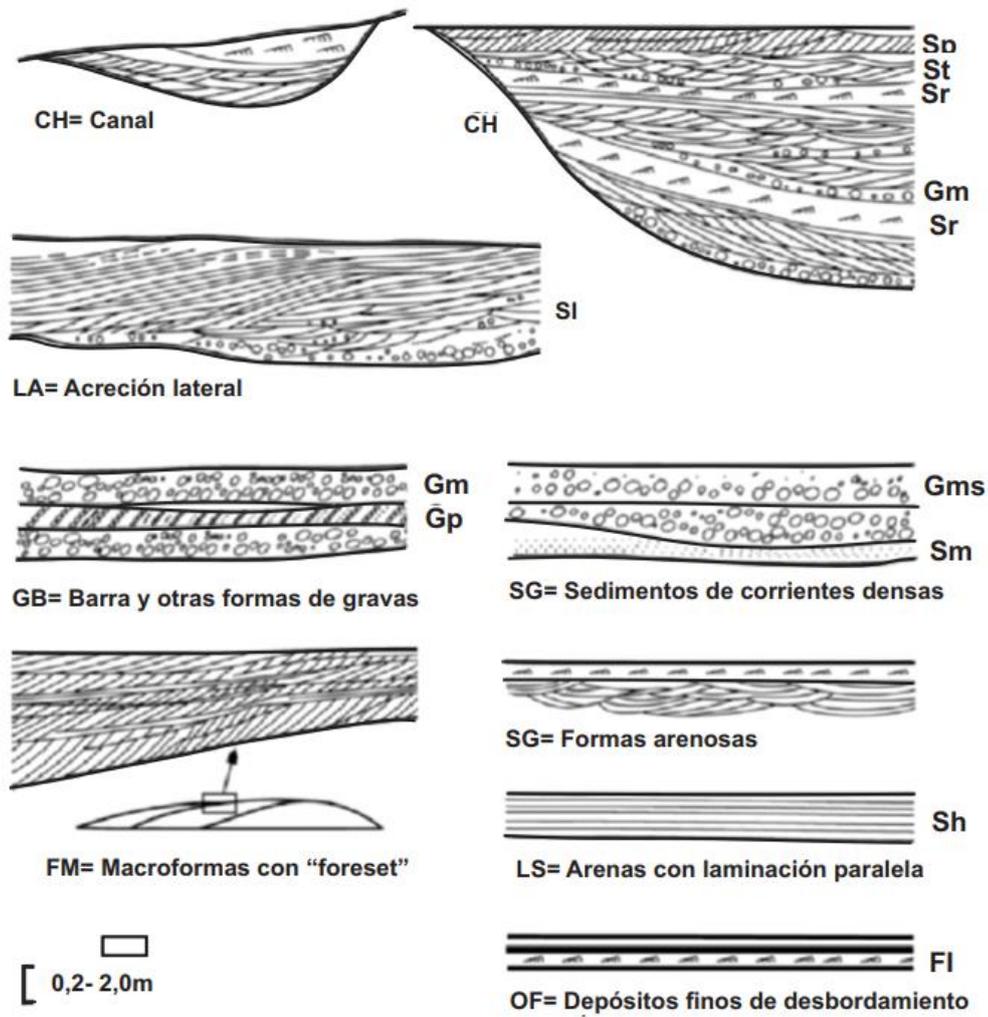


Figura 8 Los 8 elementos arquitecturales básicos en los depósitos fluviales
 Fuente: Tomado de Miall, (1996) y mejorado por Caballero, (2016).

Código de facies	Facies	Estructuras sedimentarias	Interpretación
Gmm	Matriz. Soportante, masiva	Gradación débil	Debris Flow, plástico viscoso
Gmg	Matriz- soportante	Gradación inversa o normal	Debris Flow pseudoplásticos y viscoso
Gh	Clasto- soportante, gravas débilmente estratificadas	Laminación horizontal, imbricación de clastos	Cuerpo longitudinal, depósito de laguna, depósito tamizado
Gt	Grava estratificada	Laminación oblicua curva	Relleno de canal
Gp	Grava estratificada	Laminación oblicua plana	Crecimiento de cuerpos transversales
St	Arena de grano grueso con guijarros	Laminación oblicua curva	Dunas en 3D de crestas sinuosas o lingoides

Figura 9 Código de facies correspondientes a gravas y arenas

Fuente: Miall, (1996)

Código de facies	Facies	Estructuras sedimentarias	Interpretación
Sh	Arena de grano muy fino a grueso o guijarrosa	Laminación horizontal	Flujo crítico
Sm	Arena de grano fino a grueso, masivo	Leve o ninguna laminación	Flujo gravitacional
Sw	Arena de grano fino a grueso	Laminación ondular	Depósito de energía baja asociado a lagunas
Fl	Arena de grano fino, limo o arcilla	Laminación fina, rizaduras de corrientes pequeñas	Llanura de inundación, canal abandonado o flujo menguante
Fm	Limo y/o arcilla, masiva	Masiva, grietas de desecación	Depósitos de pantanos, canal abandonado

Figura 10 Código de facies correspondientes a arenas y arcillas

Fuente: Miall, (1996)

SIMBOLO	ELEMENTO ARQUITECTURAL	CONJUNTO DE FACIES PRINCIPALES	GEOMETRIA Y RELACIONES
CH	Canales	Cualquier combinación	Dedos, lentes o capas, base erosional concavo hacia arriba, escala y forma variable.
GB	Barras y estructuras sedimentarias de gravas	Gm, Gp, Gt	Lentes, plano; usualmente cuerpos tabulares, comunmente interestratificados con SB
SB	Estructuras sedimentarias arenosas	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Lentes, capas, planos, cuñas, ocurren como rellenos de canales, crevasse splays, barras menores
DA	Macroformas de acrecion aguas abajo	St, Sp, Sh, SL, Sr, Se, Ss	Lentes descansando en planos o en base canalizada
LA	Macroformas de acrecion lateral	Sl, Sp, Sh, Sl, Se, Ss o menos	Cuñas, capas, lóbulos
HO	Hoyos de erosion sin orientacion	Gh, Gl, St, Sl	Agujero de formas acucharadas con llenado asimetrico
SG	Flujos sedimentarios gravitacionales	Gmm, Gmg, Gci, Gcm	Lobulos, capas, tipicamente interestratificado con GB
LS	Arenas laminadas	Sh, St, en menor proporcion Sp, Sr	Capas, planos
FF	Sedimentos finos de llanura de inundacion	Fm, Fl	Planos delgados o gruesos comunmente interestratificados con SB puede llenar canales abandonados

Figura 11 Código de facies su geometría y relaciones

Fuente: Miall, (1996)

2.2.17.4. Modo de Empleo de los Códigos de Miall

Para emplear la clasificación de elementos arquitecturales en terreno, se deben tomar tres consideraciones:

2.2.17.5. Escala

Los elementos ocurren a escalas diferentes dentro del mismo depósito, por lo que se debe tener en cuenta la escala a que se está trabajando. Por ejemplo, un río puede dividirse en 2 elementos arquitecturales, en canales (CH) y en llanura de inundación (FF), sin embargo, dentro de estos pueden existir otros elementos arquitecturales que, a la escala de trabajo, pueden ser identificables.

2.2.17.6. Interestratificación

Elementos arquitecturales diversos pueden estar interestratificado en escalas de litofacies individuales, por lo que puede resultar problemático clasificar según litofacies o según elementos arquitecturales. Por ejemplo, fanglomerados, compuestos de apilamientos de elementos GB, comúnmente contiene dedos o lentes de arenas con estratificación cruzada (elemento SB). Muchas de éstas poseen en su techo pequeños lentes de sedimentos finos de FF.

2.2.17.7. Intergradación

Los elementos tienden a gradar lateralmente y transformarse en otro elemento arquitectural. Esto puede ser indicador de la evolución de la macroforma estudiada.

Litofacies	Descripción	Interpretación	Presencia			
			1	2	3	4
Bsi	Brechas sin matriz clasto-soportadas imbricadas	Deslizamiento de detritos seco	X	X		
Bsl	Brechas sin matriz clasto-soportadas fábrica planar	Deslizamiento de detritos seco	X	X		
Bsm	Brechas sin matriz clasto-sopotadas macizas	Deslizamiento de detritos seco / caída de roca/ Deposición en masa	X	X	/	/
Bcl	Brechas clasto-soportadas fábrica planar	Deslizamiento de detritos	X			
Asm	Agglomerados sin matriz clasto-soportados macizos	Caída de roca		X		
Bmm	Brechas matriz-soportadas macizas	Flujo hiperconcentrado cohesivo		X	X	/
Bml	Brechas matriz-soportadas fábrica planar	Flujo hiperconcentrado cohesivo			X	
Bcm	Brechas clasto-soportadas macizas	Flujo fluido		X	X	X
Bch	Brechas clasto-soportadas estrat. horizontal	Flujo fluido, migración de barras longitudinales				X
Bcg1	Brechas clasto-soportadas con gradación inversa	Flujo hiperconcentrado no cohesivo			X	
Bcg2	Brechas clasto-soportadas con gradación normal	Flujo fluido			X	
Bci	Brechas clasto-soportadas imbricadas	Flujo fluido			X	
Bcp	Brechas clasto-soportadas entrecruzadas	Flujo fluido, migración de barras transversales			/	X
SGm	Areniscas guijarrosas macizas	Deposición en masa				/
SGp	Areniscas guijarrosas entrecruzadas	Flujo fluido, migración de megaóndulas de crestas rectas				/
Sm	Areniscas macizas	Deposición en masa				/
FGm	Fangolitas guijarrosas macizas	Flujo fluido y decantación		X	/	
Fl	Fangolitas laminadas	Decantación			/	
Fm	Fangolitas macizas	Decantación			/	

Figura 12 Código de Facies su geometría, relaciones y su interpretación

Fuente: Tomado de Miall, (1996) mejorado por Aranda, (2023).

2.2.18. Nivel de Base

La noción de nivel de base ha sido el objeto de debate dentro de los geólogos que se interesan a las relaciones existentes entre la sedimentación y las fluctuaciones del nivel del mar. Para ciertos autores el nivel de base es el nivel del mar, es decir el punto del continente interceptado por el mar (o sea la línea de costa); para estos autores, el nivel de base es el punto donde los ríos penetran en el mar. Para otros, el nivel de base es una superficie de equilibrio entre la erosión y la sedimentación; tomando en cuenta que la erosión no deja de actuar cuando el río llega al mar, pues la erosión por las olas y las corrientes costeras es efectiva, y también la erosión submarina provocada por la corriente fluvial sobre el fondo del mar al nivel de la desembocadura.

2.2.18.1. La Transgresión

Es un proceso donde la acumulación de secuencias donde las capas son depositadas sucesivamente en dirección hacia tierra firme porque el aporte de sedimentos es limitado y no puede rellenar el espacio disponible. El balance entre los cambios del nivel de base y la sedimentación controla las fluctuaciones del espesor de la capa de agua, así como las modificaciones transgresivas y regresivas de la línea de costa. La retrogradación es el patrón característico de la transgresión.

2.2.18.2. La Regresión

Es la migración de la línea de costa hacia el mar y, por consiguiente, la migración de las facies hacia el mar. La progradación es el patrón característico de la regresión. La relación directa entre el hecho que el mar profundiza (en caso de transgresión) y disminuye de profundidad (en caso de regresión) es válida únicamente en las zonas cercanas a la costa. Mar adentro, los cambios de profundidad del mar no afectan a la sedimentación. En un mar profundo de 30 metros, una fluctuación de 15 metros del nivel del mar va a provocar un cambio en

la litología y la organización de las facies. En cambio, en un mar profundo de 200 metros, la fluctuación de 15 metros no tendrá influencia en la sedimentación. En función de la variación de los diferentes parámetros (fluctuaciones del nivel relativo del mar, subsidencia, levantamiento tectónico) se creará o desaparecerá espacio disponible para la sedimentación. La materialización de una transgresión o de una regresión será ilustrada por la creación (transgresión) o la desaparición (regresión) de espacio disponible para la sedimentación.

2.2.18.3. Fluctuaciones del Nivel de Base

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

El balance entre los cambios del nivel de base y la sedimentación controla las fluctuaciones del espesor de la capa de agua, así como las modificaciones transgresivas y regresivas de la línea de costa. Figuras: 14, 15, 16 y 17.

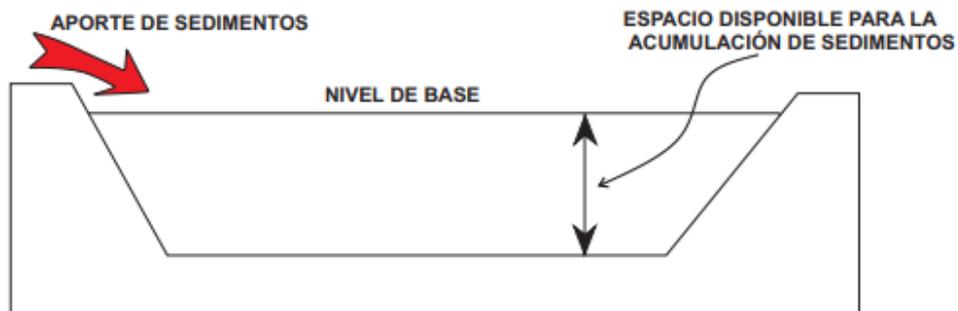


Figura 13 Espacio disponible para la acumulación de sedimentos

Fuente: Marroco, (2008)

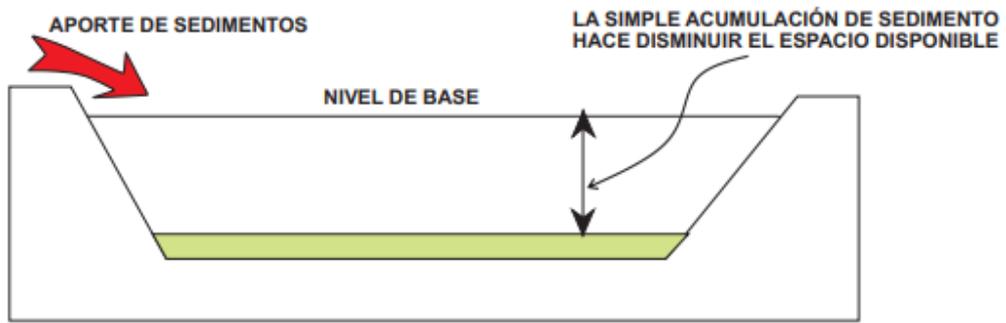


Figura 14 Reducción de espacio disponible por acumulación de sedimentos
Fuente: Marroco, (2008)

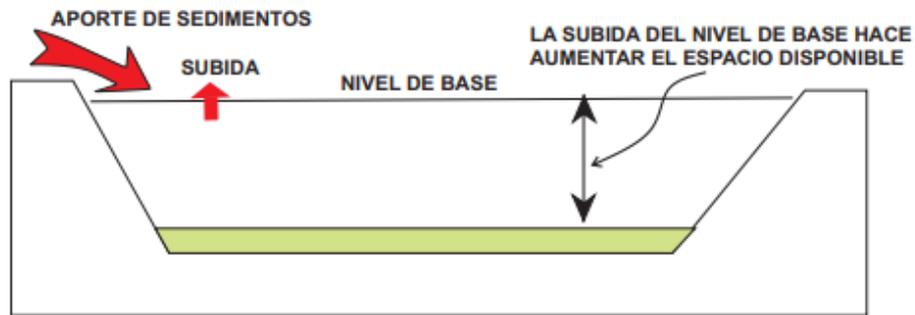


Figura 15 Subida de nivel de base hace aumentar el espacio disponible
Fuente: Marroco, (2008)

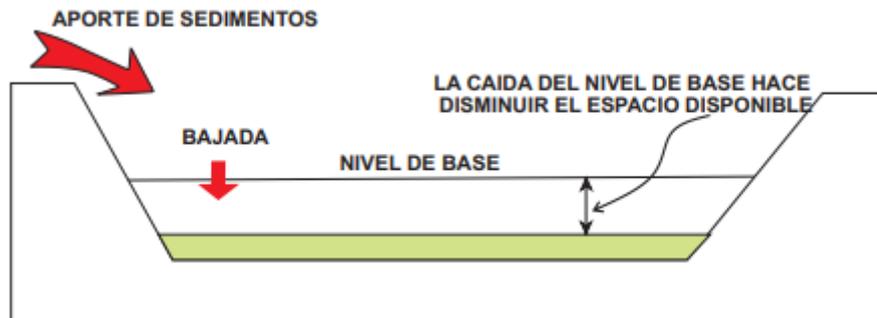


Figura 16 La caída del nivel de base hace disminuir el espacio disponible
Fuente: Marroco, (2008)

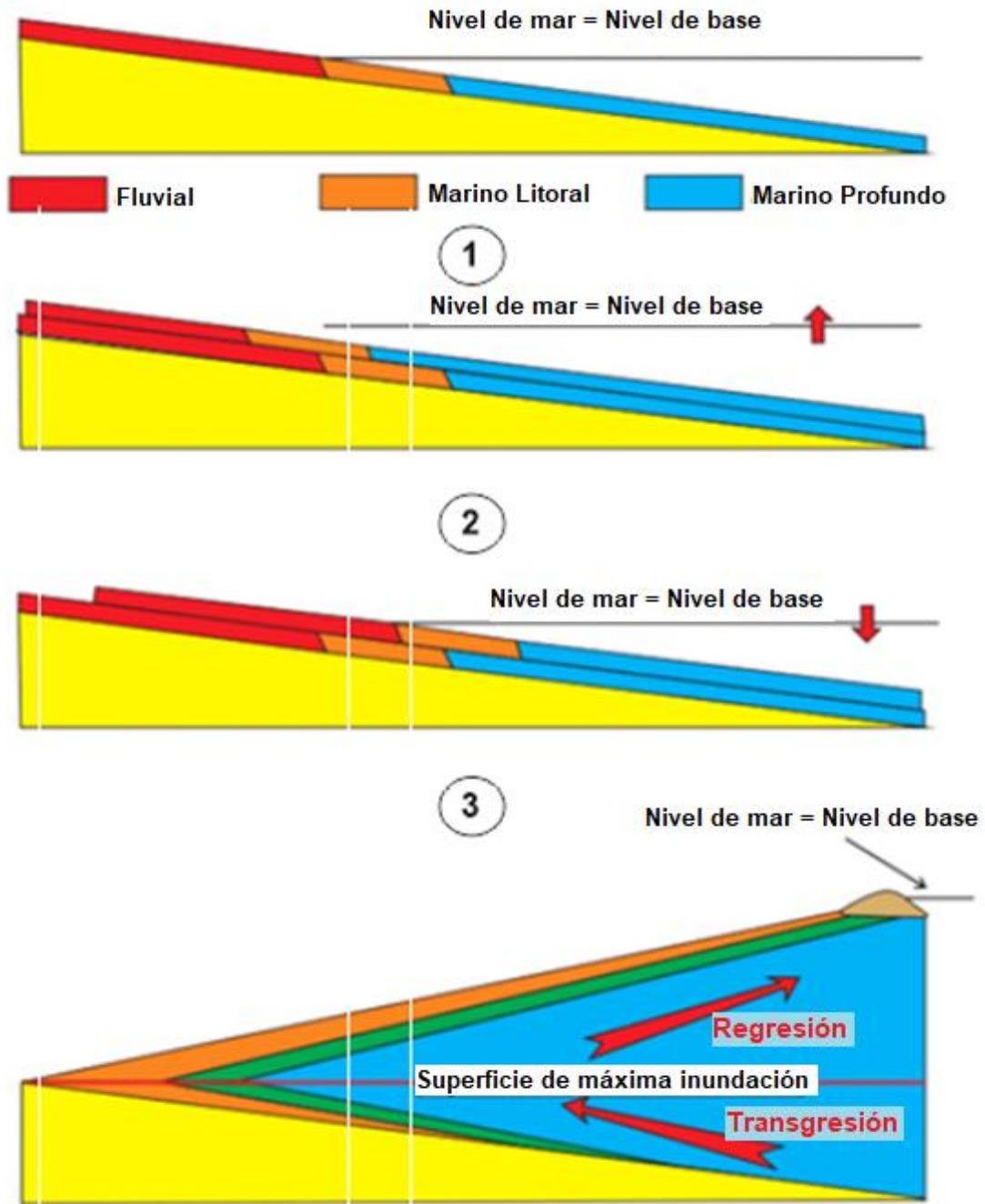


Figura 17 Transgresiones y regresiones 1 estado inicial, 2 Transgresión= migración de las facies hacia el continente; 3 Regresión= migración de las facies hacia el mar; 4: Ciclo Transgresión- regresión, la línea roja representa la superficie de máxima inundación.

Fuente: Marroco, (2008)

2.2.19. Laminación

Es una secuencia a pequeña escala de capas delgadas (las llamadas láminas) que se produce en algunas estructuras de las rocas sedimentarias. Las láminas son más pequeñas y menos pronunciadas que la estratificación por capas. La laminación se puede observar a menudo en estructuras planas de un centímetro o menos de grosor, considerándose capas de estratificación si son de más de un centímetro. No obstante, las estructuras de varios milímetros a muchos centímetros han sido descritas como láminas. Una misma roca sedimentaria puede tener a la vez láminas y capas.

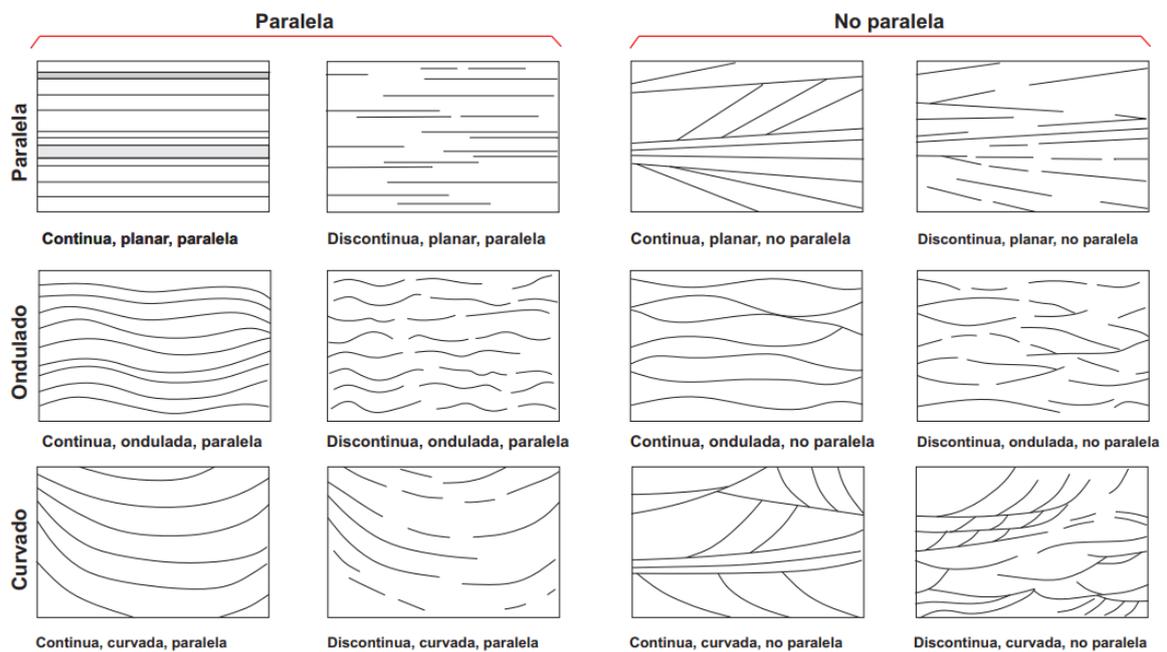


Figura 18 Guía de descripción de laminación en rocas sedimentarias de grano fino según Campbell, (1967) y mejorado por Zavala y González, (2001)

2.2.20. Correlación Estratigráfica

Es la demostración de equivalencia de unidades estratigráficas. Dos cuerpos de roca se pueden correlacionar como pertenecientes a la misma unidad litoestratigráfica aún si esas unidades son de diferentes edades

2.2.20.1. Correlación Directa

Puede ser establecida físicamente. El trazado físico de unidades estratigráficas continuas es el método inequívoco de mostrar correspondencia de una unidad de una localidad a otra.

2.2.20.2. Correlación Indirecta

Se puede establecer por numerosos métodos tales como comparación visual de registros de pozos, registros de polaridad inversa o semejanzas fósiles, tales comparaciones tienen diferentes grados de realidad y nunca pueden ser totalmente inequívocas.

2.2.21. Columnas estratigráficas

Se define como una representación vertical de la superposición de distintos fenómenos físicos presentes en la naturaleza los cuales, a lo largo del tiempo geológico se depositan los diferentes estratos y que se encuentran presentes en la actualidad. La interpretación de estos fenómenos y los ambientes donde éstos se producen (continentales y/o marinos) es clave para determinar la evolución de los distintos cambios que se han producido a lo largo de la formación de la Tierra (Navarrete, 2014).

2.2.22. Tipos de Estratificación

Se basa en dos aspectos fundamentales: la superficie de estratificación y los rasgos distintivos de las asociaciones de estratos sucesivos

2.2.22.1. Por la superficie de estratificación

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

b. Estratos irregulares, con muro erosivo: Son estratos con gran extensión lateral, con un muro irregular y un techo plano, por lo que su espesor varía.

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

d. 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.

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

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

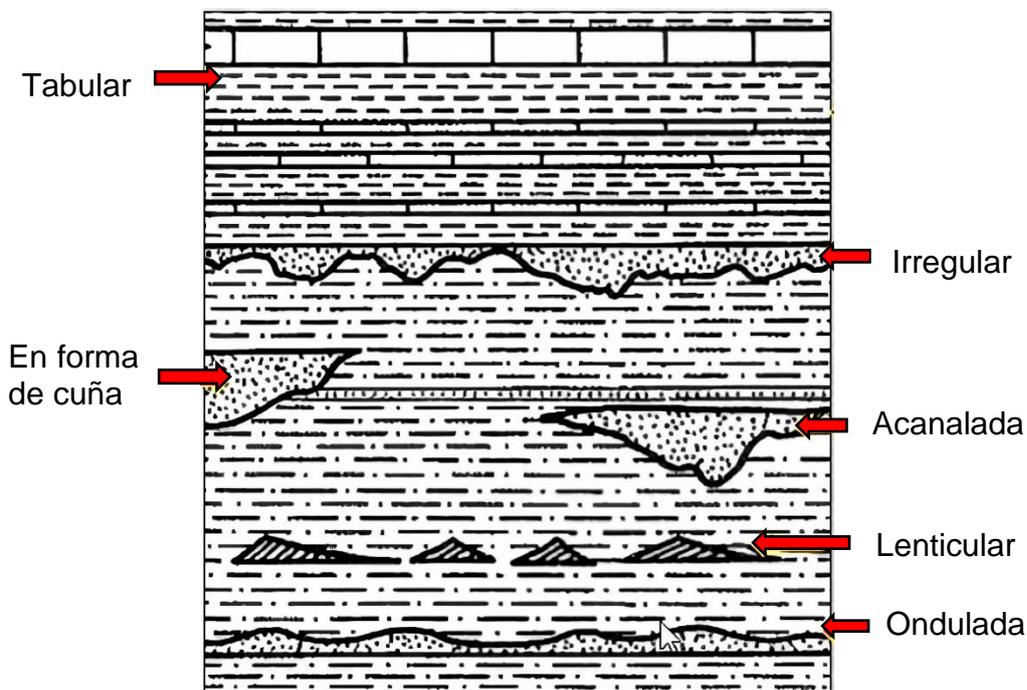


Figura 19. Tipos más simples de geometrías de estratos de acuerdo con su continuidad, forma de las superficies de estratificación y variación lateral de espesor

Fuente: Vera, (1994).

2.2.23. Asociación de estratos

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.

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

b. Aleatoria o de espesor variable: Los espesores de los diferentes estratos superpuestos son muy variables y no presentan ninguna ordenación definida.

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

d. Estratodecreciente: Es el contrario del anterior, o sea, con disminución de los espesores de los estratos hacia el techo en cada lote. Este tipo de ordenamiento también se le conoce con el nombre de secuencia positiva (Lombard, 1956).

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

Un segundo tipo de clasificación estaría basado en la litología de los estratos que se superponen. Se pueden diferenciar los siguientes tipos: homogénea cuando los estratos sucesivos tienen la misma naturaleza, heterogénea cuando estos cambian de manera desordenada, rítmica cuando alternan ordenadamente dos tipos de litología y cíclica cuando el módulo que se repite es de más de dos litologías (Vera, 1994)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Facies Sedimentarias: Se denomina facies sedimentarias al conjunto de características litológicas y fosilífera de una unidad estratigráficas que es de mucha utilidad para distinguirla de las otras facies adyacentes (Gressly, 1838).

Correlación Estratigráfica: Es la demostración de la correspondencia en carácter y/o en posición estratigráficas (Reguant, 2001).

Litoestratigrafía: Es la parte de la estratigrafía que se ocupa de la descripción y nomenclatura de las rocas, basándose en su litología y sus relaciones estratigráficas (Reguant, 2001).

Cuenca Sedimentaria: Las cuencas sedimentarias son las áreas de la superficie terrestre en las que se han podido acumular grandes espesores de sedimentos durante un largo intervalo de tiempo. De acuerdo con el esquema del ciclo geológico expuesto anteriormente la existencia de cuencas sedimentarias, donde se acumulan importantes volúmenes de sedimentos, implica la existencia simultánea de sectores de la corteza sometidos a denudación y erosión (Vera, 1994).

Estrato: Es un conjunto de rocas, que posee un espesor más o menos uniforme, que genéticamente se extiende en sentido horizontal que posee un espesor variable.

Secuencia Estratigráfica: La secuencia estratigráfica está constituida por un grupo de rocas que se caracterizan por presentar forma tabular y que se rigen bajo la ley de la superposición (Vera 1994).

Estratigrafía: La estratigrafía tiene especial aplicación en el estudio de la reconstrucción del movimiento de las placas (tectónica de placas) y en desenredar la historia intrincada de los movimientos hacia el mar y la tierra de la línea de costa (transgresiones y regresiones). Esto se puede determinar gracias a los recientes desarrollos de la sismología y el paleomagnetismo (Blandón, 2002).

Formación: Es una secuencia de rocas generalmente de características semejantes en cuanto a litología, fósiles y edad. Por lo tanto, poseen unas facies semejantes y cercanas y fuentes de aportes de materiales también semejantes. Algunas formaciones tienen alcance regional y territorial (Dávila, 1999).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

3.1.1. Geográfica

Huacapampa está ubicada al Sur- Oeste de la provincia de Celendín y por la zona Este del departamento de Cajamarca.

3.1.2. Política

El área de estudio se encuentra ubicado en el departamento de Cajamarca, provincia de Celendín y distrito de José Gálvez.



Figura 20 Ubicación política de la localidad de estudio

Fuente: Google, (2023).



Figura 21 Mapa satelital

Fuente: Google, (2023).

3.2. ACCESIBILIDAD

Para acceder a la zona de estudio primero se llega hasta el distrito de Sucre desde Cajamarca en la carretera asfaltada, en aproximadamente 2 horas en vehículo y luego a través de un camino de herradura se llega hasta la localidad de Huacapampa en la provincia de Celendín en aproximadamente 30 min en vehículo.

Tabla 2 Accesibilidad del área de estudio

Tramo	Tipo	Tiempo (hrs)
Cajamarca- Sucre	Asfaltado	2h
Sucre - Huacapampa	Herradura	0.50

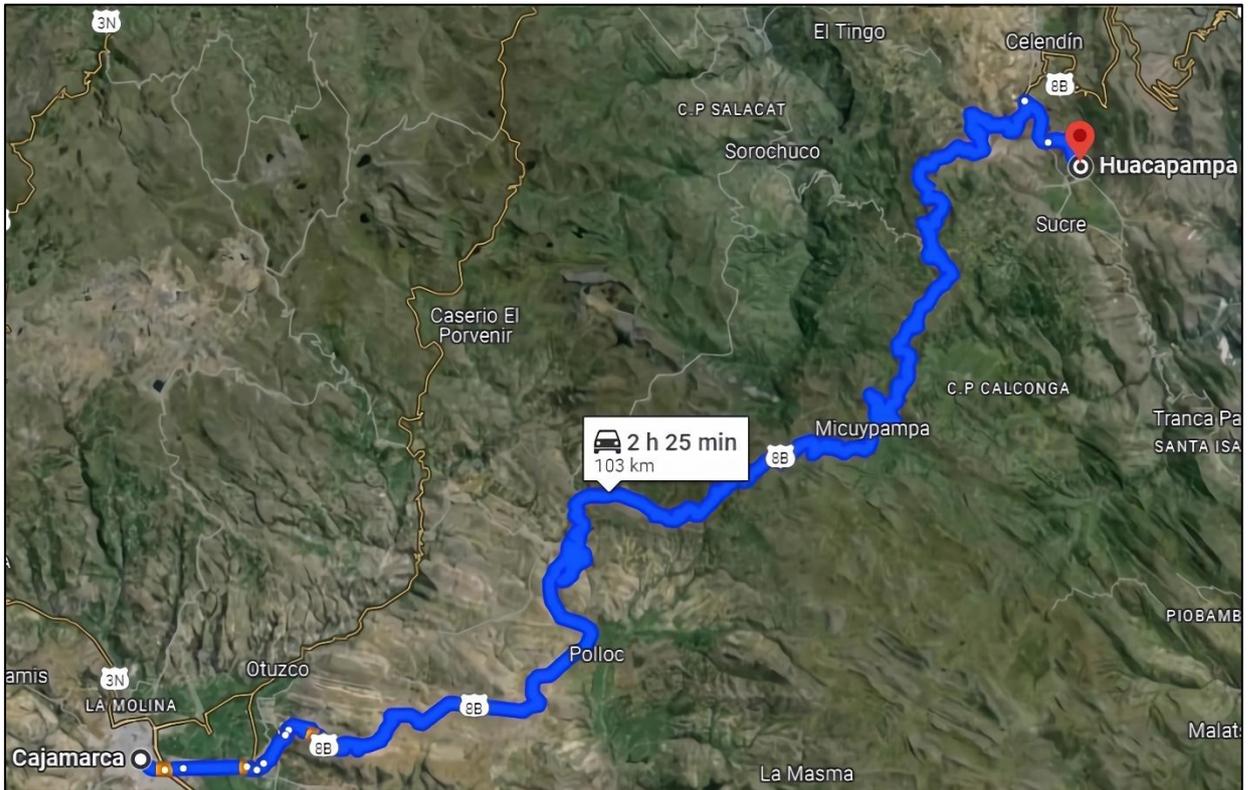


Figura 22 Recorrido de Cajamarca-Huacapampa

Fuente: Google, (2023).

3.3. GEOLOGIA LOCAL

En el área de estudio afloran rocas desde el cretácico inferior hasta el cuaternario:

3.3.1. Formación Chota (PN-cho)

Esta unidad es considerada como Capas rojas porque se produce como respuesta a la Tectónica denominada como Fase peruana y que dio como resultado el retiro de los mares. Esta conforma por areniscas, lodolitas y conglomerados de origen fluvial.



Figura 23 Afloramientos de la Formación Chota, en Huacapampa, Provincia de Celendín.
N: 9233614 E: 818063

3.3.2. Depósitos Aluviales (Qp-al)

Constituyen los depósitos relacionados a los márgenes del río Huauco y algunas quebradas que se activan cuando se produce la época de lluvias, Consisten en depósitos de arenas, gravas y arcillas.



Figura 24 Presencia de depósitos aluviales meteorizadas de color gris amarillenta y gris rojizas del Miembro Superior de la Formación Chota. Ubicados a 2Km de Huacapampa

3.3.3. Depósitos Coluviales (Qh-co)

Estos depósitos se originan por efectos de la gravedad. están formados por gravas, arenas y arcillas. Estos depósitos se ubican en la parte altas.



Figura 25 Depósito de areniscas meteorizadas cuyos estratos no son consolidados, ubicado a los costados de la Carretera de Huacapampa-Sucre.

3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

Tipo de investigación: el tipo de investigación es descriptiva, ya que se describirá las características litológicas y estratigráficas de la Formación Chota en la localidad de Huacapampa.

Nivel de investigación: el nivel de investigación es explicativa, porque nos permitirá determinar la relación y correspondencia en la estratigráficas que existe en la zona de estudio de la formación Chota.

Finalidad: Aplicada la cual explicara cómo ocurrieron ciertos eventos y en qué condiciones se formaron ciertas características encontradas en el área de estudio.

Diseño de investigación: No Experimental porque implica la recolección de datos en determinado tiempo sin intervenir ni modificar el entorno.

Periodo: transversal, debido a que se estudia en un momento determinado de tiempo.

Naturaleza o Modo: Mixta por ser cualitativo-cuantitativo, porque induce de principios explicativos a partir de los eventos observados, y después en una segunda etapa, se construye enunciados que los contengan y se refieren a los eventos.

Tabla 3. Tipo de investigación

Tipo de investigación	Descriptiva
Nivel de la investigación	Explicativa
Diseño de la investigación	No Experimental
Naturaleza de la Investigación	Mixta
Finalidad de la Investigación	Aplicada
Período de la Investigación	Transversal en el tiempo

Fuente: Modificado de Supo, (2016)

3.4.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO

Afloramientos de la Formación Chota en el distrito de Huacapampa-Celendín y que abarcará un área de 20km².

3.4.3. MUESTRAS

Litología, facies, textura y estructura pertenecientes a los afloramientos de la Formación Chota.

3.4.4. UNIDAD DE ANÁLISIS

Características litológicas y estratigráficas de las rocas que conforman la Formación Chota

3.4.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.5.1. Técnicas

Se ha realizado en 3 etapas. En la primera, se obtuvo la información bibliográfica referente a la investigación, involucró la búsqueda y revisión de informes y trabajos realizados sobre el área de estudio, además se procedió a la elaboración y obtención de imágenes satelitales, planos topográficos y planos geológicos, los cuales fueron procesados en softwares como el ArGis v10.7, así como a la obtención y revisión del estado de los equipos a emplear (GPS, cámara).

En la segunda etapa se realizó varias visitas al campo acompañado del asesor de tesis para la recopilación de datos, necesarias para la elaboración de la columna estratigráfica que conforman la Formación Chota.

En la tercera etapa se ha realizado la elaboración de la columnas estratigráficas y posterior análisis de los datos obtenidos de campo, así como la redacción del informe final.

3.4.5.2. Instrumentos y Equipos

Instrumentos

GPS Navegatorio: Sistema de navegación basado en 24 satélites en órbita sobre el planeta tierra que envía información sobre la posición de un objeto en cualquier horario y condiciones climáticas.

Google Earth: Sistema de información geográfica que permite visualizar la topografía en base a imágenes satelitales de cuya información se puede confeccionar mapas temáticos.

Brújula tipo Brunton: Instrumento que sirve para determinar la orientación y la inclinación de las diferentes estructuras geológicas para poder representarlas en los diferentes mapas.

Picota del geólogo: instrumento del geólogo y sirve para obtener una muestra de mano fresca de roca con el fin de determinar de realizar una serie de estudios.

Protáctor a escala 1/10000. Es una especie de regla que sirve para representar los rumbos y buzamientos en el plano de una manera fácil y práctica.

Wincha 10 m: Es una cinta métrica flexible, enrollada dentro de una caja de plástico o metal, que generalmente está graduada en centímetros en un costado de la cinta y en pulgadas en el otro.

Libreta de campo: Es una herramienta usada por investigadores de varias áreas para hacer anotaciones cuando ejecutan trabajos de campo.

Cámara fotográfica digital Marca Canon: Sirve para tomar fotografías que servirán para confeccionar el informe de la investigación.

3.4.6. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Los datos recolectados en campo fueron plasmados en fichas de campo los que posteriormente fueron analizados y procesados mediante el software Autocad para la elaboración de la columna estratigráfica y mediante el software ArcGIS 10.7 para la elaboración de los mapas temáticos, también mediante salidas de campo se pudo obtener muestras de roca, para su posterior análisis de laboratorio, y para su descripción petrográfica, luego de obtener los datos, se realizó su interpretación y análisis de resultados para la realización del informe final.

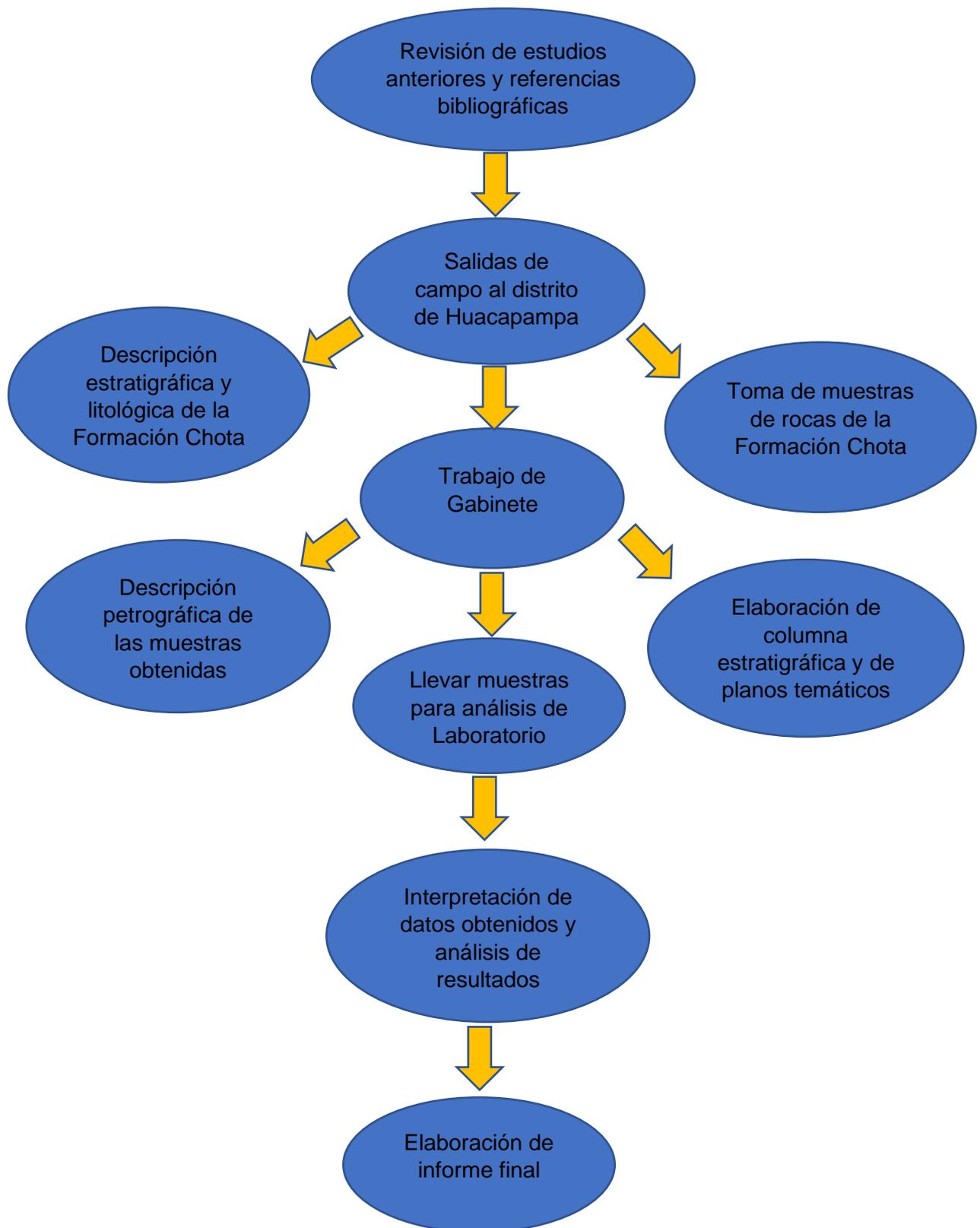


Figura 26. Flujo diagrama que indica el procedimiento realizado por el tesista.

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. FORMACION CHOTA

La Formación Chota se encuentra aflorando en el distrito de Huacapampa. Provincia de Celendín a manera de franjas elongadas de dirección NO- SE. Esta Formación representa el tope del cretácico o el principio del Paleógeno- Neógeno. Anteriormente estaba ocupado por el mar, se depositó concordantemente sobre la Formación Celendín secuencias netamente continentales pertenecientes a la Formación Chota. Posee un espesor de 250 m y se divide en dos Miembros denominados Miembro Inferior (MI) con un espesor de 175m y el Miembro Superior (MS) con un espesor de 75m, descritos a continuación

4.1.1. Miembro Inferior (MI)

4.1.1.1. Características Litológicas

Está conformada por areniscas de grano fino, areniscas arcillosas de coloración gris marrón a gris rojiza. Se muestran muy deleznable.

4.1.1.2. Características Estratigráficas

Este Miembro se caracteriza por poseer estratos delgados, estratificación lenticular, estratificación laminar, estratificación ondulada.

4.1.1.3. Estructuras Sedimentarias

Nódulos de óxidos de hierro

Grietas de desecación

Estratificación Sesgada de bajo ángulo



Figura 27 Miembro inferior (MI) de la Formación Chota. Foto tomada en la localidad de Huacapampa



Figura 28 Lentes arcillosos encontrados dentro del Miembro Inferior. Foto tomada al SE de la localidad de Huacapampa. N: 9233551 E: 818270



Figura 29 Nivel de Conglomerado encontrado en el Miembro Inferior de la Formación Chota. Foto tomada al SO y a 2km de la localidad de Huacapampa.

4.1.2. Miembro Superior (MS)

4.1.2.1. Características Litológicas

Está conformada por areniscas de grano fino a medio areniscas arcillosas de coloración gris marrón a gris violáceas. Se muestran poco deleznable.

4.1.2.2. Características Estratigráficas

Este Miembro se caracteriza por poseer estratos delgados, medianos a gruesos, estratificación lenticular.

4.1.2.3. Estructuras Sedimentarias

Grietas de desecación

Estratificación sesgada de bajo ángulo

Barras de canal



Figura 30 Miembro Superior de la Formación Chota ubicado al costado de la carretera a Sucre-Huacapampa. N: 9233249 E: 818415



Figura 31 Estratos de areniscas, que corresponden a barras de canal debido a la presencia de sedimentos grueso. Ubicado en la localidad de Huacapampa

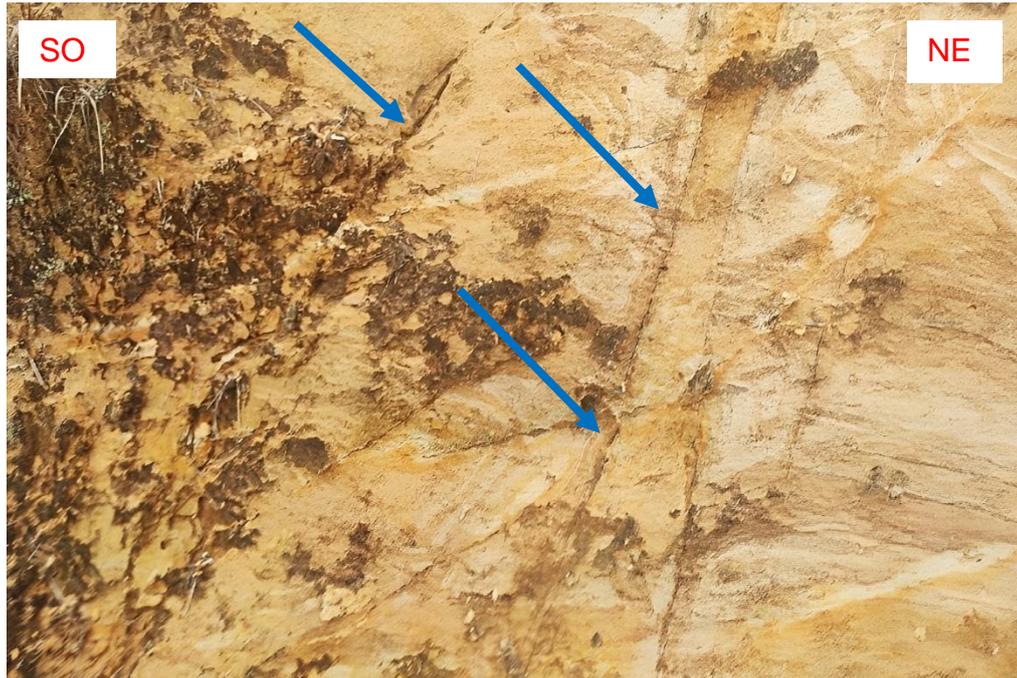


Figura 32 Pequeñas fracturas rellenas con óxidos de Fe, dentro de las areniscas de la Formación Chota, ubicado a 1 Km de la localidad de Huacampampa.

4.2. FACIES SEDIMENTARIAS DE LA FORMACIÓN CHOTA

4.2.1. Metodología aplicada

El análisis de litofacies de las rocas de la Formación Chota, se realizó en base a los datos obtenidos en campo, considerándose las características litológicas tales como: tipo, color, textura, estructura, etc. Se utilizó la metodología de la descripción de facies de Miall (1996), que consiste en emplear la letra mayúscula para el tamaño de grano (G=grava, S=arena, F=sedimentos finos) y letra minúscula para las estructuras sedimentarias (t=laminación curva, h=laminación horizontal, etc.). Es así que las facies litológicas así descritas se asociaron para reconstruir los elementos arquitecturales y que han permitido la interpretación de los ambientes sedimentarios de la Formación Chota.

4.2.2. Asociación de Facies del Miembro inferior (MI)

4.2.2.1. La base del Miembro Inferior

Está compuesta por la asociación de los elementos arquitecturales CH+SB, (barra de canal), relacionado con las litofacies Sr, St, Fl, debido a que se relacionan a estructuras sedimentarias arenosas como rellenos de canal.

SIMBOLO	ELEMENTO ARQUITECTURAL	CONJUNTO DE FACIES PRINCIPALES	GEOMETRIA Y RELACIONES
CH	Canales	Cualquier combinación	Dedos, lentes o capas, base erosional concavo hacia arriba, escala y forma variable.
GB	Barras y estructuras sedimentarias de gravas	Gm, Gp, Gt	Lentes, plano; usualmente cuerpos tabulares, comunmente interestratificados con SB
SB	Estructuras sedimentarias arenosas	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Lentes, capas, planos, cuñas, ocurren como rellenos de canales, crevasse splays, barras menores
DA	Macroformas de acrecion aguas abajo	St, Sp, Sh, SL, Sr, Se, Ss	Lentes descansando en planos o en base canalizada
LA	Macroformas de acrecion lateral	Sl, Sp, Sh, Sl, Se, Ss o menos	Cuñas, capas, lóbulos

Figura 33 Características de los elementos arquitecturales CH+SB

Fuente: Miall, (1996)

4.2.2.2. La Parte ntermedia del Miembro Inferior

Se muestran las litofacies Gm por la presencia de conglomerados con grava y Sr, St, Sh, Sp por la presencia de areniscas de grano fino a medio.

Código de facies	Facies	Estructuras sedimentarias
Gms	Gravas masivas, matriz soportada	ninguna
Gm	Masiva grava estratificada	Estratificacion horizontal, imbricacion
Gi	Grava estratificada	Estratificacion cruzada festoneada
Gp	Gravas estratificada	Estratificacion cruzada planar
St	Arena media a muy gruesa, hasta guijarros	Estratificacion cruzada festoneada
Sp	Arena media a muy gruesa hasta guijarros	Estratificación cruzada planar
Sr	Arena muy fina a gruesa	Rizaduras de todo tipo
Sh	Arena muy fina a muy gruesa hasta guijarros	Laminacion horizontal
Sl	Arena fina	Estratificacion cruzada de bajo Angulo
Se	Relleno de erosion con intraclastos	estratificacion cruzada
Ss	Arena fina a gruesa, guijarros	Rellenos someros incluyendo estratificacion cruzada
Sse, She, Spe	Arena	Similar a Ss, Sh, Sp
Fl	Arena lutita, lodo	Laminacion fina, rizaduras muy pequeños
Fsc	Lutita, lodo	Laminar a masiva

Figura 34 Características de las litofacies Gm, St, Sp, Sr, Sh.

Fuente: Miall, (1996)

4.2.2.3. La parte superior del Miembro Inferior

Las asociaciones de litofacies St, Sh, Sp. por la presencia de areniscas de grano fino a medio.

Código de facies	Facies	Estructuras sedimentarias
Gms	Gravas masivas, matriz soportada	ninguna
Gm	Masiva grava estratificada	Estratificación horizontal, imbricación
Gi	Grava estratificada	Estratificación cruzada festoneada
Gp	Gravas estratificada	Estratificación cruzada planar
St	Arena media a muy gruesa, hasta guijarros	Estratificación cruzada festoneada
Sp	Arena media a muy gruesa hasta guijarros	Estratificación cruzada planar
Sr	Arena muy fina a gruesa	Rizaduras de todo tipo
Sh	Arena muy fina a muy gruesa hasta guijarros	Laminación horizontal
Sl	Arena fina	Estratificación cruzada de bajo Angulo
Se	Relleno de erosión con intraclastos	estratificación cruzada
Ss	Arena fina a gruesa, guijarros	Rellenos someros incluyendo estratificación cruzada
Sse, She, Spe	Arena	Similar a Ss, Sh, Sp
Fl	Arena lutita, lodo	Laminación fina, rizaduras muy pequeños
Fsc	Lutita, lodo	Laminar a masiva

Figura 35 Características de las litofacies St, Sp, Sh.

Fuente: Miall, (1996)

4.2.3. Asociación de facies del Miembro superior (MS)

4.2.3.1. La base del Miembro superior

Se caracteriza por poseer el elemento arquitectural SB (llanura de inundación) y está relacionado a las litofacies Fl, Sm, Sh, relacionado a estructuras sedimentarias arenosas como rellenos de canal.

SÍMBOLO	ELEMENTO ARQUITECTURAL	CONJUNTO DE FACIES PRINCIPALES	GEOMETRIA Y RELACIONES
CH	Canales	Cualquier combinación	Dedos, lentes o capas, base erosional concavo hacia arriba, escala y forma variable
GB	Barras y estructuras sedimentarias de gravas	Gm, Gp, Gt	Lentes, plano; usualmente cuerpos tabulares, comunmente interestratificados con SB
SB	Estructuras sedimentarias arenosas	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Lentes, capas, planos, cuñas, ocurren como rellenos de canales, crevasse splays, barras menores
DA	Macroformas de acreción aguas abajo	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Lentes descansando en planos o en base canalizada
LA	Macroformas de acreción lateral	Sl, Sp, Sh, Sl, Se, Ss o menos	Cuñas, capas, lóbulos

Figura 36 Características del elemento arquitectural SB

Fuente: Miall, (1996)

4.2.3.2. La parte intermedia del Miembro superior

Se muestran las litofacies Sm, Sh, por la presencia de areniscas de grano fino a medio, con estructuras de laminación y masiva.

Código de facies	Facies	Estructuras sedimentarias
Gms	Gravas masivas, matriz soportada	ninguna
Gm	Masiva grava estratificada	Estratificación horizontal, imbricación
Gi	Grava estratificada	Estratificación cruzada festoneada
Gp	Gravas estratificada	Estratificación cruzada planar
St	Arena media a muy gruesa, hasta guijarros	Estratificación cruzada festoneada
Sp	Arena media a muy gruesa hasta guijarros	Estratificación cruzada planar
Sr	Arena muy fina a gruesa	Rizaduras de todo tipo
Sh	Arena muy fina a muy gruesa hasta guijarros	Laminación horizontal
Sl	Arena fina	Estratificación cruzada de bajo Angulo
Se	Relleno de erosión con intraclastos	estratificación cruzada
Ss	Arena fina a gruesa, guijarros	Rellenos someros incluyendo estratificación cruzada
Sm	Arena fina a gruesa	Masiva
Fl	Arena lutita, lodo	Laminación fina, rizaduras muy pequeños
Fsc	Lutita, lodo	Laminar a masiva

Figura 37 Características de las Litofacies Sm, Sh.

Fuente: Miall, (1996)

4.2.3.3. La parte superior del Miembro superior

Las asociaciones de litofacies Fl, Sl. Por presencia de areniscas de grano fino con intercalación de lutitas y arcillitas con una laminación fina.

Código de facies	Facies	Estructuras sedimentarias
Gms	Gravas masivas, matriz soportada	ninguna
Gm	Masiva grava estratificada	Estratificación horizontal, imbricación
Gi	Grava estratificada	Estratificación cruzada festoneada
Gp	Gravas estratificada	Estratificación cruzada planar
St	Arena media a muy gruesa, hasta guijarros	Estratificación cruzada festoneada
Sp	Arena media a muy gruesa hasta guijarros	Estratificación cruzada planar
Sr	Arena muy fina a gruesa	Rizaduras de todo tipo
Sh	Arena muy fina a muy gruesa hasta guijarros	Laminación horizontal
Sl	Arena fina	Estratificación cruzada de bajo Angulo
Se	Relleno de erosión con intraclastos	estratificación cruzada
Ss	Arena fina a gruesa, guijarros	Rellenos someros incluyendo estratificación cruzada
Sse, She, Spe	Arena	Similar a Ss, Sh, Sp
Fl	Arena lutita, lodo	Laminación fina, rizaduras muy pequeños
Fsc	Lutita, lodo	Laminar a masiva

Figura 38 Características de las litofacies Sl, Fl.

Fuente: Miall, (1996)



Figura 39 Asociación de facies St y Sr y dentro de estructuras de acuñaamiento, ubicado al SE de Huacapama. N: 9233655 E: 818082



Figura 40 Asociación de facies Sh y Fm relacionado a depósitos de ríos entrelazados de baja energía, debido a que se hizo la depositación de arenas finas a gruesas. Ubicado a 1 Km de la localidad de Huacapampa.



Figura 41 Relación de facies FI y SI con estratificación sesgada ondulada en estratos de tipo laminar. Ubicados a los costados de la carretera Sucre-Huacapampa. N: 9233932 E: 817345

4.2.4. Interpretación

Los elementos arquitecturales (CH+SB), representan sistemas fluviales que se caracterizan 'por contener depósitos de canal intercalados con lechos arenosos y pantanosos que evolucionan a planicies arenosas de baja energía. El elemento arquitectural SB presenta litofacies Sr, St, Sh, Sl característicos de estructuras sedimentarias arenosas que ocurren como relleno de canales, que finalmente son transportados y depositado en llanuras de inundación.



Figura 42 Barra de canal que corresponden a depósitos de Areniscas Finas a Gruesas.
Foto tomada al SE de la localidad de Huacapampa. N: 9233856 E: 817201

4.3. Porcentaje de arcillas, arenas y gravas en ambiente continental

El diagrama de Folk, (1962) indica la cantidad de arcillas, limos, arenas y gravas en depósitos de un ambiente continental fluvial. Se observa que en el cauce del río abundan las gravas, arenas y arcillas, que están en función a la energía de transporte. En la zona de estudio se ha constatado que existen esporádicos horizontes de conglomerados lo que estaría indicando una baja energía en el transporte de los ríos. Dentro de un depósito de llanura de inundación Folk, (1962) define abundancia de arenas, limos y arcillas lo que es coincidente con la determinación en la zona de estudio.

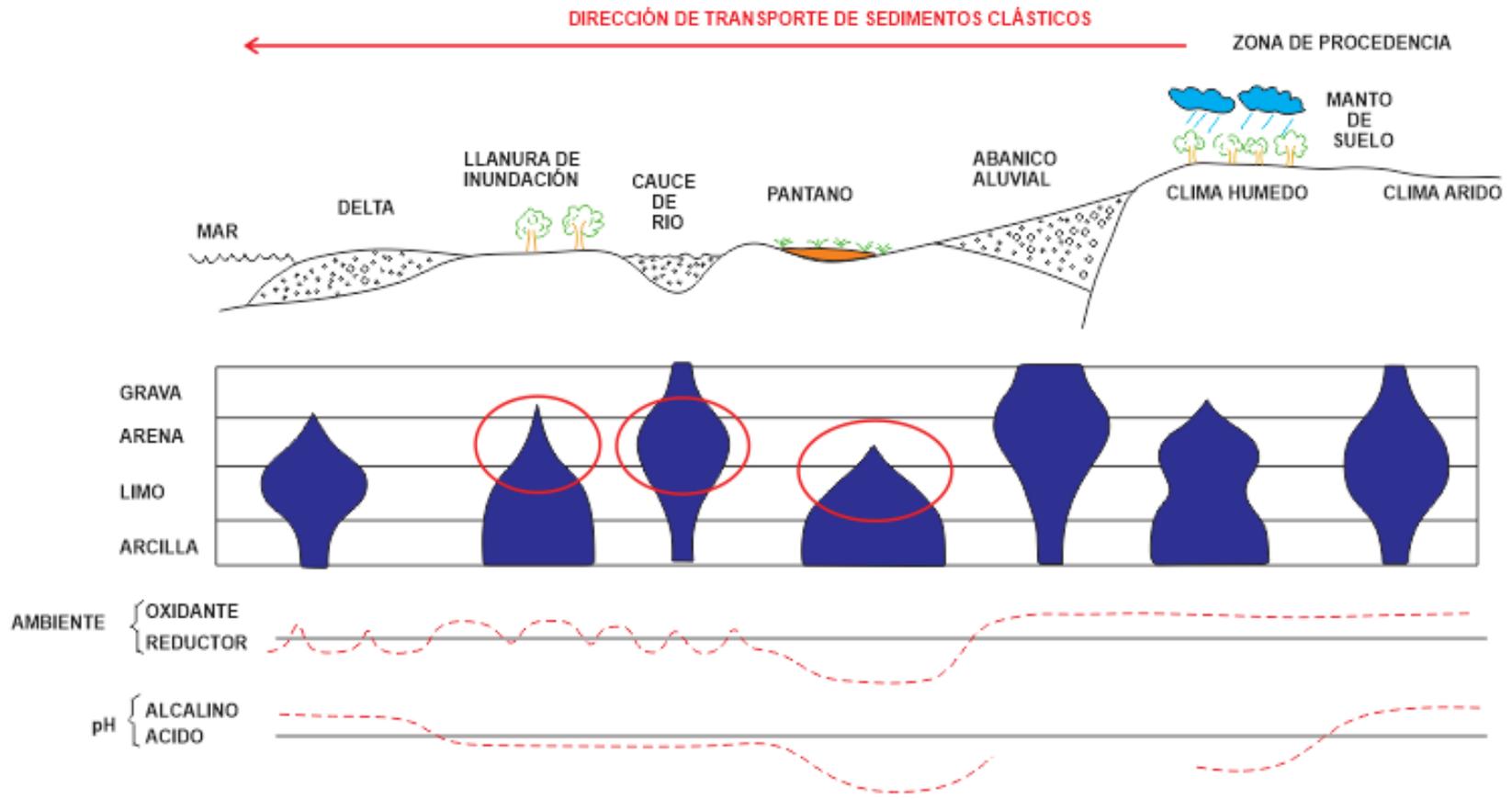


Figura 43 porcentaje de gravas, arenas, limos y arcillas que determinan diferentes ambientes en un ambiente continental fluvial
 Fuente: Folk, (1962)

4.4. Columna estratigráfica de la Formación Chota

La Formación Chota ha sido dividida en dos Miembros (MI y MS) con un espesor de 250m, conformados por conglomerados, areniscas cuarzosas, limolitas y arcillitas que fueron depositados en un ambiente continental-fluvial. El Miembro Inferior (MI) se caracteriza por poseer estratos delgados a veces laminares con lentes conglomerádicos con un espesor de 175 m. El Miembro Superior (MS) presenta estratos delgados a medianos con un espesor de 75 m. Siendo predominante el Sistema de Deposición de Alto Nivel (HST), la secuencia de estratos que se presentan son estratocreciente y estratodecreciente, con sucesiones granocrecientes, identificando el inicio del ambiente sedimentario de la Formación Chota en canales entrelazados, siguiendo por canales meándricos y finalmente llegando a una llanura de inundación.

4.5. Comparaciones estratigráficas de la Formación Chota

Se ha realizado una comparación estratigráfica de la Formación Chota con diferentes autores. En la localidad de Bagua Mourier et al, (1988) describe tres Miembros y lo denomina Formación Bagua, Sánchez et al, (1991) definen dos miembros dentro de la Formación Chota, Así como estudios como Requejo, (2016) donde a la Formación Chota le Suprayace el Grupo Calipuy y le subyace la Formación Celendín y Tafur, (2022) en donde identifica tres Miembros (Inferior, Medio y Superior)

4.6. Descripción Petrográfica

Para la realización de la descripción petrográfica de las rocas de la Formación Chota se recolectaron 06 muestras de rocas, correspondiendo a tres del Miembro Inferior y tres del Miembro Superior. Para que las muestras sean estudiadas en gabinete se procedió a georreferenciarlo, codificarlo, embolsarlo para posteriormente transportarlo.

El estudio petrográfico consistió en la descripción a nivel macroscópico de su color (en roca fresca y color superficial), su tamaño de grano, su reacción al HCl, su composición, etc. Y para obtener el nombre se utilizó un triángulo de clasificación de areniscas, obteniendo los porcentajes de Cuarzo(Q), Feldespato(F) y Fragmento de Roca(FR), para el trazado de las líneas correspondientes para encontrar el punto de intersección como en el siguiente ejemplo:

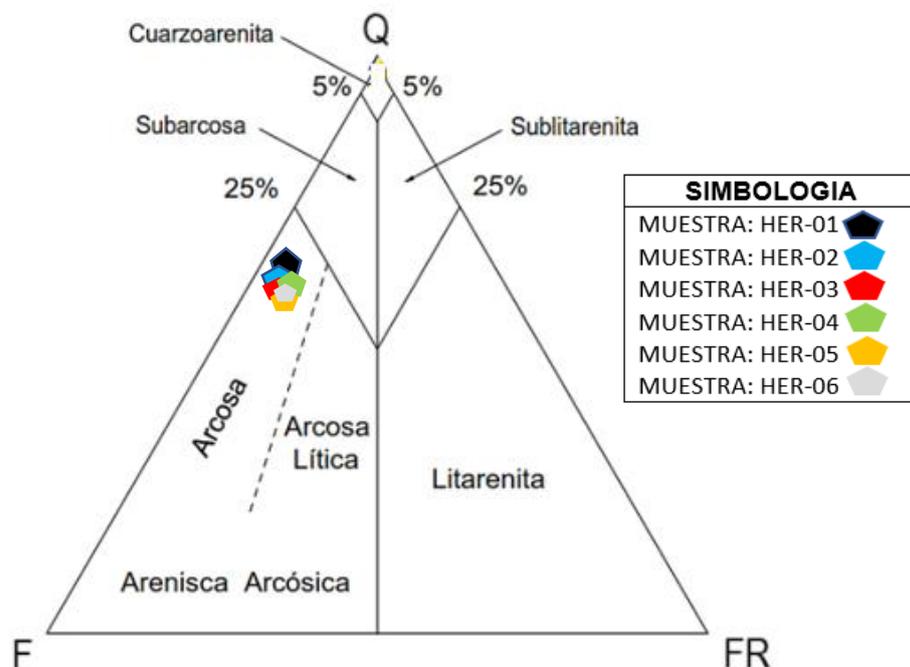


Figura 44 Clasificación de Areniscas de la Formación Chota en Huacapampa-Celendín

Fuente: Pettijohn et al, (1987), modificado de Adewumi, (2016)

A continuación, se presenta una tabla conteniendo su codificación y su ubicación en coordenadas UTM de las muestras recolectadas para el estudio petrográfico:

Tabla 4 Coordenadas UTM de las 06 muestras para el estudio macroscópico

Muestra	Código	Coordenadas UTM	
		Norte	Este
01	HER- 01	817600	9236100
02	HER- 02	817200	9236300
03	HER- 01	817800	9235000
04	HER- 01	819700	9231000
05	HER- 05	820100	9230000
06	HER- 06	817600	9235000

Tabla 5 Descripción Petrográfica de la Muestra HER- 01

Carta	Zona	Formación	Tipo de roca	Coordenadas (UTM)	
14-g	Huacapampa	Chota	clástica	817600	9236100
Características petrográficas		Muestra		HER-01	
Color de superficie intemperizada	Anaranjado Grisáceo				
Color de superficie fresca	Amarillo				
Brillo	Satinado				
Tamaño de grano	Fino				
Composición	Arenas Cuarzosas				
Presencia de restos de fósiles	No				
Reacción al HCl	No				
Clasificación	Sedimentaria				
Nombre	Arenisca				
Comentarios	Muy deleznable al tacto.				

Tabla 6 Descripción Petrográfica de la Muestra HER- 02

Carta	Zona	Formación	Tipo de roca	Coordenadas (UTM)	
14-g	Huacapampa	Chota	Clástica	817200	9236300
Características petrográficas			Muestra	HER-02	
Color de superficie intemperizada	Gris Parduzca	<p>Diagrama ternario para la muestra HER-02. El eje vertical es Cuarzo (Q), el eje izquierdo es Fragmentos de Roca (F) y el eje derecho es Feldespatos (FR). La composición se sitúa en la zona de Arcosa Litica. Se indican: 70% de Cuarzo, 25% Subarcosa, 5% Cuarzoarenita, 5% Sublitarenita, 25% Litarenita, 7% de Fragmentos de Roca y 23% de Feldespatos. Se muestran líneas de clasificación para Arcosa, Arcosa Litica y Litarenita. Se incluye una fotografía de la muestra con una regla de 13 cm.</p>			
Color de superficie fresca	Anarajado				
Brillo	Satinado				
Tamaño de grano	Fino				
Composición	Arenas Cuarzosas y Arcilla				
Presencia de restos de fósiles	No				
Reacción al HCl	No				
Clasificación	Sedimentaria				
Nombre	Arenisca Fangosa				
Comentarios	Muy deleznable al tacto.				

Tabla 7 Descripción Petrográfica de la Muestra HER- 03

Carta	Zona	Formación	Tipo de roca	Coordenadas (UTM)	
14-g	Huacapampa	Chota	Clástica	817800	9235000
Características petrográficas			Muestra	HER-03	
Color de superficie intemperizada	Marrón Grisáceo	<p>Diagrama ternario para la muestra HER-03. El eje vertical es Cuarzo (Q), el eje izquierdo es Fragmentos de Roca (F) y el eje derecho es Feldespatos (FR). La composición se sitúa en la zona de Arcosa Litica. Se indican: 69% de Cuarzo, 25% Subarcosa, 5% Cuarzoarenita, 5% Sublitarenita, 23% Litarenita, 8% Fragmento de Roca y 23% de Feldespatos. Se muestran líneas de clasificación para Arcosa, Arcosa Litica y Litarenita. Se incluye una fotografía de la muestra con una regla de 10 cm.</p>			
Color de superficie fresca	Anaranjado				
Brillo	Satinado				
Tamaño de grano	Medio				
Composición	Arenas cuarzosas y limos				
Presencia de restos de fósiles	No				
Reacción al HCl	No				
Clasificación	Sedimentaria				
Nombre	Arenisca lodosa				
Comentarios	Muy deleznable al tacto.				

Tabla 8 Descripción Petrográfica de la Muestra HER- 04

Carta	Zona	Formación	Tipo de roca	Coordenadas (UTM)	
14-g	Huacapampa	Chota	Clástica	819800	9231000
Características petrográficas			Muestra		HER-04
Color de superficie intemperizada	Anaranjado Amarillento				
Color de superficie fresca	Amarillo				
Brillo	Satinado				
Tamaño de grano	Fino				
Composición	Arenas Cuarzosas				
Presencia de restos de fósiles	No				
Reacción al HCl	No				
Clasificación	Sedimentaria				
Nombre	Arenisca				
Comentarios	Deleznable al tacto. Presencia de oxidación y Micas.				



Tabla 9 Descripción Petrográfica de la Muestra HER- 05

Carta	Zona	Formación	Tipo de roca	Coordenadas (UTM)	
14-g	Huacapampa	Chota	Clástica	820100	9230000
Características petrográficas			Muestra		HER-05
Color de superficie intemperizada	Anaranjado Grisáceo				
Color de superficie fresca	Anaranjado				
Brillo	Satinado				
Tamaño de grano	Fino				
Composición	Arenas Cuarzosas				
Presencia de restos de fósiles	No				
Reacción al HCl	No				
Clasificación	Sedimentaria				
Nombre	Arenisca				
Comentarios	Muy deleznable al tacto. Presencia de oxidación. Rastros de laminación				



Tabla 12 Resultado del análisis químico de las muestras

%	HEVAL-01	HEVAL-02	HEVAL-03	HEVAL-04	HEVAL-05	HEVAL-06
SiO ₂	72.33	69.44	68.34	66.89	65.22	69.33
Fe ₂ O ₃	0.98	0.98	0.88	0.93	1.93	1.01
FeO	3.04	4.05	4.15	4.38	4.55	3.31
K ₂ O	2.43	2.55	2.58	2.92	3.12	2.15
TiO ₂	0.66	0.74	0.69	0.98	0.95	0.93
Al ₂ O ₃	2.98	2.86	2.83	2.97	2.99	2.99
Na ₂ O	2.04	2.11	2.08	2.11	2.29	2.21
MnO	1.35	1.44	1.67	1.98	1.91	1.62
MgO	1.88	1.92	1.94	1.91	1.96	2.44
CaO	1.77	1.87	2.01	2.22	2.34	2.34
Perdidas	10.54	11.98	12.83	12.66	12.61	11.67

Fuente: INGEOCONSULT & LAB SRL

4.7.1. Comentarios

Las muestras de rocas analizadas poseen en promedio 65.22 a 72.33% de SiO₂, valores promedio de FeO desde 3.04 a 4.55% lo que estaría indicando que las rocas analizadas se han depositado en un ambiente oxidante. El contenido de CaO (de 1.77 a 2.34%) y MgO (de 1.88 a 2.44%) estaría indicando una asimilación del calcio y magnesio sueltos como consecuencia de la alteración de las calizas del cretácico superior.

4.7. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

En cuanto la hipótesis inicial se establece que las rocas de la Formación Chota se han depositado en un ambiente continental fluvial de ríos entrelazados, meándricos y que evolucionan a depósitos de llanuras de inundación debido a que en El Miembro inferior (MI) con un espesor de 175m y el Miembro superior (MS) con un espesor de 75m presentan elementos arquitecturales (CH+SB) que representan sistema fluviales con litofacies Sr, St, Sh, Sl, Sm característicos de estructuras sedimentarias arenosas que ocurren como relleno de canales, que finalmente son transportados y depositado en llanuras de inundación y también coincide con un depósito de llanura de inundación de Folk, (1962) por abundancia de arenas, limos y arcillas

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

La caracterización estratigráfica de la Formación Chota en la localidad de Huacapampa y alrededores se ha podido identificar dos Miembros, siendo el Miembro Inferior (MI) conformado por areniscas, limolitas y arcillitas de una coloración gris rojiza, anaranjado grisáceo a amarillento parduzco de grano fino a medio y el Miembro Superior (MS) litológicamente conformada por areniscas y arcillitas de coloración gris rojiza de grano fino a medio.

La columna estratigráfica obtenida de la Formación Chota en la localidad de Huacapampa nos muestra que El Miembro inferior (MI) posee un espesor de 175m caracterizado por poseer estratos delgados a veces laminares con lentes conglomerádicos y El Miembro Superior (MS) posee un espesor de 75m con estratos delgados a medianos.

La comparación estratigráfica de la formación Chota se dio con otros estudios realizados anteriormente como de Sanchez et al, (1996), Requejo, (2016) y Tafur, (2022), presentado dos miembros representativos, un Miembro Inferior (MI) y un Miembro Superior (MS) en la formación Chota en Huacapama-Celendín.

La descripción petrográfica de las muestras tomadas en la Formación Chota, muestra una presencia mayoritaria de Areniscas Arcosas

5.2. RECOMENDACIONES

A los futuros tesisistas de ingeniería geológica se recomienda para estudios futuros poder realizar un análisis microscópico de las muestras de rocas para poder obtener una mejor caracterización y descripción de la Formación Chota en la localidad de Huacapampa-Celendin.

A los estudiantes de ingeniería geológica se recomienda realizar estudios de investigación concernientes a la caracterización litológica y estratigráfica de la Formación Chota en Lucmapampa y La Victoria, localidades donde aflora dicha Formación en la Provincia de Celendín, para poder correlacionar con el afloramiento de la formación Chota en Huacapampa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliaga, M. 2019 Estudio Geológico – Geotécnico para la Rehabilitación de la Carretera Corral Quemado – Río Nieva, Tramo I: Puerto Naranjitos - Pedro Ruiz. Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Geólogo. Lima, Perú, Universidad Mayor de San Marcos.
- Alonso, R. 2021 Las capas rojas del Norte argentino. miningpress.com/debate/339910/escibe-ricardo-alonso-las-capas-rojas-del-norte-argentino.
- Blandom, A. 2002 Principio de Estratigrafía. Trabajo de año sabático. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Sede Medellín.
- Benavides, V. 1956. Cretaceous system of northern Perú. Bulletin American Museum, Natural History. New York, Vol. 108.
- Boggs, S. 1992 Petrology of sedimentary rocks. Macmillan Publishing company, New York.
- Buatois, L. 2002. Variaciones del nivel del mar, superficies de discontinuidad y patrones de apilamiento estratal en valles estuarinos incisos: la Arenisca Morrow en el subsuelo de Kansas. IX Reunión Argentina de sedimentología. Córdoba. 50 p.
- Borkowsqui, D. 1994 Catalogo de Minerales Industriales del Perú. Printed in Lima.
- Caicedo, G. 2018 Estudio estratigráfico del cretácico superior en el Morro de Lechería y las islas al norte de Barcelona, estado Anzoátegui, tesis para obtener el grado de Maestro, Venezuela. Universidad Central de Venezuela

- Campbell, C 1967 Lamina, laminaset, bed and bedset. Sedimentology. Elsevier Publishing Company, Amsterdam- Printed in The Netherlands. Esso Production Research Company, Houston, Texas (U.S.A.)
- Card, J; Montenari, M. Comparative geochemistry of Early Carboniferous marine red beds (MRBs) and their significance for deep time paleoceanographic reconstructions. Revista Sedimentary Geology. U.S.A. 11pp
- Chacaltana, C.; Valdivia, W.; Benites, A.; Chumpitaz, M. 2018 La Formación Chota en la cuenca Bagua: Evaluación e implicancias del criterio en el criterio de clasificación litoestratigráfico. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú (SGP). Repositorio del INGEMMET
- Dario, H; Rueda, J.; Ortiz, A.; Colegial, J. Análisis 2010 Estratigráfico para las arenas de la Formación Mugrosa en área Piloto del Campo Llanito. Boletín de Geología, Vol. 32, núm. 1, pp. 27-44 Universidad Industrial de Santander Bucaramanga, Colombia.
- Dávila, J. 2011 Diccionario Geológico. INGEMMET. Editorial Art- Grouting S.A.C. Lima- Perú. 900p.
- Emery, D. y Myers, K. 1996 Sequence Stratigraphy, Blackwell Science Ltd. P 137-177
- Folk, RL. 1962 Spectral subdivision of limestone types. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists (1):62-84.
- Herrera, E. 2021 Comportamiento geológico, hidrogeológico y geotécnico del área para el diseño de la cimentación del colegio San Carlos – Bambamarca. Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Geólogo. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca.

- Krumbein, W. & Sloss, L. 1963 Estratigrafía Y Sedimentología. Departamento de Geología, Universidad Northwestern. Primera Edición en español. Unión Tipográfica Editorial, Hispano América. México. 778pp.
- Navarrete, E. 2014 Apuntes de estratigrafía y sedimentación. Guayaquil – Ecuador.
- Jacay, J. 2005 Análisis de la sedimentación del Sistema Cretáceo de los Andes del Perú Central. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG Vol. 8, N.º 15, 49-59. Universidad Nacional Mayor de San Marcos ISSN: 1561-0888 (impreso) / 1628-8097 (electrónico)
- Jervey, M.T. (1988) Quantitative Geological Modeling of Siliciclastic Rock Sequences and Their Seismic Expression. SEPM Special Publication, 42, 47-69.
- Lagos, A. & 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.
- Laughlin, D. 1925 Notas sobre la geología y fisiografía de los Andes Peruanos en los Departamentos de Lima y Junín (Trad. G.D. Zevallos). Inf. Mem. Soc. Ing. Peru, Vol. 27
- Lombard, A. 1956 Geologie sedimentaire: Les series marines. Masson, Paris, 722 p.
- Marocco, R. 2009 Introducción a la Estratigrafía Secuencial, pág. 4-46.
- Navarrete, E. 2014 Apuntes de estratigrafía y sedimentación. Guayaquil – Ecuador.
- Nichols, G. 2009. Sedimentology and Stratigraphy 2 ed. Garsington Road, Oxford, OX4 2DQ, UK, 432 p.

- Petijhon, F.; Potter, P., Sever, R. 1973 Sand and sandstone. Springer-Verlag, Berlin.
- Plummer, C. McGear, D. 1996 Physical Geology. Wn Brown Publishers, 539 p.
- Ramón, J., Cross, T., 1997. Characterization and prediction of reservoir architecture and petrophysical properties in fluvial channel sandstone's, Middle Magdalena Basin, Colombia. Ciencia, Tecnología & Futuro 1, 19-47.
- Reguant, S. 2001 Guía Estratigráfica Internacional. Revista de la Sociedad Geológica de España, vol. 14, (3-4).
- Requejo, N. 2016 Estratigrafía Secuencial de la Formación Chota, Distrito de Chota-Cajamarca, 2016. Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Geólogo. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca.
- Reyes, L. 1980 Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca (15-f), San Marcos (15-g) y Cajabamba (16-g). Boletín N°31 INGEMMET.
- Steinmann, G. 1957 Geología del Perú Heidelberg, Trd. Castellana por J. A. Broggi
- San Boggs, J. 2006 Principles of Sedimentology and Stratigraphy Fourth Edition.
- Spalletti L, 1980 Paleoambientes sedimentarios en secuencias silicoclásticas. Serie B Didáctica y Complementarias Nro. 8. Asoc. Geol. Arg. 175 páginas.
- Tafur, L. 2022 Petrografía de la Formación Chota en el tramo de la carretera PE-3N 1+413Km A 1+410Km del distrito de Chota. Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Geólogo. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. 117 p.
- Vera, J. 1984 Estratigrafía. Principio y Métodos. Editorial Rueda. Madrid- España. 829p.

Walther, J. 1892 Facies Modelos: Respuesta a los cambios del nivel del mar. Geology Association Canadá, Dep. Earth Soc. Mem., Universidad Newfound - Tierra, Canadá. 40 p.

Walker, R. 1980 Facies and Facies Models: General Introduction, In W. R. G., Ed., Facies Models, Geological Association of Canada, Second Edition. pp. 1-7.

Wentworth, C. 1922 A scale of grade and class terms for clastic sediments: Journ. Geology, v. 30, pp 337- 392.

ANEXOS

1. Plano 1 Ubicación
2. Plano 2 Satelital
3. Plano 3 MDE
4. Plano 4 Geológico
5. Perfil Geológico A-A´
6. Columna Estratigráfica de la Formación Chota
7. Gráfico 01: Representación del Ambiente de Depositación de las Barras de Canal en la Formación Chota
8. Gráfico 02: Representación de las Fuentes de las Formación Chota
9. Gráfico 03: Depósitos de Barra de Canal y Expansión de Grietas en la Formación Chota
10. Gráfico 04: Comparación Estratigráfico de la Formación Chota
11. Fichas de recolección de datos
12. Análisis Químicos