

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



TESIS PROFESIONAL

**ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL DE LA FORMACIÓN CELENDÍN EN EL  
DISTRITO DE CELENDÍN – CAJAMARCA**

Para optar el título de:

**INGENIERO GEÓLOGO**

Presentado por:

Bach. Henry Edinson Garay Vera

Asesor:

MCs. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani

CAJAMARCA - PERÚ

2017

## **AGRADECIMIENTO**

A mis profesores de mi querida Alma Mater,  
Universidad Nacional de Cajamarca, por su  
apoyo y paciencia.

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres:

Tomas Garay Araujo y

Susana Vera de Garay

# CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ABREVIATURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii

## CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes Teóricos de la Investigación.....	3
2.1.1	Antecedentes internacionales.....	3
2.1.2	Antecedentes locales.....	5
2.2	Bases Teóricas.....	6
2.2.1	Concepto de estratigrafía.....	6
2.2.2	Principios fundamentales de la estratigrafía.....	7
2.2.3	Objetivos de la estratigrafía.....	8
2.2.4	Definición de estrato.....	9
2.2.5	Estratificación.....	9
2.2.6	Asociación de estratos.....	9
2.2.7	Adjetivos para el espesor de estratos.....	11
2.2.8	Tasa de sedimentación.....	11
2.2.9	Factores que controlan la sedimentación.....	11
2.2.10	Cuencas sedimentarias.....	12
2.2.11	Facies en estratigrafía.....	13

	Pág.
2.2.12	Tipos de facies..... 14
2.2.13	Facies detríticas turbidíticas ..... 15
2.2.14	Facies carbonatadas ..... 15
2.2.15	Asociación de facies ..... 18
2.2.16	La ley o regla de Walther ..... 18
2.2.17	Secuencia de facies..... 19
2.2.18	Estratigrafía secuencial..... 20
2.2.19	Secciones estratigráficas..... 20
2.2.20	Correlación estratigráfica ..... 21
2.2.21	Reconocimiento de rocas sedimentarias..... 22
2.3	Definición de términos básicos ..... 24

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Aspectos Generales del Área de Estudio ..... 25
3.1.1	Ubicación geográfica..... 25
3.1.2	Ubicación política..... 25
3.1.3	Accesibilidad ..... 25
3.2	Procedimiento ..... 27
3.2.1	Obtención de datos de campo..... 27
3.2.2	Tratamiento de datos en gabinete ..... 30
3.2.3	Metodología..... 31
3.2.4	Definición de variables..... 31
3.2.5	Instrumentos y equipos..... 31
3.3	Geología..... 30
3.3.1	Geología local..... 30
3.3.2	Unidades geomorfológicas ..... 39
3.4	Estratigrafía Secuencial ..... 42
3.4.1	Zona de Meléndez ..... 42
3.4.2	Zona de Poyuntecucho ..... 52

	Pág.
3.4.3 Zona de Teresa Conga.....	60
3.4.4 Identificación de fósiles.....	67
3.4.5 Correlación de columnas litoestratigráficas .....	69

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Cartografiado Geológico.....	71
4.2 Reconocimiento de litología .....	71
4.3 Columnas Litoestratigráficas .....	72
4.4 Cambios Laterales de las Asociaciones de Facies .....	72
4.5 Análisis de la columna litoestratigráfica.....	73
4.6 Ambientes sedimentarios .....	73
4.7 Análisis secuencial.....	74
4.8 Contrastación de la Hipótesis .....	75

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	76
5.2 Recomendaciones .....	76
BIBLIOGRAFÍA.....	77
ÁLBUM DE FOTOGRAFÍAS.....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Calificativos para describir la estratificación y laminación. ....	11
Tabla 2.2. Facies detríticas turbidíticas. ....	15
Tabla 2.3. Clasificación de facies carbonatadas según Wilson (1975), Flügel (1982) y Tucker y Wright (1990). ....	17
Tabla 2.4. Criterios para clasificar arcillitas y limolitas. ....	22
Tabla 3.1. Accesibilidad a la zona de estudio. ....	25
Tabla 3.2. Definición de variables. ....	31
Tabla 3.3. Descripción macroscópica de muestras de la zona de Meléndez. Fotos a escala milimétrica. ....	43
Tabla 3.4. Descripción de muestras de la zona de Poyuntecucho. Fotos a escala milimétrica. ....	52
Tabla 3.5. Descripción macroscópica de muestras de mano en la zona de Teresa Conga. Fotos a escala milimétrica. ....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Block diagrama para obtener las secciones estratigráficas. ....	21
Figura 2.2. Sistema de clasificación de rocas clásticas intermedias entre las diferentes fracciones granulométricas rocas detríticas y carbonatadas. Modificado de Füchtbauer 1959. ....	23
Figura 2.3. Clasificación de calizas modificado de Dunham. ....	23
Figura 3.1. Identificación de la Fm. Celendín por su color amarillo claro en la zona de Meléndez. ....	27
Figura 3.2. Estratos de calizas wackestone azulinas, tercera secuencia de facies. ....	28
Figura 3.3. A: laminación paralela de arcillitas calcáreas en la zona de Meléndez. ....	28
Figura 3.4. Pequeñas ondulaciones en calizas margosas en la tercera secuencia de facies. ....	29
Figura 3.5. Fallas postsedimentarias perpendiculares a la estratificación en limolitas calcáreas. ....	29
Figura 3.6. Medida directa de espesor de estratos con la ayuda de un flexómetro. ....	30
Figura 3.7. Explotación de arena en el sector Bellavista. Fm. Farrat. ....	30

Figura 3.8. Intercalación de arcillitas azulinas con areniscas blanquecinas. Fm. Inca en el sector Pilco, al fondo se aprecia la ciudad de Celendín.....	31
Figura 3.9. Intercalación de calizas arenosas con arcillitas calcáreas, Fm. Chulec en la zona Pariapuquio corte de carretera Celendín - Huasmín.....	32
Figura 3.10. Intercalación de calizas bituminosas con arcillitas. Fm. Pariatambo en el sector de Pariapuquio. ....	32
Figura 3.11. Intercalación de calizas en estratos medios con arcillitas amarillentas del Gpo. Pulluicana, carretera Celendín - La Huaylla.....	33
Figura 3.12. Intercalación de calizas nodulares con arcillitas blanquecinas de la Fm. Quilquiñán – Mujarrúm, corte de carretera Celendín – Huasmín. ....	34
Figura 3.13. Calizas grises - azulinas karstificadas de la Fm. Cajamarca, carretera Celendín – El Limón.....	35
Figura 3.14. Intercalación de calizas margosas nodulares con limolitas y arcillitas calcáreas, Fm. Celendín en el zona de Poyuntecucho.....	36
Figura 3.15. Estratificación cruzada de areniscas de grano grueso con presencia de gravas redondeadas, Fm. Chota en la zona de Meléndez.....	36
Figura 3.16. Llanura aluvial de inundación, Caserío Chacapampa. ....	37
Figura 3.17: Depósitos fluviales compuestos por gravas, arenas y arcillas en el sector de José Gálvez.....	37
Figura 3.18. Relieve montañoso con pendientes superiores a 30°, Cerro Jelij al Este de la ciudad de Celendín. ....	39
Figura 3.19. Valle senil, donde se ubica la ciudad de Celendín.....	39
Figura 3.20. Colinas onduladas en los alrededores de la zona de Meléndez.....	40
Figura 3.21. Estratos de caliza wackestone nodular de 0.8 metros de espesor intercalado con estratos delgados de arcillitas y limolitas calcáreas. Tercera secuencia de litofacies en la zona de Meléndez.....	42
Figura 3.22. Primera secuencia de facies litoestratigráficas en la zona de Meléndez, calizas wackestone y arcillitas calcáreas. ....	47
Figura 3.23. Izquierda: asociación de facies litoestratigráficas intercalación de arcillitas calcáreas, calizas margosas, margas, y limolitas calcáreas. Derecha: panorámica de la segunda asociación de facies en la zona de Meléndez. ....	47
Figura 3.24. Izquierda, vista panorámica de la tercera asociación de facies en la zona de Meléndez. Derecha, detalle de la secuencia de facies conformada por calizas mudstone, limolitas y arcillitas calcáreas y calizas wackestone – packstone. ....	48
Figura 3.25. Superior, vista panorámica de la cuarta asociación de facies en la zona de Meléndez. Inferior, detalle de la secuencia de facies, margas, calizas margosas, arcillitas calcáreas, limolitas calcáreas, arcillitas y limolitas. ....	49



Figura 3.26. Superior, vista panorámica de la quinta asociación de facies en la zona de Meléndez. Inferior, detalle de la secuencia Litofacies, calizas mudstone, arcillitas – limolitas calcáreas, calizas wackestone y calizas packstone. ....	50
Figura 3.27. Primera secuencia de litofacies en la zona de Poyuntecucho, arcillas calcáreas y calizas wackestone.....	56
Figura 3.28. Segunda secuencia de facies en la zona de Poyuntecucho, arcillita calcárea, caliza margosa y marga. ....	57
Figura 3.29. Tercera secuencia de litofacies de la Formación Celendín en la zona de Poyuntecucho constituida por calizas mudstone, limolitas y arcillitas calcáreas, calizas wackestone y calizas packstone.....	57
Figura 3.30. Cuarta secuencia de facies en la zona de Poyuntecucho, formada por margas, calizas margosas, limolitas calcáreas y arcillitas calcáreas. ....	58
Figura 3.31. Intercalación de calizas wackestone con arcillitas calcáreas, primera secuencia de facies en la zona de Teresa Conga. ....	64
Figura 3.32. Segunda secuencia de litofacies en la zona de Teresa Conga formada por arcillitas calcáreas, limolitas calcáreas, margas y calizas margosas.....	65
Figura 3.33. Tercera secuencia de litofacies en la zona de Teresa Conga conformada por calizas mudstone, arcillitas y limolitas calcáreas, calizas wackestone y calizas packstone.....	65
Figura A.1. Vista panorámica de la zona de Meléndez, en la parte central se puede observar las rocas amarillentas de la Formación Celendín. ....	80
Figura A.2. Deformación de arcillitas calcáreas intercaladas con calizas mudstone, zona de Meléndez. ....	80
Figura A.3. Intercalación de calizas wackestone amarillentas con arcillitas calcáreas blanquecinas, zona de Meléndez. ....	81
Figura A.4. Cambio brusco en la litología de arcillitas calcáreas a caliza wackestone utilizado como superficies de referencia para la correlación de las columnas litoestratigráficas, zona de Meléndez.....	81
Figura A.5. Pequeñas ondulaciones en calizas margosas apuntada por el lápiz de dureza. Zona de Meléndez. ....	82
Figura A.6. Estratos muy delgados de calizas margosas apuntados por el lápiz de dureza, de 0.50 cm de espesor. Zona Meléndez.....	82
Figura A.7. Contacto difuso de la Formación Celendín con la Formación Chota en la zona de Poyuntecucho.....	83
Figura A.8. Secuencias litoestratigráficas de calizas margosa y arcillitas. Zona Poyuntecucho. ....	83
Figura A.9. Laminación de arcillitas calcáreas y deformación de carga de calizas packstone en la zona de Poyuntecucho.....	84

	Pág.
Figura A.10. Fósil bivalvo encontrado en la primera secuencia de litofacies, zona de Poyuntecucho. ....	84
Figura A.11. Amonite de la zona de Meléndez. ....	85
Figura A.12. Turritela de la zona de Teresa Conga. ....	85
Figura A.13. Bivalvo de la zona de Teresa Conga. ....	86
Figura A.14. Bivalvo de la zona de Meléndez. ....	86
Figura A.15. Bivalvo de la zona de Poyuntecucho. ....	87
Figura A.16. Equinodermo de la zona de Poyuntecucho ....	87
Figura A.17. Lumaquela en calizas margosas, zona de Meléndez. ....	88

## ABREVIATURAS

A	:	arcillita.
Ac	:	arcillita calcárea.
Cm	:	caliza mudstone.
cm	:	centímetro.
Cma	:	caliza margosa.
Cp	:	caliza packstone.
Cw	:	caliza wackestone.
E	:	Este.
Fm	:	Formación.
HCl	:	ácido clorhídrico
h	:	hora(s)
Km	:	kilómetro.
M	:	marga.
L	:	limolita.
Lc	:	limolita calcárea.
N	:	Norte.
NE	:	Noreste.
NW	:	Noroeste.
m	:	metro.
min	:	minuto(s).
mm	:	milímetro.
msnm	:	metros sobre el nivel del mar.
S	:	Sur.
SE	:	Sureste.
SW	:	Suroeste.
um	:	micrómetro.
W	:	Oeste.

## RESUMEN

En el presente estudio se realiza la Estratigrafía Secuencial de la Formación Celendín en el Distrito de Celendín, donde se la identifica en tres localidades: zona de Meléndez, zona de Poyuntecucho y zona de Teresa Conga, en cuyos lugares se ha realizado el levantamiento de columnas Litoestratigráficas secuenciales a escala local reconociéndose cinco secuencias de litofacies nombradas de piso a techo como Primera, Segunda, Tercera, Cuarta y Quinta asociación de litofacies; luego, se ha realizado la correlación Litoestratigráfica de las tres columnas, apoyados en cambios bruscos de la litología y estratos guía pertenecientes a la misma secuencia de litofacies. Posteriormente, se ha realizado el análisis de las secuencias de litofacies de las rocas de la Formación Celendín. El procedimiento metodológico se basa en una parte de campo y otra de gabinete, en campo se realiza el reconocimiento de la Formación Celendín, medición con flexómetro del espesor de estratos, reconocimiento de texturas y estructuras sedimentarias; y en gabinete se realiza los planos temáticos con el software ArcGIS, las columnas litoestratigráficas con el software Adobe Illustrator CC y el informe final. Obteniendo como resultado más importante la columna Litoestratigráfica de la Formación Celendín en su localidad tipo con cinco secuencias de litofacies. Llegando a la conclusión que estas secuencias de litofacies se han originado por cambios en los aportes de materiales terrígenos y migración del depocentro en la cuenca de depositación.

**Palabras clave:** Estratigrafía secuencial, Formación Celendín, correlación, facies, ambiente de sedimentación, columna Litoestratigráfica.

## **ABSTRACT**

In the present study, the Celendín Formation in the Celendín District is located in three zones: Meléndez area, Poyuntecucho area and Teresa conga zone, in which sites the sequential lithostratigraphic columns have been surveyed local; Also, the lithostratigraphic correlation of the columns, based on abrupt changes in lithology such as the passage of wackestone limestone sequences to limolites, has been performed. Then, the genetic interpretation of the rocks of the Celendín Formation has been realized. The methodological procedure is based on part of the field and the rest of the study, in the field the recognition of the lithostratigraphic unit, measurement with thickness of strata flexometer, recognition of textures and sedimentary structures; And in the cabinet thematic maps are made with ArcGIS software, the lithostratigraphic column with the Adobe Illustrator CC software and the final report. The results. The most important result is the lithostratigraphic column of the type locality of the Celendín Formation, where facies sequence analysis is performed, recognizing five associations of Facies listed from floor to ceiling as sequence 1, sequence 2,... sequence 5. Conclusion that the different sequences of facies has been originated by changes in the contributions to the basin, and variations in the water chemistry.

**Keywords:** Sequential stratigraphy, Celendin Formation, correlation, facies, sedimentation environment, lithostratigraphic column.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

La Estratigrafía Secuencial permite identificar las relaciones genéticas que tienen los estratos de una secuencia de facies para analizar los ambientes y cuenca de depositación de una unidad Litoestratigráfica en un contexto regional. El estratotipo de la Formación Celendín tiene como localidad tipo a la ciudad de Celendín, donde se encuentra sus mejores afloramientos rocosos; esta Formación sobreyace concordante a la Formación Cajamarca e infrayace discordante a la Formación Chota. Litológicamente está conformada por la intercalación de calizas, lutitas y margas (Wilson 1984).

La Formación Celendín es la última unidad litoestratigráfica en depositarse en una cuenca calcárea de ambiente marino. La pregunta principal de la Tesis es: ¿Cuál es la Estratigrafía Secuencial de la Formación Celendín en el distrito de Celendín?, es decir, ¿cuál es la relación genética que tienen los diversos estratos de las secuencias de facies de la Formación Celendín?, la que es respondida con la siguiente hipótesis: La Estratigrafía Secuencial de la Formación Celendín en el distrito de Celendín depende de los procesos sedimentarios y tectónicos ocurridos en el ambiente de sedimentación, los cuales han originado: estructuras, texturas y fósiles en rocas calcáreas a través del tiempo geológico.

Los afloramientos rocosos de la Formación Celendín en el distrito de Celendín tienen escaso estudio estratigráfico detallado, por ello es necesario realizar el levantamiento de columnas litoestratigráficas en tres zonas del distrito de Celendín: zona de Meléndez, zona de Poyuntecucho y zona de Teresa Conga; para identificar las secuencias de litofacies y correlacionar las columnas litoestratigráficas e interpretar los ambientes de sedimentación. Esta información puede ser utilizada en estudios de geología pura, así como también en prospecciones de yacimientos metálicos y no metálicos.

Los alcances de la investigación son los siguientes: Delimitación espacial, Estudio de las secuencias estratigráficas en los afloramientos rocosos de la Formación Celendín en el distrito de Celendín; Delimitación temporal, La investigación está comprendida entre los meses de marzo de 2016 a abril de 2017; Delimitación de la investigación, se realizará la caracterización de la Estratigrafía Secuencial de la Formación Celendín.

Los objetivos planteados para la presente investigación se clasifican en objetivo general: Caracterizar la Estratigrafía Secuencial de la Formación Celendín en el distrito de Celendín. Y objetivos específicos: cartografiado geológico de la Formación Celendín, elaborar columnas estratigráficas secuenciales, correlacionar las columnas estratigráficas, analizar las texturas y estructuras sedimentarias, e interpretar ambientes de sedimentación.

En el capítulo I se describe la introducción. En el capítulo II se despliega el marco teórico, con los subcapítulos: antecedentes teóricos, bases teóricas y definición de términos básicos. En el capítulo III se presenta materiales y métodos con los ítems: aspectos generales del área de estudio, procedimiento, geología, y Estratigrafía Secuencial. En el capítulo IV se realiza el análisis y discusión de los resultados. Y finalmente en el capítulo V se presenta las conclusiones y recomendaciones de la investigación. Al final se presenta el álbum de las fotografías, con las imágenes más representativas de las secuencias de facies y fósiles de la Formación Celendín.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes Teóricos de la Investigación**

##### **2.1.1 Antecedentes internacionales**

Montaño et al. (2016) realizan un análisis integrado de litofacies, palinología y procedencia que permite la identificación de superficies de inundación en la Formación Umir y la Formación Lisama registrado en sus respectivas columnas estratigráficas. Los paleoambientes de depositación son pantanos con trasgresiones marinas causados por cambios eustáticos del nivel del mar.

Sierra y Molina (2014) realizan una revisión estratigráfica de la Formación Zicapa del sur de México y la dividen en cinco miembros: Miembro Cerro La Cruz, compuesto por un conglomerado basal; Miembro San Juan de la Joyas, de carácter calcáreo; Miembro Ajuatetla, de carácter siliciclástico; y de ambiente transicional marino; Miembro San Andrés, de carácter volcanosedimentario; y Miembro Rio Poblano, dominado por limolita y lutita roja con algunas intercalaciones de caliza. Llegando a determinar ambientes mixtos, continentales y marinos para la sedimentación.

Benítez (2013) analiza las facies litoestratigráficas de la Formación Coquena en el Noroeste argentino y determino cinco facies sedimentarias (A-B-C-D-E) de piso a techo varían de secuencias pelíticas a arenosas. Llegando a la conclusión de que el ambiente de sedimentación fue una plataforma somera de cara a la playa influenciada por tormentas esporádicas que acarreaban principalmente arenas.



Franco (2013) realiza el análisis sedimentológico de 253 muestras del fondo y borde de playa de la bahía de Cartagena, observando variaciones en las facies sedimentarias y contenido de carbonatos y salinidad de las aguas a través de 30 años de seguimiento.

Santillán y Aguayo (2011) realizan un estudio de facies sedimentarias turbidíticas del Terciario Inferior en la cuenca de Chicontepec centro-oriente de México. Donde se han reconocido cinco litofacies A, B, C, D y G, reconocen además que los sedimentos de arena son inmaduros originados por un rápido y corto transporte.

Carrasco et al. (2008) estudian y analizan la Estratigrafía de la Formación Metztlán en el estado de Hidalgo, México. Llegando a la conclusión que está constituida en la base por fragmentos de rocas ígneas extrusivas y que cambian hacia la cima a conglomerados formados por clastos de rocas cretácicas.

Ocampo et al. (2008) realizan un estudio de facies y sistemas de depósito del Miembro Arenoso Galeana Formación Taraises del noreste de México, donde las secuencias estratigráficas son (1) secuencia estratocreciente, (2) estructuras sedimentarias tipo flaser y (3) presencia abundante de fósiles. Además, se concluye que el área fuente se localiza en el archipiélago de Tamaulipas evidenciado por la paleocorriente y maduras de arenas.

Dávalos et al. (2007) reconstruye la estratigrafía cenozoica en la región de Tehuacán y su relación con la geología estructural al analizar la evolución de la falla de Oaxaca.

Almazán et al. (2006) realiza estudios estratigráficos de unidades Paleozoicas en Sonora, México y proponen elevar a rango de Formación a la unidad Pozo Nuevo. Esta Formación la divide en doce miembros y levanta dos columnas litoestratigráficas: sección pozo Nuevo y sección Las Norias además propone un paleoambiente de plataforma carbonatada con variaciones en el nivel del mar.

Blanco y Gaucher (2005) analizan la Estratigrafía, Paleontología y edad de la Formación Las Ventanas en Uruguay separándola en tres miembros que de base a techo son: Miembro La Rinconada, Miembro Quebrada de Viera y miembro El Perdido. Y de acuerdo a sus facies litoestratigráficas infiere que el ambiente de depositación varía de continental a marino.

López et al. (2005) realizan un estudio sedimentológico estratigráfico en el estado de Chihuahua en México en rocas pertenecientes al Paleozoico y Mesozoico y de acuerdo a sus facies litoestratigráficas definen paleoambientes para el Paleozoico inicialmente una

plataforma somera carbonatada tipo rampa que evoluciona a ambiente tipo continental. Y para el Mesozoico un ambiente de tendencia transgresiva de plataforma carbonatada influenciada de terrígenos finos a plataforma de aguas someras con desarrollo de arrecifales.

Poire et al. (2005) realizan estudios estratigráficos en la sucesión sedimentaria de la cantera mina Verdún en Uruguay llegando a concluir que está constituido por cuatro unidades diferenciadas por sus facies litoestratigráficas que de base a techo son: (1) Grupo mina Verdún, (2) Formación las Palmas, (3) Enjambre subvolcánico minas y (4) cuarcitas del tope del cerro Verdún.

Bádenas et al. (1993) realizan estudios estratigráficos del Jurásico superior en el noreste de Albacete llegando a reconocer dos secuencias depositacionales equivalentes laterales de las denominadas Secuencias Kimmeridgiense y Titónico-Berriasiense previamente definidas en sectores más septentrionales, cada una con sus propias facies sedimentarias.

Sánchez et al. (1988) realizó estudios de sedimentología de los depósitos lacustres en Burgos, España. Dividiendo a estos depósitos en dos unidades: unidad 1 que está compuesta por depósitos margosos y yesoareníticos de ambiente lacustre salino coronado por secuencias carbonatadas; y la unidad 2 consiste en materiales lacustres margosos y limoso-carbonatados fosilíferos. Concluye en que los controles sedimentarios reconocidos son: el quimismo del agua, la oscilación del nivel lacustre, escaso aporte de sedimentos siliclásticos.

### **2.1.2 Antecedentes locales**

Murga (2016) realiza un estudio estratigráfico de la Formación Santa en la localidad de La Hualanga – Cajamarca, para la determinación de la mineralización, levanta columnas estratigráficas y correlaciona con otros sectores y concluye que la pirita encontrada tiene relación genética con la arcilla bituminosa y el carbón.

Fernandez (2015) realiza una correlación litoestratigráfica de la Formación Inca en los sectores de Cajamarca: Chamis, Corisorgona y Puyllucana. Llegando a la conclusión de que existe correspondencia litoestratigráfica y bioestratigráfica, depositada en un ambiente marino somero, representa el inicio de la transgresión del Albiano, con aguas bastante oxigenadas.

Izquierdo (2015) hace estudios de estratigrafía secuencial del Cretáceo Superior – Paleogeno Neogeno en la localidad de Alpacocha, Celendín, donde realiza un análisis de la estratigrafía de estas unidades y divide algunas unidades en miembros, las rocas volcánicas las divide en eventos, esto registra en columnas estratigráficas a detalle.

Ascencio (2014) plasma una investigación sobre caracterización estratigráfica de la Formación Chulec en la cuenca de Cajamarca, para ello levanta columnas estratigráficas en cinco zonas: Urubamba – Tres Ríos, Puyllucana, Otuzco, Chamis y Cruz Blanca. Reconoce sus facies litoestratigráficas y concluye que su ambiente de deposición es terrígeno – marino litoral.

Herrera (2012) en su tesis describe la estratigrafía de las Formaciones del Cretáceo Superior en la localidad de Cajamarca, construye la columna litoestratigráfica generalizada para el norte andino peruano.

Palacios (1995) Describe las unidades litoestratigráficas del Perú, y da alcances de la estratigrafía de la Formación Celendín.

Wilson (1984) realiza la descripción de la Geología del cuadrángulo de Celendín. Presenta una breve descripción de la estratigrafía, ambiente de sedimentación y litología de la Formación Celendín.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Concepto de estratigrafía**

Según Vera (1994) El término estratigrafía proviene del latín *stratum* y del griego *graphia* y que alude etimológicamente a “ciencia que trata de la descripción de las rocas estratificadas”. Pero se sabe que esta ciencia abarca más que una descripción de rocas estratificadas se apoya de otras ciencias e interpreta ambientes sedimentarios de las rocas estratificadas.

Un concepto de la década de los 60 de estratigrafía dio Weller, citado por Vera (1994:3) “la rama de la Geología que trata del estudio e interpretación de las rocas sedimentarias y estratificadas, y de la identificación, descripción, secuencia, tanto vertical como horizontal, cartografía y correlación de las unidades estratigráficas de rocas”.

En 1977 Corrales, citado por Vera (1994:3) define la estratigrafía como;

el estudio e interpretación de los procesos registrados en las sucesiones sedimentarias que van a permitir, además de conocer la naturaleza y disposición de las rocas estratificadas, la correlación, tanto de los materiales como de los sucesos, y una ordenación temporal correcta de la secuencia de materiales y sucesos.

Tres años después Hedberg, citado por Vera (1994:3) define:

La Estratigrafía no solo trata de la sucesión y relaciones cronológicas originales de los estratos, sino también de su forma, distribución, composición litológica, contenido fósil, propiedades geoquímicas y geofísicas, es decir de todas las características, propiedades y atributos de las rocas "como estratos", de la interpretación de su ambiente de formación o modo de origen y de su historia geológica.

Según Vera (1994) la estratigrafía tiene dos enfoques uno científico cuyo objetivo es la ordenación temporal e interpretación genética de los materiales, y otro aplicativo con la finalidad de encontrar recursos naturales y cuidar el medio ambiente.

## **2.2.2 Principios fundamentales de la estratigrafía**

### **2.2.2.1. Principio de la horizontalidad original y continuidad lateral de los estratos**

Emitido por Steno, plantea que los estratos al momento de su depósito son horizontales y paralelos a la superficie de depósito. Sin embargo, estudios recientes demuestran que la superficie de depositación tiene ligera inclinación. La aplicación de este principio considera como isócronas a las superficies de estratificación (Vera 1994).

### **2.2.2.2. Principio de la superposición**

Planteado por Steno y desarrollado por Lehmann establece que en una pila de estratos los más inferiores son más antiguos y los más superiores son más modernos (Vera 1994). Este principio se aplica con cuidado de la inversión ocasionada por consecuencias tectónicas, o en relleno de cavidades erosionadas en los estratos.

### **2.2.2.3. Principio del uniformismo o actualismo**

Emitido por Hutton y desarrollado por Lyell plantea que los procesos que han tenido lugar a través de la historia de la tierra han sido uniformes (uniformismo) y semejantes a los actuales (actualismo). Las correcciones que se puede hacer son: los procesos no son netamente uniformes sino que han cambiado en ritmo e intensidad y además en ellos hay un factor no repetible; tampoco son semejantes a los actuales; este principio se resume en la frase “El presente en la clave del pasado” (Vera 1994).

### **2.2.2.4. Principio de la sucesión faunística o de la correlación**

Emitido por Smith y desarrollado por Cuvier es la base de la datación relativa de los materiales estratificados. Consiste en admitir que cada intervalo de tiempo geológico, representado en rocas sedimentarias, fue habitado por organismos diferentes y no repetibles que pudieron fosilizar. Este principio es muy importante para la correlación de unidades de diferentes regiones ya que los seres vivos tienen un alcance mundial (Vera 1994).

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

Según Vera (1994) “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”. Estas catástrofes registradas en las rocas son grandes terremotos, variaciones del nivel del mar, erupción de volcanes, inversiones magnéticas.

## **2.2.3 Objetivos de la estratigrafía**

De Acuerdo con Vera (1994) un estudio estratigráfico puede alcanzar los siguientes objetivos: identificación de los materiales, delimitación de unidades litoestratigráficas, ordenación relativa de las unidades, interpretación genética de las unidades, levantamiento de secciones estratigráficas, correlación, introducción de la coordenada tiempo, análisis de cuencas.

#### **2.2.4 Definición de estrato**

Según Vera (1994) “El término estrato fue introducido en Geología por Steno, en el siglo XVII, para denominar a una capa de roca (o de sedimento) limitada por superficies horizontales con continuidad lateral y que equivale a una unidad de tiempo de depósito”. Desde el punto de vista geométrico Campbell, citado por Vera (1993:21) define estrato como “un nivel de roca o sedimento más o menos distinguible de forma visual o física, separado de los niveles superior e inferior por superficies denominadas superficies de estratificación”. Y desde el punto de vista genético Otto, citado por vera (1994:21) lo define como “una unidad de sedimentación que se ha depositado esencialmente bajo condiciones físicas constantes”.

#### **2.2.5 Estratificación**

Según Vera (1994) es la disposición de los estratos, es una propiedad inherente de la sedimentación y para que ocurra obedece a dos factores (a) interrupciones en la sedimentación, (b) cambio en las condiciones de sedimentación. Las interrupciones en la sedimentación se refieren a cortos lapsos de tiempo en que no se produce sedimentación y se genera una superficie de estratificación como pequeñas discordancias. El cambio en las condiciones de sedimentación se refiere a dos acepciones: la primera en cambios a la fuente de aporte de materiales y la otra en cambios propios en la cuenca como cambios de nivel de energía (cambios en la textura de los sedimentos), en el quimismo del agua (cambios litológicos en los materiales precipitados), cambios en las condiciones de oxidación (produce cambios de color) y cambios en la productividad biológica (cambio en el contenido fósil de las rocas).

#### **2.2.6 Asociación de estratos**

Según Vera (1994) podemos observar las siguientes asociaciones de estratos teniendo en cuenta criterios de tipo descriptivo, que en gran parte representan diferentes tipos genéticos y de acuerdo a los espesores.

#### **2.2.6.1. Uniforme**

Los espesores de los estratos son semejantes. Con valores cercanos a la media estadística de todos los espesores.

#### **2.2.6.2. Aleatoria o de espesor variable**

Los espesores de los estratos tienen diferentes valores, y no permiten ordenación alguna.

#### **2.2.6.3. Estratocreciente**

Los estratos se ordenan en lotes de estratos con valores crecientes hacia el techo. Según (Lombard, citado por Vera 1994:29) También se denomina secuencia negativa.

#### **2.2.6.4. Estratodecreciente**

Los espesores de los estratos disminuyen hacia el techo. Según (Lombard, citado por Vera 1994:29) También se denomina secuencia positiva.

#### **2.2.6.5. En haces**

Los estratos se agrupan en lotes con estratos uniformes y diferentes entre lotes.

#### **2.2.6.6. Masiva**

La estratificación no es distinguible a simple vista.

De acuerdo a la litología se tiene la siguiente clasificación:

#### **2.2.6.7. Homogénea**

Cuando los estratos tienen la misma naturaleza.

#### **2.2.6.8. Heterogénea**

Cuando la litología cambia de manera desordenada.

#### **2.2.6.9. Rítmica**

Alternan ordenadamente dos tipos de litología.

#### **2.2.6.10. Cíclica**

Cuando alternan más de dos tipos de litología.

### 2.2.7 Adjetivos para el espesor de estratos

El espesor de los estratos se pueden definir de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 2.1. Calificativos para describir la estratificación y laminación.

Espesor en (milímetros)	Calificativos para clasificar la estratificación	Calificativos para describir la partición
Sin estructura interna aparente	Estratos masivos	Masivo
> 1000	Estratos muy gruesos	Masivo
300 a 1000	Estratos gruesos	Bloques
100 a 300	Estratos medios	Bloques
30 a 100	Estratos delgados	Fragmentos
10 a 30	Estratos muy delgados	Fragmentos
5 a 10	Láminas gruesas	Lajas
1 a 5	Láminas medias	Laminas
0,5 a 1	Láminas delgadas	Fisibles
< 0,5	Láminas muy delgadas	Hojoso
Términos generales	Estratos o laminas	Estratos o láminas

Fuente: Tomado de Potter et. al. 1980.

### 2.2.8 Tasa de sedimentación

Según Vera (1994) es “La cantidad de material sedimentado en un sector del medio receptor durante un intervalo de tiempo concreto”. Y sus unidades de medida son milímetros/1000 años o metros/millón de años, unidad que se conoce en la bibliografía como unidad Bubnoff Fischer, citado por Vera (1994:43). Entonces para encontrar la tasa de sedimentación de una unidad necesitamos conocer el espesor y la diferencia de tiempo entre los niveles superior e inferior.

### 2.2.9 Factores que controlan la sedimentación

Los factores que controlan la sedimentación son: aportes, subsidencia y cambios en el nivel del mar la interacción de estos factores regula la litología y la tasa de sedimentación.

#### 2.2.9.1. Aportes

Se denominan aportes al conjunto de materiales que llegan al medio receptor procedentes del medio generador y que, por tanto, pueden ser depositados (Vera 1994). La naturaleza



de los aportes depende de la composición de las rocas que afloran en el medio generador, de las condiciones climáticas en las que tuvo lugar la destrucción de las mismas y de la naturaleza e intensidad del transporte (Vera 1994).

### **2.2.9.2. Subsistencia y movimientos tectónicos verticales**

El estudio detallado de la dinámica de la corteza terrestre demuestra que además de los grandes desplazamientos laterales (movimientos de placas) hay otros movimientos verticales que pueden llegar a alcanzar hasta 15 km y que son suficientes para crear por una parte altas cadenas plegadas y por otra depresiones en las que se pueden acumular potentes prismas sedimentarios (Arche, citado por Vera 1994:47).

### **2.2.9.3. Cambios en el nivel del mar**

Se llama nivel relativo del mar a la distancia entre la superficie del agua y el fondo y que está sometido a cambios debido a: (1) relación aportes/subsistencia, si los aportes son mayores que la subsistencia el nivel relativo del mar disminuye, en cambio si existe mayor subsistencia que los aportes el nivel relativo del mar aumenta. (2) levantamiento tectónico, cuando el fondo de una cuenca sedimentaria está sometida a levantamiento el nivel relativo del mar desciende, si el levantamiento supera a la batimetría se produce la emersión (Vera 1994). (3) cambios eustáticos, cambios en el nivel del mar a nivel global, causado por glaciario, eventos tectónicos globales colisión de placas, crecimiento de dorsales, avance del mar a otras regiones (Vera 1994).

### **2.2.10 Cuencas sedimentarias**

Según Vera (1994) “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”. Toda cuenca sedimentaria tiene límites definidos. Toda cuenca sedimentaria implica la existencia de áreas adyacentes sometidas a denudación y que constituyen el medio generador de la propia cuenca, o sea, las áreas a partir de las cuales proceden los materiales que se depositan en la cuenca. La existencia de la cuenca depende de la actividad tectónica, subsistencia y elevación de la zona de aportes (vera 1994).

Según Vera (1994) podemos distinguir los siguientes tipos de cuencas: (a) cuencas activas, en las que se ha depositado materiales y sigue depositándose en la actualidad; (b) cuencas inactivas, en la actualidad ya no se produce sedimentación y los estratos están levemente deformados; (c) cuencas fuertemente deformadas, donde el material depositado forma cadenas montañosas y la reconstrucción de la cuenca es más complejo.

### **2.2.11 Facies en estratigrafía**

Según Vera (1994:139) facie se refiere a:

...un conjunto de características (o a los materiales que las presentan), por lo que se trata de un concepto carente de dimensiones (acepción referida a las propiedades) o referido a volúmenes de materiales, de rango menor (escala métrica), caracterizados por dichas propiedades (acepción referida a los materiales).

De acuerdo con Gressly, citado por Vera (1994:139) facie se refiere a “la suma total de los aspectos litológicos y paleontológicos de una unidad estratigráfica”. Es decir definir el aspecto de cada grupo de rocas.

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

Dado que las acepciones concretas son más aceptables y medibles es por ello que diferentes autores han definido facies. Moore, citado por Vera (1994:139) define facies como “una parte arealmente restringida de una determinada unidad estratigráfica que muestra características marcadamente diferentes de aquellas que muestran las otras partes de la misma unidad”. Por su parte Selley, citado por Vera (1994:139) dice que facies es “un conjunto de rocas sedimentarias que puede ser definido y separado de otros por su geometría, litología, estructuras sedimentarias, distribución de paleocorrientes y fósiles”. También Reading, citado por Vera (1994:139) dice que “Una facies es un cuerpo rocoso con unas características específicas. Allí donde las rocas sedimentarias pueden ser tocadas (manipuladas) directamente en el afloramiento o a partir de testigos de sondeos, las facies se

definen en función del color, la estratificación, la composición, la textura, los fósiles y las estructuras sedimentarias”.

### **2.2.12 Tipos de facies**

Las facies pueden dividirse de acuerdo a tipo de propiedades (litofacies y biofacies) y también de acuerdo a la escala de observación (microfacies) (Vera 1994).

#### **2.2.12.1.Litofacies**

Según Vera (1994:142)

Se usa para aludir exclusivamente a los aspectos litológicos (no los paleontológicos) de un conjunto de estratos y correlativamente para las condiciones físico-químicas (no biológicas) que reinaron durante el depósito. Así, por ejemplo, se puede hablar de una litofacies de "calizas oolíticas", o de "areniscas glauconíticas", etc.

#### **2.2.12.2.Biofacies**

De acuerdo con Vera (1994:142) “el término biofacies es el complementario ya que se refiere a los aspectos paleontológicos (no los litológicos) y a las condiciones biológicas reinantes durante el depósito”. Es así que se puede hablar de facies de gasterópodos, facies de radiolarios, facies de bivalvos, entre otros.

#### **2.2.12.3.Microfacies**

Según Vera (1994) este término se utiliza para definir al conjunto de características litológicas y biológicas observable a la lupa y preferentemente al microscopio, termino introducido en la búsqueda del petróleo donde se analiza las condiciones de sedimentación que puede generar hidrocarburos.

### 2.2.13 Facies detríticas turbidíticas

Según Ghibaudo, citado por (Vera 1994) las facies detríticas turbidíticas son:

Tabla 2.2. Facies detríticas turbidíticas.

G	Grava
GS	Alternancia de grava y arena
GyS	Arenas con cantos
S	Arenas
SM	Alternancia de arenas con lutitas con dominio de arenas
MS	Alternancia de arenas con lutitas con dominio de lutitas
TM	Alternancia limo-lutita con dominio de limo
MT	Alternancia limo-lutita con dominio de lutita
Mt	lutita
MyS	Arenas lutíticas
SyM	Lutitas arenosas
MyG	Gravas lutíticas
GyM	Lutitas con cantos

Fuente: Elaborado con base a Ghibaudo, citado por Vera 1994:150.

Dentro de cada facies existe subfacies de acuerdo a las estructuras sedimentarias de ordenamiento interno, y se denotan como prefijos Vera, estos prefijos son: m, masivo; g, granoclasificación; q, estructuras de escapes de agua; s, estratificación plana; x, estratificación cruzada; l, laminación; t, estratificación fina; r, ripples superficiales. Así por ejemplo dentro de la facies S (arenosa) se diferencian varias subfacies xS (subfacies arenosa con estratificación cruzada), gxS (subfacies arenosa con granoclasificación y estratificación cruzada), gslS (subfacies arenosas con granoclasificación, estratificación plana y laminación) y mS (subfacies arenas masivas) (Ghibaudo, citado por Vera 1994).

### 2.2.14 Facies carbonatadas

De acuerdo con Vera (1994:150) “No existe una clasificación de uso general de facies carbonatadas, análoga a la de Miall para las detríticas fluviales”. Dos intentos de clasificación se han realizado, aunque no han sido muy seguidos por autores posteriores. Se

trata de la clasificación de "microfacies estándar" de Wilson (1975) que se basa en ideas previas de Flügel (1972) y que completa este mismo autor (Flügel, 1982)" (Vera 1994).

Estas clasificaciones pretenden diferenciar los tipos más frecuentes de microfacies en carbonatos, y establecen 24 tipos de microfacies estándar que denominan SMF-1 a SMF-24 y que Flügel (1982) agrupa para su interpretación genética en nueve "zonas" de facies (FZ1 a FZ9) que corresponden a las distintas áreas con depósito carbonatado desde las lagunas costeras al medio marino pelágico. (Vera 1994).

Según Vera (1994:152) propone una clasificación de facies carbonatadas, donde cada tipo de facies tiene una letra mayúscula alusiva al tipo textural "(M: mudstone, W: wackestone, R: packstone, G: grainstone), mientras que para los diferentes tipos de calizas arrecifales se usa doble letra alusiva al tipo textural (BA: bafflestone, BL: bindstone, FR: framestone, FL: floatstone, RU: Rudstone)" y para rocas afines se usan de nuevo iniciales (B: brechas, M: margas, C: calcarenita).

En la interpretación genética de cada tipo de facies se pueden utilizar todos los criterios de Wilson (1975) y Flügel (1982), que matizan y completan Tucker y Wright (1990), ya que se incluyen todos los tipos genéticos de dicha clasificación. Se incluyen otros tipos genéticos como son: Me: mudstone con carófitas (lacustres); Mm: mudstone con miliólidos (lagoon); Mf: mudstone con "filamentos"; Mr: mudstone con rizolitos (paleo-suelos o calcretas); Gr: grainstone con abundantes crinoides (plataforma marina somera de alta energía); B: Brecha de cantos planos (medios maréales), B<sub>2</sub>: Brecha con cantos negros (medios adyacentes a relieves emergidos); Cb: Calcarenita bioclástica (marino somero de elevada energía). M2: Alternancia de margas y calizas con fósiles marinos (marinos alejado de costas) (Vera 1994).

Tabla 2.3. Clasificación de facies carbonatadas según Wilson (1975), Flügel (1982) y Tucker y Wright (1990).

M	Mudstone.
Mh	Mudstone azoica homogénea y no laminada (=SMF-23).
Mn	Mudstone arcilloso oscuro y espinelas de esponjas (=SMF-1).
Mp	Mudstone con microfósiles pelágicos (foraminíferos y/o radiolarios) (SMF-3).
Me	Mudstone con carófitas.
Mf	Mudstone con filamentos
Mb	Mudstone bioclástico con pellets (=SMF-2).
Mili	Mudstone con miliólidos.
Mfe	Mudstone con textura fenestral (=SMF-19, parcialmente).
Ms	Mudstone estromatolítico (=SMF-20).
Msp	Mudstone de esponjas (=SMF-21).
Mon	Mudstone con oncolitos (=SMF-22, parcialmente).
Mr	Mudstone con rizolitos.
Mbu	Mudstone con bioturbación.
W	Wackestone.
Wf	Wackestone con fósiles bien conservados (=SMF-8).
Wb	Wackestone bioclástica (organismos diversos) (=SMF-9).
Wo	Wackestone con grandes oncoides (=SMF-22).
Wfe	Wackestone con textura fenestral (=SMF-19, parcialmente).
Wp	Wackestone con microfósiles pelágicos (foraminíferos y/o radiolarios) (=SMF-3).
Won	Wackestone con bioclastos con envoltura oncolíticas (=SMF-10, parcialmente).
P	Packstone.
Pr	Packstone con bioclastos arrecifales (=SMF-5, parcialmente).
Pon	Packstone con bioclastos con envolturas oncolíticas (=SMF-10, parcialmente).
G	Grainstone.
Gb	Grainstone con abundantes bioclastos (lumaquela) (=SMF-12, parcialmente).
Gr	Grainstone con bioclastos arrecifales (=SMF-5, parcialmente).
Gb	Grainstone con bioclastos que tienen envolturas oncolíticas (=SMF-11).
Go	Grainstone oolíticos (=SMF-15).
Gon	Grainstone con oncolitos (=SMF-13).
Ga	Grainstone con granos agregados (grapestone) (=SMF-17).
Gp	Grainstone con pellets (=SMF-16).
Gd	Grainstone con dasycladáceas (=SMF-18, parcialmente).
Gf	Grainstone con formaminíferos bentónicos (=SMF-18, parcialmente).
Gr	Grainstone con abundantes crinoides.
BO	Bounstone, sin diferenciar.
BA	Bafflestone (=SMF-7, parcialmente).
BI	Bindstone (=SMF-7, parcialmente).
FR	Framestone (=SMF-7, parcialmente).
FL	Floatstone (=SMF-5, parcialmente).
RU	Rundstone (=SMF-6 y SMF-24).
B	Brecha calcárea.
B <sub>1</sub>	Brecha de cantos planos (=SMF-24, parcialmente).

B <sub>2</sub>	Brecha de cantos negros.
B <sub>3</sub>	Depósitos de lag. con cantos redondeados (=SMF-14).
B <sub>4</sub>	Rudita calcárea intraformacional (=SMF-24, parcialmente).
B <sub>5</sub>	Microbrecha con granuloclasificación (=SMF-4).
C	Calcarenita.
Cb	Calcarenita bioclástica.
Ma	Margas azoicas.
M <sub>1</sub>	Margas con fauna planctónica.
M <sub>2</sub>	Alternancia de margas y calizas con fósiles marinos.
M <sub>3</sub>	Calizas margosas.
M <sub>4</sub>	Alternancia de margas y calizas con fósiles lacustres.

**Fuente:** Tomado de Vera 1994:151.

### 2.2.15 Asociación de facies

Según Vera (1994) “Se llama asociación de facies a la distribución ordenada de varias facies elementales genéticamente ordenadas”. Y que debe cumplir dos puntos: (1) que sean facies que se encuentren juntas y (2) que estén genéticamente relacionadas. Secuencia elemental o secuencia de facies es el módulo formado por la superposición vertical de dos o más facies genéticamente relacionados y que se repite periódicamente.

Una facies individual suelta por allí tiene poco valor, sin embargo, una secuencia elemental o secuencia de facies puede aportar información sobre el medio sedimentario y de este modo reconstruir, por comparación con los actuales medios, la historia de un material rocoso (Vera 1994).

De acuerdo con la posición de los cambios de facies con respecto a la superficie de estratificación se puede reconocer tres tipos de cambios de facies: (1) cambios laterales de facies, (2) cambios verticales de facies y (3) cambios oblicuos de facies, y en cada uno de ellos se puede hablar de cambios bruscos y cambios graduales de facies (Vera 1994).

### 2.2.16 La ley o regla de Walther

La definición original de Walther (1893-94) dice “las facies que se encuentran superpuestas se encuentran también yuxtapuestas con la misma ordenación”; esta ley o regla se cumple

en condiciones de sedimentación estacionarias es decir donde los aportes son equivalentes a al hueco generado por elevar el nivel del mar (evolución estacionaria) (Vera 1994).

En la naturaleza pocas veces se cumple las condiciones de sedimentación estacionaria, siendo más frecuente que los aportes superen a la acomodación y las facies continentales avancen mar adentro, dando secuencias granocrecientes o negativo (evolución regresiva); o por el contrario que los aportes sean menores que la acomodación y los litotopos marinos avancen hacia el continente dando secuencias granodecreciente o positivo (evolución transgresiva) (Vera 1994).

### **2.2.17 Secuencia de facies**

Según Vera (1994:170) “secuencia de facies se denomina a la sucesión vertical que refleja la ordenación temporal de las facies en dispositivos sedimentarios e intervalos de tiempo en los que se cumple la ley (o regla) de Walther”. Para diferenciar la secuencia de facies en una sección estratigráfica se hace uso del análisis secuencial que consiste en:

Un sistema simple de representación gráfica en la que se van mostrando la distribución vertical de las facies, ordenadas de mayor a menor energía del medio, que en caso de los materiales detríticos es de mayor a menor tamaño medio de grano. Se define como secuencia tipo a la secuencia elemental, virtual o real, que se repite en una sucesión estratigráfica y que comprende a todas las facies presentes en el orden en el que aparecen en una sección estratigráfica (Lombard, citado por Vera (1994:170)).

Lombard definió secuencias positivas a aquellas secuencias que disminuyen su energía hacia el techo y secuencias negativas aquellas secuencias que aumentan su energía hacia el techo, estos términos se sigue usando en la actualidad pero referidos a su composición textural (p. ej. secuencias granocrecientes) o evolución genética (p. ej. secuencias de somerización) (Vera 1994).

#### **2.2.17.1 Tipos de secuencias de facies**

Según Vera (1994) se definen los siguientes tipos simples de secuencias de facies a partir del análisis de facies.



**Secuencias granocrecientes.** Que localizan hacia el techo facies de grano medio más grueso (secuencias negativas).

**Secuencias granodecrecientes.** Son secuencias que hacia el techo localizan facies de grano más fino (secuencias positivas).

**Secuencias de somerización.** Son secuencias que hacia el techo presentan facies de somerización, para evaluar estas secuencias es necesario tener datos de batimetría.

**Secuencias de profundización.** Secuencias que hacia el techo presentan facies más profundas, es necesario tener datos de batimetría.

Además de la combinación del espesor de los estratos y de la textura (grano creciente-decreciente) se tiene las secuencias: granocrecientes y estratocrecientes, granocrecientes y estratodecrecientes, granodecrecientes y estratocrecientes, y granodecrecientes y estratodecrecientes.

#### **2.2.17.2 Modelos de facies**

Es aplicar la metodología actualista a medios sedimentarios actuales para reconocer su asociación de facies y aplicarlos a materiales antiguos (Vera 1994).

#### **2.2.18 Estratigrafía secuencial**

Es el estudio de los estratos de las rocas para poder definir las condiciones que permitieron la depositación de los sedimentos que dieron origen a las rocas, es una reconstrucción del pasado, y se ayuda de la paleontología y cronoestratigrafía. Se resume al principio de actualismo modificado donde el presente es la llave del pasado. (Sánchez Benavides, Alonso Gavilán, & Dabrio, 1988).

#### **2.2.19 Secciones estratigráficas**

Una sección estratigráfica es la sucesión cronológica de todas las unidades estratigráficas presentes en una región, ordenadas de más antigua a más moderna, esto es, en el orden en el que ocurrió su depósito. Por extensión se utiliza dicho término a la representación gráfica, a escala, de la totalidad de las unidades estratigráficas, ordenadas temporalmente.

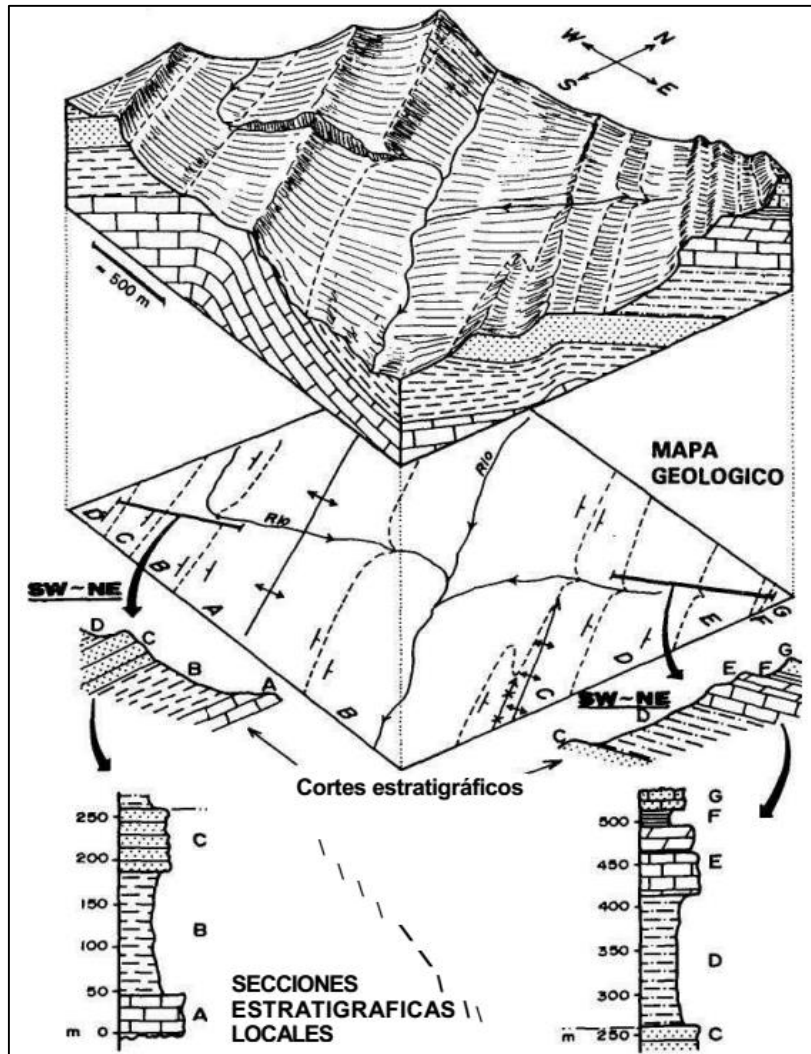


Figura 2.1. Block diagrama para obtener las secciones estratigráficas.

Fuente: Tomado de Vera 1994.

### 2.2.20 Correlación estratigráfica

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

Según GEI, citado por Vera (1994:491) dice que correlación es “establecer la correspondencia en carácter y en posición estratigráfica”

La correlación estratigráfica es una de las técnicas de mayor interés en Estratigrafía y consiste en comparar dos o más secciones estratigráficas, de un intervalo de tiempo semejante, estableciendo la equivalencia entre los niveles o superficies de estratificación reconocibles en cada una de ellas (Vera 1994).

### 2.2.21 Reconocimiento de rocas sedimentarias

#### a. Reconocimiento de rocas arcillosas

Son rocas que contienen más del 75% de los clastos menores a 32  $\mu\text{m}$  tienen como nombre de grupo “limoarcillas” y se dividen en limolitas y arcillitas de acuerdo al porcentaje de limos (entre 4 a 32  $\mu\text{m}$ ) y arcillas (menores a 4  $\mu\text{m}$ ).

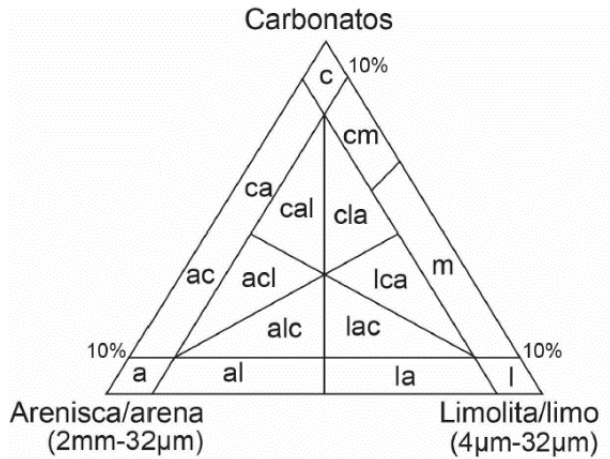
Tabla 2.4. Criterios para clasificar arcillitas y limolitas.

Porcentaje de arcilla constituyente	> 50% de arcilla	< 50% arcillas	No se conoce nombre de grupo
Descripción de mano de sedimentos inconsolidados	Presenta propiedades* plásticas	Abundante limo visible con lupa y tiene una textura arenosa	
Nombre raíz	Sedimentos arcilloso	Sedimentos limosos	Lodos
Descripción de mano de sedimentos litificados	Con grano extremadamente finos con aspecto homogéneo	Abundante limo visible con una lupa	
Nombre raíz	Arcillita	Limolita	Lodolitas

Fuente: Tomado de Twenhofel 1937 y Tucker 1991.

**b. Reconocimiento de rocas carbonatadas**

Se considera una roca carbonatada a aquella que presenta más del 50% de componentes carbonatados.



- c = caliza.
- ca = caliza areniscosa
- cal = caliza areno - limolítica
- cla = caliza limo - areniscosa
- cm = caliza margosa
- m = marga
- ac = arenisca calcárea
- acl = arenisca calcárea - limolítica
- alc = arenisca limolítica - calcárea
- al = arenisca limolítica
- a = arenisca
- la = limolita areniscosa
- lac = limolita areno - calcárea
- lca = limolita calcárea - areniscosa
- l = limolita

Figura 2.2. Sistema de clasificación de rocas clásticas intermedias entre las diferentes fracciones granulométricas rocas detríticas y carbonatadas. Modificado de Füchtbauer 1959.

**c. Calizas**

Los criterios de reconocimiento de las calizas se basan en la clasificación de Dunham (1962).

TEXTURA DEPOSITACIONAL VISIBLE				TEXTURA BIOCONSTRUIDA (componentes ligados durante el depósito)	TEXTURA DIAGENÉTICA
TEXTURA LODOSA - GRANULAR (granos ± transportados)		TEXTURA GRANULAR (soporte de granos)			
TEX. LODOSA (soporte de matriz)		TEX. GRANULAR (soporte de granos)			
MATRIZ ↑ ± GRANOS (<10%)	MATRIZ ↑ + GRANOS (>10%)	GRANOS ↑ + MATRIZ	GRANOS ↑ + CEMENTO		
MUD-STONE	WACKE-STONE	PACK-STONE	GRAIN-STONE	BOUND-STONE	CRISTALINA

Figura 2.3. Clasificación de calizas modificado de Dunham.

Fuente: Tomado de Hallsworth & Knox 1999, modificado de Dunham.

## 2.3 Definición de términos básicos

**Estratigrafía secuencial.** Estudio ordenado de una unidad litoestratigráfica para comprender su génesis y evolución de los estratos (López 1996).

**Estratificación.** Disposición de las rocas sedimentarias en estratos, es originada por cambios en la composición química del agua, pausas en la sedimentación o cambios en los aportes (Vera 1994).

**Facies.** Conjunto de rocas sedimentarias que puede ser definido y separado de otros por su geometría, litología, estructuras sedimentarias, distribución de paleocorrientes y fósiles (Selley, citado por Vera 1994).

**Asociación de facies.** Facies que se encuentran genéticamente relacionadas y además se encuentran adyacentes (Vera 1994).

**Secuencia de facies.** Consiste en un módulo formado por la superposición vertical de dos o más facies genéticamente relacionadas que se repite periódicamente. (Vera 1994).

**Correlación estratigráfica.** Comparación de dos unidades estratigráficas puede ser de nivel local, regional y global (Montaño et al. 2016).

**Medio sedimentario.** Condiciones ambientales en las que se deposita los sedimentos de un tipo de rocas sedimentarias (Carrasco et al. 2008).

**Cuenca sedimentaria.** Área delimitada que tiene la capacidad de acumular materiales, teniendo en cuenta su origen geológico (Benítez 2013).

**Litología.** Parte de la geología que se encarga del estudio genético de la textura y estructura rocas. (Sánchez et al. 1988).

**Columna estratigráfica.** Sección geológica levantada en un área para ver la evolución y etapas de la depositación de materiales. (Sierra y Molina 2014).

**Tiempo geológico.** Periodo de tiempo en el que se produce la sedimentación de la unidad litoestratigráfica (Vera 1994).

**Fósiles guía.** Fósiles que indican el techo y el muro de una unidad litoestratigráfica (Vera 1994).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Aspectos Generales del Área de Estudio

##### 3.1.1 Ubicación geográfica

El área de estudio se localiza en la Cordillera Occidental de los andes del Norte peruano en la Región Cajamarca, a una cota superior a 2700 msnm.

##### 3.1.2 Ubicación política

El estudio estratigráfico secuencial de la Formación Celendín se realiza en la Región Cajamarca, Provincia de Celendín, Distrito de Celendín.

##### 3.1.3 Accesibilidad

A la ciudad de Celendín se puede acceder de la ciudad de Cajamarca a través de una carretera asfaltada de 94 Km con dirección NE. Luego de la ciudad de Celendín se llega por vías afirmadas a los Centros poblados de Meléndez, Poyuntecucho y Teresa Conga, lugares donde se realiza la caracterización de la Estratigrafía Secuencial de la Formación Celendín.

Tabla 3.1. Accesibilidad a la zona de estudio.

<b>CARRETERA</b>	<b>TIPO DE VÍA</b>	<b>DISTANCIA (Km)</b>	<b>DIRECCIÓN</b>	<b>TIEMPO (min)</b>
Cajamarca - Celendín	Asfaltada	94	NE	120
Celendín - Meléndez	Afirmada	10	W	40
Celendín - Poyuntecucho	Afirmada	05	N	15
Celendín – Teresa Conga	Afirmada	05	SE	15

## PLANO DE UBICACIÓN

## 3.2 Procedimiento

El procedimiento para realizar este trabajo se divide en dos etapas: obtención de datos de campo y tratamiento de datos en gabinete.

### 3.2.1 Obtención de datos de campo

Se realiza el reconocimiento de la unidad litoestratigráfica, Formación Celendín, de acuerdo a las descripciones estratigráficas hechas por (Palacios 1995), y con el apoyo de la Carta Geológica del cuadrángulo de Celendín a escala 1:100 000 publicada por el INGEMMET (Wilson 1985).

#### 3.2.1.1 Reconocimiento de litología y color

Se realiza la diferenciación de la unidad litoestratigráfica de la Formación Celendín de acuerdo al color amarillento, presencia de arcillitas, margas, calizas y muchos fósiles.



Figura 3.1. Identificación de la Fm. Celendín por su color amarillo claro en la zona de Meléndez.

#### 3.2.1.2 Reconocimiento de texturas

Se realiza el reconocimiento de las texturas en los estratos de calizas de acuerdo a la clasificación de Dunham (1962) en calizas mudstone, wackestone, packstone, grainstone, boundstone.





Figura 3.2. Estratos de calizas wackestone azulinas, tercera secuencia de facies.

### 3.2.1.3 Reconocimiento de estructuras sedimentarias de ordenamiento interno

Se realiza el reconocimiento de las principales estructuras de ordenamiento interno: laminación paralela u ondulada, granoclasificación, estructura flaser y nodulización de calizas.



Figura 3.3. A: laminación paralela de arcillitas calcáreas en la zona de Meléndez.

#### **3.2.1.4 Reconocimiento de estructuras sedimentarias de las superficies de estratificación**

Se realiza el reconocimiento de ripple marks, grietas de desecación y diferentes marcas no biológicas hechas en el muro y techo de los estratos.



Figura 3.4. Pequeñas ondulas en calizas margosas en la tercera secuencia de facies.

#### **3.2.1.5 Reconocimiento de estructuras sedimentarias de deformación**

Se realiza el reconocimiento de deformaciones por carga, escape de agua, fallas postsedimentarias.



Figura 3.5. Fallas postsedimentarias perpendiculares a la estratificación en limolitas calcáreas.

### 3.2.1.6 Reconocimiento de fósiles

Se realiza el reconocimiento de los fósiles a nivel de clase y subclase en los estratos de la Formación Celendín.

### 3.2.1.7 Medición de espesor de los estratos

Con la ayuda de un flexómetro se realizar la medición directa del espesor de los estratos de la Formación Celendín en la zona de Meléndez, y en las zonas de Poyuntecucho y Teresa Conga se realiza a través de cálculos trigonométricos.



Figura 3.6. Medida directa de espesor de estratos con la ayuda de un flexómetro.

### 3.2.2 Tratamiento de datos en gabinete

En gabinete se analiza las muestras recogidas en campo, se hace las interpretaciones estructurales, geomorfológicas, se pasa a limpio los bosquejos, se construye la columna estratigráfica, los planos temáticos y el informe final.

### 3.2.3 Metodología

#### 3.2.3.1 Tipo, nivel, diseño y método de investigación

Tipo de investigación: Básica, aplicada, de campo y descriptiva -explicativa. Nivel de investigación: Descriptiva - correlacional - explicativa. Diseño de investigación: Descriptivo - correlacional, de corte transversal. Método de investigación: Descriptivo - correlacional - descriptivo.

#### 3.2.3.2 Población de estudio

Rocas de la Formación Celendín en el distrito de Celendín.

#### 3.2.3.3 Muestra

Afloramientos rocosos de la Formación Celendín en la zona de Meléndez, Poyuntecucho y Teresa Conga.

#### 3.2.3.4 Unidad de análisis

Estratos de la Formación Celendín.

### 3.2.4 Definición de variables

Tabla 3.2. Definición de variables.

VARIABLES DEPENDIENTES	VARIABLES INDEPENDIENTES
Ambiente de sedimentación	Litología
Cronoestratigrafía	Tiempos geológico
Estratigrafía secuencial	Columna estratigráfica
Paleontología	Contenido de fósiles

### 3.2.5 Instrumentos y equipos

- ✓ GPS
- ✓ Brújula
- ✓ Flexómetro
- ✓ Libreta de campo
- ✓ Lupa
- ✓ Rayador
- ✓ Picota de geólogo
- ✓ Protactor
- ✓ Cámara digital

### 3.3 Geología

#### 3.3.1 Geología local

##### 3.3.1.1 Grupo Goyllarisquizga (Ki-g)

Conformado por las Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat en esta zona son poco diferenciables por lo que se agrupan como Grupo Goyllarisquizga. La Formación Farrat tiene importancia económica como fuente de arena para la construcción.



Figura 3.7. Explotación de arena en el sector Bellavista. Fm. Farrat.

##### 3.3.1.2 Formación Inca (Ki-in)

“Esta Formación pertenece a las edades: Albiano inferior y al Aptiano superior. Infrayace concordantemente a la Formación Chúlec y suprayace con la misma relación a la Formación Farrat” (Palacios 1995). Se presenta en el cerro Pilco con un espesor no mayor a 40 m donde se puede apreciar laminación de arcillitas ferruginosas y estratificación planar de areniscas calcáreas. En esta Formación se puede apreciar numerosos acuíferos, por la presencia de arcillitas que impiden que escape el agua y areniscas que permite aflorar el agua en ciertas zonas.



Figura 3.8. Intercalación de arcillitas azulas con areniscas blanquecinas. Fm. Inca en el sector Pilco, al fondo se aprecia la ciudad de Celendín.

### 3.3.1.3 Formación Chulec (Ki-chu)

Esta formación pertenece a la parte baja del Albiano medio y en el Albiano inferior. La Formación es fosilífera por excelencia, habiéndose encontrado restos de cefalópodos y lamelibranquios. Suprayace concordantemente a la Formación Inca, e infrayace con la misma relación a la Formación Pariatambo (Palacios 1995).

Está conformada de estratos delgados a gruesos de calizas arenosas intercalado con arcillitas calcáreas y margas, la presencia de abundantes materiales terrígenos se debe a la trasgresión marina ocurrida en el Aptiano – Albiano y la sedimentación ocurrida en plataforma carbonatada con influencia de terrígenos. Se presenta con un espesor máximo de 200 m, con una coloración amarillento por intemperismo.



Figura 3.9. Intercalación de calizas arenosas con arcillitas calcáreas, Fm. Chulec en la zona Pariapuquio corte de carretera Celendín - Huasmín.

#### 3.3.1.4 Formación Pariatambo (Ki-pa)

Conformada por una alternancia de arcillitas con delgados bancos de calizas bituminosas, la característica más importante para reconocerla es el olor fétido que despiden las calizas al ser fracturadas. Tiene una estratificación rítmica donde se alterna las calizas y arcillitas.



Figura 3.10. Intercalación de calizas bituminosas con arcillitas. Fm. Pariatambo en el sector de Pariapuquio.

### 3.3.1.5 Grupo Pulluicana (Ks-p)

Consta de calizas masivas con algunos nódulos y calizas margosas, son de grano fino, medio y grueso de color gris claro a gris amarillento. Presentan venillas de calcita y aragonito. Se intercalan bancos calcáreos con abundantes fósiles (Palacios 1995).

En la parte media de la secuencia del Grupo Pulluicana se presenta una sucesión de limolitas de color amarillento, rocas de baja densidad y con algunos fósiles.



Figura 3.11. Intercalación de calizas en estratos medios con arcillitas amarillentas del Gpo. Pulluicana, carretera Celendín - La Huaylla.

### 3.3.1.6 Formación Quilquiñán - Mujarrúm (Ks-qm)

Conformada de una secuencia de calizas nodulares macizas, intercalaciones de margas, seguido de lechos de calizas nodulares con margas pardas – amarillentas fosilíferas, y hacia el techo calizas claras con arcillitas arenosas y margas delgadas con fósiles (Palacios 1995).





Figura 3.12. Intercalación de calizas nodulares con arcillitas blanquecinas de la Fm. Quilquiñán – Mujarrúm, corte de carretera Celendín – Huasmín.

### 3.3.1.7 Formación Cajamarca (Ks-ca)

Pertenece a la edad Turoniano superior, destaca topográficamente por su homogeneidad litológica y ocurrencia en bancos potentes y rígidos, cuyos afloramientos exhiben una topografía kárstica con fuertes pendientes (Palacios 1995).

Consiste en calizas gris oscuras a azuladas con delgados lechos de arcillitas y margas de los mismos colores en la secuencia se observa que los estratos varían en el piso se muestran espesores de hasta tres metros, seguido de estratos delgados de 40 cm, en la parte media se presentan estratos con un promedio de 80 cm y en el techo se intercala con margas con un notable cambio de facie hacia la Formación Celendín. Esta unidad yace concordantemente sobre el Formación Quilquiñán – Mujarrúm y, con la misma relación infrayace a la Formación Celendín. Su grosor varía entre los 600 y 700 m.

El mayor afloramiento se encuentra al Este de la ciudad de Celendín con rocas karstificadas formando figuras y grutas. En el sector de Santa Rosa, durante el Pleistoceno, una de estas cuevas alojó al oso perezoso gigante que luego fue sepultado y fosilizado, y en 1996 fue recuperado por la Universidad Nacional de Piura.



Figura 3.13. Calizas grises - azulas karstificadas de la Fm. Cajamarca, carretera Celendín – El Limón

### 3.3.1.8 Formación Celendín (Ks-ce)

Pertenece a las edades Coniaciano y Santoniano Inferior, está formado por intercalaciones de calizas margosas algo nodular en capas delgadas, algunas son lumaquelas, asimismo calizas arenosas color gris amarillento, sobre todo en la parte superior (Palacios 1995).

Su grosor en la zona de Meléndez alcanza los 340 m. Suprayace concordantemente a la Formación Cajamarca e infrayace discordante a los depósitos continentales de la Formación Chota. Es muy fosilífera, principalmente en la parte inferior y media, la fauna se encuentra tanto en los niveles limo – arcillitas como en los calcáreos y corresponden a equinodermos, turrítelas, gasterópodos, Amonites y Bivalvos (vera paginas 67 – 68).



Figura 3.14. Intercalación de calizas margosas nodulares con limolitas y arcillitas calcáreas, Fm. Celendín en el zona de Poyuntecucho.

### 3.3.1.9 Formación Chota (PN-cho)

Capas rojas que comprenden areniscas arcósicas feldespáticas y conglomerados con cantos redondeados mayormente de origen fluvial (Palacios 1995). Localmente incluye horizontes lutáceos, lodolitas e intercalación de estratos calcáreos y evaporitas.



Figura 3.15. Estratificación cruzada de areniscas de grano grueso con presencia de gravas redondeadas, Fm. Chota en la zona de Meléndez.

### 3.3.1.10 Depósitos aluviales (Qp-al)

Constituyen los relieves llanos, formados por el aporte de material terrígeno hacia zonas negativas, se intercalan conglomerados, arenas y arcillas.



Figura 3.16. Llanura aluvial de inundación, Caserío Chacapampa.

### 3.3.1.11 Depósitos fluviales (Qh-fl)

Depósitos formados por gravas, areniscas y arcillas; los materiales terrígenos son de diferente tipo de roca, son acumulados a las riveras de los ríos y pueden ser utilizados como materiales de construcción recuperados en las graveras.



Figura 3.17: Depósitos fluviales compuestos por gravas, arenas y arcillas en el sector de José Gálvez.

## PLANO GEOLOGICO

### 3.3.2 Unidades geomorfológicas

#### 3.3.2.1 Montañas

Relieve positivo con pendientes mayores a  $30^\circ$  formado en rocas calcáreas, se ubican al Este de la ciudad de Celendín con dirección Norte - Sur.



Figura 3.18. Relieve montañoso con pendientes superiores a  $30^\circ$ , Cerro Jelij al Este de la ciudad de Celendín.

#### 3.3.2.2 Valles

Llanuras de origen aluvial formadas por gravas, arenas y arcillas materiales terrígenos acarreados de los flancos, su pendiente no supera los  $10^\circ$ ; entre los valles más importantes tenemos, valle de Celendín, valle de José Gálvez, valle de Molinopampa y valles longitudinales de Malcat.



Figura 3.19. Valle senil, donde se ubica la ciudad de Celendín.

### 3.3.2.3 Colinas

Relieve ondulado con cerros de poca elevación no mayor a 200 metros por encima de los valles se puede apreciar al Oeste de la ciudad de Celendín.



Figura 3.20. Colinas onduladas en los alrededores de la zona de Meléndez.

## PLANO GEOMORFOLOGICO



### 3.4 Estratigrafía Secuencial

La Estratigrafía Secuencial de la Formación Celendín, es decir la relación que existe entre las secuencias estratigráficas se analiza en tres zonas en el distrito de Celendín. Zona de Meléndez a 3 Km al Oeste de la ciudad de Celendín, zona de Poyuntecucho a 2 Km al Norte y zona de Teresa Conga a 1.5 Km al Sureste de la misma ciudad.

#### 3.4.1 Zona de Meléndez

En esta zona afloran rocas de la Formación Celendín en el sinclinal Meléndez en cuyo eje corre de Sur a Norte la quebrada Quinuamayo hasta Trapiche Viejo en el río Llanguat. El eje del sinclinal Meléndez tiene un azimut de N 170°; Los afloramientos rocosos en el flanco derecho en vista al Norte tienen un azimut de N 155 y un buzamiento de 80° al SW, y los afloramientos rocosos del flanco izquierdo tienen un azimut de N 180° y un buzamiento de 45° al E, el espesor medio de los afloramientos rocosos de la Formación Celendín es de 340 metros, dividido en cinco secuencias de facies litológicas identificadas al analizar las muestras de mano.

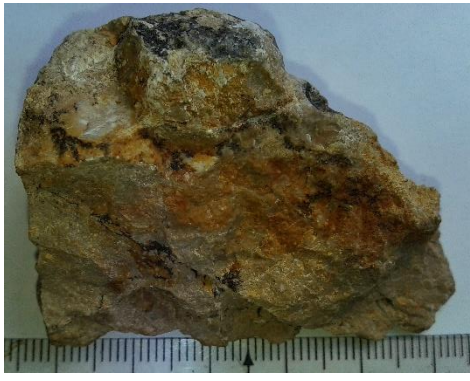



Figura 3.21. Estratos de caliza wackestone nodular de 0.8 metros de espesor intercalado con estratos delgados de arcillitas y limolitas calcáreas. Tercera secuencia de litofacies en la zona de Meléndez.

### 3.4.1.1 Descripción macroscópica de rocas


Se describen muestras de mano de los estratos representativos de la Formación Celendín en la zona de Meléndez.


Tabla 3.3. Descripción macroscópica de muestras de la zona de Meléndez. Fotos a escala milimétrica.


MUESTRA	M - 01	
Color	Gris verdoso	
Dureza	3	
Reacción al HCl	Alto	
Material terrígeno	12 %	
Espesor de estratos	0.5 – 0.6 m	
Nombre de la roca	Caliza packstone	


MUESTRA	M - 02	
Color	Gris blanquecino	
Dureza	3	
Reacción al HCl	Alto	
Material terrígeno	8 %	
Espesor de estratos	0.5 – 0.8 m	
Nombre de la roca	Caliza wackestone	


MUESTRA	M - 03	
Color	Gris verdoso	
Dureza	2	
Reacción al HCl	Alto	
Material terrígeno	9 %	
Espesor de estratos	0.15 – 0.20 m	
Nombre de la roca	Caliza mudstone	


<b>MUESTRA</b>	<b>M - 04</b>	
Color	Gris blanquecino	
Dureza	2 - 3	
Reacción al HCl	Alto	
Material terrígeno	30 %	
Espesor de estratos	0.20 – 0.5 m	
Nombre de la roca	Caliza margosa	

<b>MUESTRA</b>	<b>M - 05</b>	
Color	Pardo amarillento	
Dureza	1	
Reacción al HCl	Si	
Material terrígeno	95 %	
Tiempo de suspensión	40 min	
plasticidad	No	
Espesor de estratos	0.4 – 0.6 m	
Nombre de la roca	Limolita calcárea	

<b>MUESTRA</b>	<b>M - 06</b>	
Color	Pardo amarillento	
Dureza	1 - 2	
Reacción al HCl	No	
Material terrígeno	95 %	
Tiempo de suspensión	30 min	
plasticidad	No	
Espesor de estratos	0.4 – 0.6 m	
Nombre de la roca	Limolita	

<b>MUESTRA</b>	<b>M - 07</b>	
Color	Amarillento	
Dureza	1 - 2	
Reacción al HCl	No	
Material terrígeno	95 %	
Tiempo de suspensión	30 h	
plasticidad	Si	
Espesor de estratos	0.5 – 0.6 m	
Nombre de la roca	Arcillita	

<b>MUESTRA</b>	<b>M - 08</b>	
Color	Blanquecino	
Dureza	2	
Reacción al HCl	Alto	
Material terrígeno	50 %	
Espesor de estratos	0.4 – 0.5 m	
Nombre de la roca	Marga	

<b>MUESTRA</b>	<b>M - 09</b>	
Color	Amarillento	
Dureza	1 - 2	
Reacción al HCl	Si	
Material terrígeno	95 %	
Tiempo de suspensión	20 h	
plasticidad	Si	
Espesor de estratos	0.3 – 0.4 m	
Nombre de la roca	Arcillita calcárea	

### 3.4.1.2 Reconocimiento de litofacies

En esta zona se reconocen litofacies, facies de acuerdo a las características litológicas, mayormente en las rocas expuestas en el flanco izquierdo del sinclinal Meléndez en capas casi verticales, estas facies son las siguientes:

Cm	:	caliza mudstone.
Cw	:	caliza wackestone.
Cp	:	caliza packstone.
Ac	:	arcillita calcárea.
Lc	:	limolita calcárea.
A	:	arcillita.
L	:	limolita.
M	:	marga.
Cma	:	caliza margosa.

### 3.4.1.3 Secuencias de litofacies

Se ha realizado la identificación de cinco secuencias de litofacies nombradas de piso a techo como primera, segunda, tercera, cuarta y quinta secuencia de litofacies que se describen a continuación.

**Cw – Ac:** primera secuencia de facies litoestratigráficas de calizas wackestone blanquecinas hacia el piso a amarillentas hacia el techo, con arcillitas calcáreas gris - blanquecinas; correspondiente a la zona de transición entre la Formación Cajamarca y la Formación Celendín, consiste de calizas wackestone nodulares en estratos gruesos con espesores de 0.4 a 0.8 metros intercalado con estratos medios de arcillitas calcáreas de 10 a 30 centímetros de espesor, se puede apreciar estructuras de carga sobre las arcillitas. Las arcillitas tiene un color blanquecino con estratificación hojosa, las calizas wackestone son nodulares y la coloración va de gris blanquecino a rojizo.



Figura 3.22. Primera secuencia de facies litoestratigráficas en la zona de Meléndez, calizas wackestone y arcillitas calcáreas.

**Ac – Cma – M – Lc:** segunda secuencia de litofacies de arcillitas calcáreas gris amarillentas a azulinas y margas pardo amarillentas en estratos de 80 cm a 120 cm de espesor con laminación intercalado con calizas margosas rojizas de 3 cm a 10 cm de espesor. Ésta secuencia de facies tiene un espesor total de 130 metros.

En esta secuencia de litofacies se puede notar el aumento considerable de material terrígeno contaminando las calizas y depositando rocas detríticas carbonatadas.

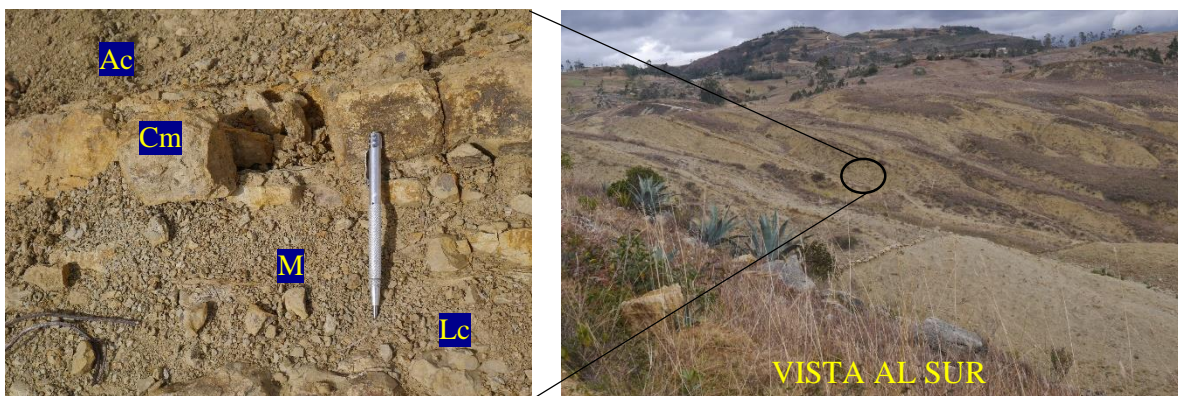


Figura 3.23. Izquierda: asociación de facies litoestratigráficas intercalación de arcillitas calcáreas, calizas margosas, margas, y limolitas calcáreas. Derecha: panorámica de la segunda asociación de facies en la zona de Meléndez.

**Cm – Lc – Ac – Cw – Cp:** tercera secuencia de litofacies de calizas mudstone en estratos masivos, limolitas calcáreas y arcillitas calcáreas azulinas en estratos muy delgados, calizas wackestone nodular gris azulina a gris blanquecina y calizas packstone gris. Esta asociación de litofacies se diferencia por la mayor presencia de rocas carbonatadas con espesores de 60 cm a 80 cm, intercalado con estratos muy delgados de limolitas calcáreas y arcillitas calcáreas y con estructuras de laminación y deformación plástica. Consta también de estratos medios de calizas wackestone nodular con bastantes fósiles y calizas packstone; la presencia de materiales terrígenos disminuye considerablemente.

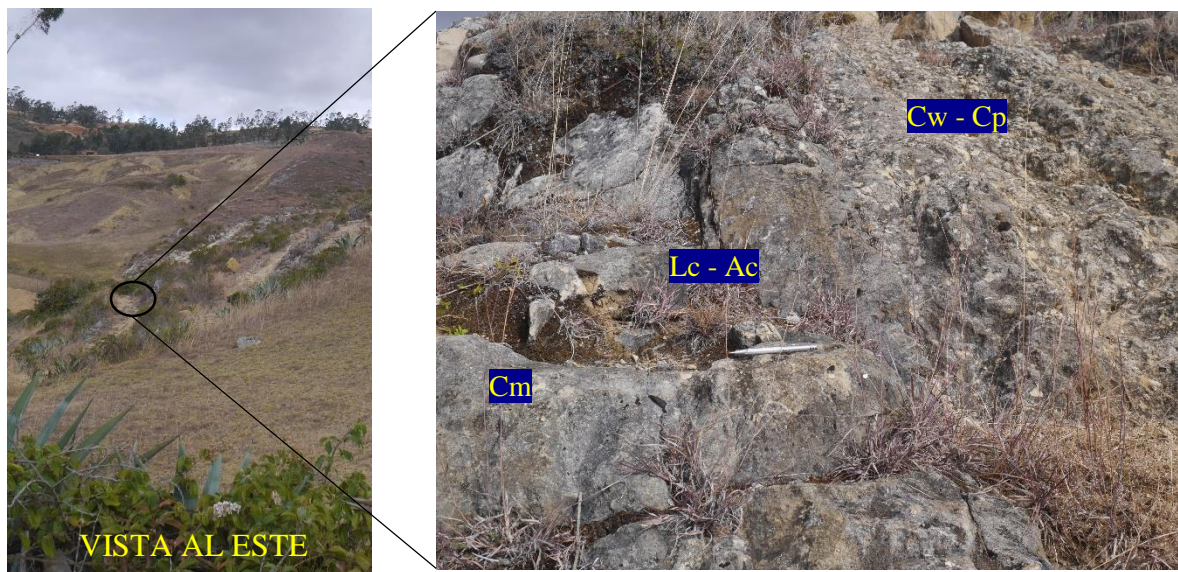


Figura 3.24. Izquierda, vista panorámica de la tercera asociación de facies en la zona de Meléndez. Derecha, detalle de la secuencia de facies conformada por calizas mudstone, limolitas y arcillitas calcáreas y calizas wackestone – packstone.

**Ac – Cma – M – Lc:** cuarta secuencia de litofacies similar a la segunda secuencia de facies consta de alternancia de arcillitas calcáreas amarillentas, calizas margosas amarillo rojizas, margas pardas amarillentas y limolitas calcáreas amarillentas. Se diferencia de la de la segunda asociación de facies por la mayor presencia de limolitas calcáreas. Las margas se presentan en espesores de 40 cm y las calizas margosas en espesores menores a 15 cm, los niveles de limolitas calcáreas con espesores de 30 a 70 cm, las arcillitas calcáreas se presentan con espesores de 50 cm.

La presencia de material terrígeno aumenta nuevamente.

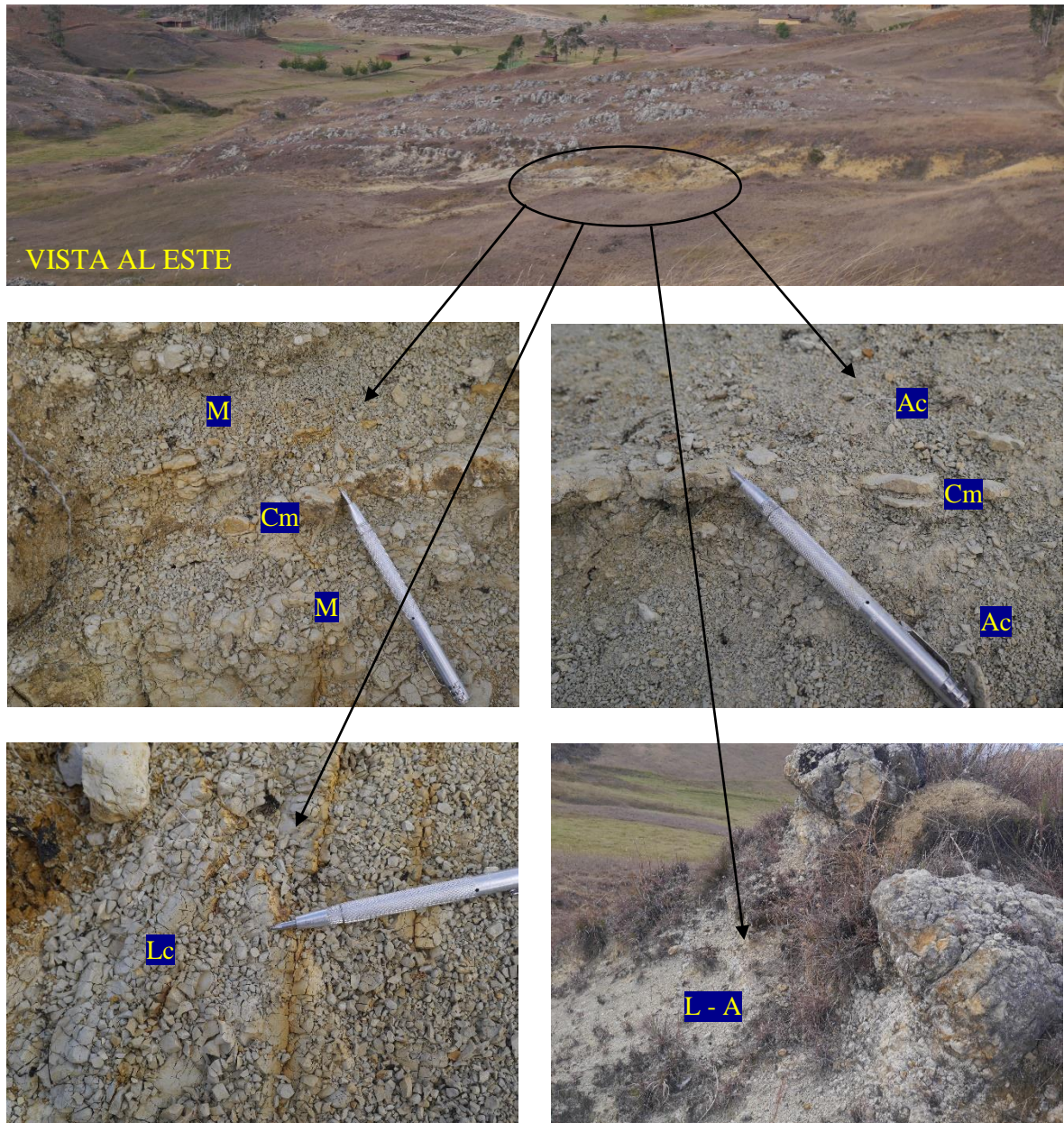


Figura 3.25. Superior, vista panorámica de la cuarta asociación de facies en la zona de Meléndez. Inferior, detalle de la secuencia de facies, margas, calizas margosas, arcillitas calcáreas, limolitas calcáreas, arcillitas y limolitas.

**Cm – Lc – Ac – Cw – Cp:** quinta secuencia de facies reconocida en la zona de Meléndez, similar a la tercera secuencia de facies, se encuentra en contacto con la Formación Chota. Conformada por calizas mudstone masivas, limolitas calcáreas y arcillitas calcáreas azulinas en estratos muy delgados, calizas wackestone nodular gris a blanquecino y calizas packstone azulinas. Las calizas wackestone y packstone son nodulares con presencia de fósiles y tienen espesores de 40 a 90 cm, las limolitas – arcillitas calcáreas no superan los 10 cm de espesor.





Figura 3.26. Superior, vista panorámica de la quinta asociación de facies en la zona de Meléndez. Inferior, detalle de la secuencia Litofacies, calizas mudstone, arcillitas – limolitas calcáreas, calizas wackestone y calizas packstone.

#### 3.4.1.4 Columna Litoestratigráfica de Meléndez

La ordenación vertical de las asociaciones de facies (secuencia de facies) genera datos suficientes para elaborar la columna Litoestratigráfica de una zona determinada. La columna Litoestratigráfica de Meléndez se construye en base a datos de litología exclusivamente, se ubica en el tiempo geológico, se coloca también las texturas, granulometrías y algunas imágenes de las asociaciones de facies.

## COLUMNA MELENDEZ


### 3.4.2 Zona de Poyuntecucho


Esta zona se ubica a 2 Km al norte de la ciudad de Celendín. En los afloramientos rocosos de la Formación Celendín se puede medir azimut de N 160 y un buzamiento de 45° hacia el SW; La Formación Celendín tiene un espesor de 175 metros. En esta zona se puede apreciar cuatro secuencias de litofacies que se correlacionan con las cuatro primeras secuencias de litofacies de la zona de Meléndez. Se puede apreciar la base de la Formación Celendín, sin embargo, el techo está más erosionado que en la zona de Meléndez, el techo está en contacto con la Formación Chota.

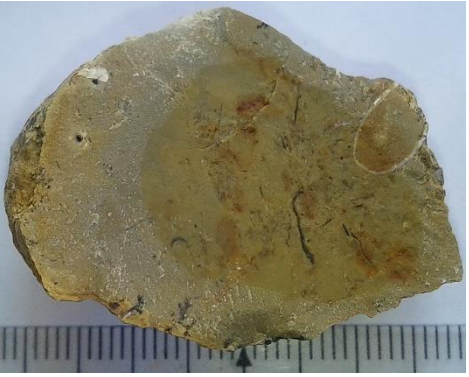
#### 3.4.2.1 Descripción macroscópica de rocas


Se describen las muestras de mano de los estratos representativos de la Formación Celendín en la zona de Poyuntecucho, con la finalidad de identificarlas y nombrarlas.


Tabla 3.4. Descripción de muestras de la zona de Poyuntecucho. Fotos a escala milimétrica.


MUESTRA	P - 01	
Color	Gris verdoso	
Dureza	3	
Reacción al HCl	Alto	
Material terrígeno	12 %	
Espesor de estratos	0.5 – 0.6 m	
Nombre de la roca	Caliza packstone	


MUESTRA	P - 02	
Color	Gris blanquecino	
Dureza	3	
Reacción al HCl	Alto	
Material terrígeno	15 %	
Espesor de estratos	0.5 – 0.8 m	
Nombre de la roca	Caliza wackestone	


<b>MUESTRA</b>	<b>P - 03</b>	
Color	Gris verdoso	
Dureza	2	
Reacción al HCl	Alto	
Material terrígeno	9 %	
Espesor de estratos	0.15 – 0.20 m	
Nombre de la roca	Caliza mudstone	


<b>MUESTRA</b>	<b>P - 04</b>	
Color	Blanquecino	
Dureza	2 - 3	
Reacción al HCl	Alto	
Material terrígeno	30 %	
Espesor de estratos	0.20 – 0.5 m	
Nombre de la roca	Caliza margosa	

<b>MUESTRA</b>	<b>P - 05</b>	
Color	Pardo amarillento	
Dureza	1	
Reacción al HCl	Si	
Material terrígeno	95 %	
Tiempo de suspensión	40 min	
plasticidad	No	
Espesor de estratos	0.4 – 0.6 m	
Nombre de la roca	Limolita calcárea	

<b>MUESTRA</b>	<b>P - 06</b>	
Color	Pardo amarillento	
Dureza	1 - 2	
Reacción al HCl	No	
Material terrígeno	95 %	
Tiempo de suspensión	30 min	
plasticidad	No	
Espesor de estratos	0.4 – 0.6 m	
Nombre de la roca	Limolita	

<b>MUESTRA</b>	<b>P - 07</b>	
Color	Amarillento	
Dureza	1 - 2	
Reacción al HCl	No	
Material terrígeno	95 %	
Tiempo de suspensión	30 h	
plasticidad	Si	
Espesor de estratos	0.5 – 0.6 m	
Nombre de la roca	Arcillita	

<b>MUESTRA</b>	<b>P - 08</b>	
Color	Blanquecino	
Dureza	2	
Reacción al HCl	Alto	
Material terrígeno	50 %	
Espesor de estratos	0.4 – 0.5 m	
Nombre de la roca	Marga	

MUESTRA	P - 09	
Color	Amarillento	
Dureza	1 - 2	
Reacción al HCl	Si	
Material terrígeno	95 %	
Tiempo de suspensión	20 h	
plasticidad	Si	
Espesor de estratos	0.3 – 0.4 m	
Nombre de la roca	Arcillita calcárea	

### 3.4.2.2 Reconocimiento de litofacies

En la zona de Poyuntecucho se reconocen las siguientes litofacies.

- Cm : caliza mudstone.
- Cw : caliza wackestone.
- Cp : caliza packstone.
- Ac : arcillita calcárea.
- Lc : limolita calcárea.
- A : arcillita.
- L : limolita.
- M : marga.
- Cma : caliza margosa.

### 3.4.2.3 Secuencias de litofacies

Las secuencias de litofacies encontradas en la zona de Poyuntecucho, adyacentes entre sí y sin intervención de fallas que modifiquen las secuencias y además están genéticamente relacionadas son las siguientes.

**Cw – Ac:** primera secuencia de facies litoestratigráficas de calizas wackestone intercalado con arcillitas calcáreas correspondiente al aparente límite entre las Formaciones Cajamarca y la Formación Celendín. Se puede observar como las calizas gris azules de la Formación Cajamarca van gradando (cambio de facies) a calizas nodulares amarillentas con mayor presencia de material terrígeno. Los espesores de las calizas wackestone están entre 50 a 80 cm y de las arcillitas calcáreas de 10 a 20 cm.



Figura 3.27. Primera secuencia de litofacies en la zona de Poyuntecucho, arcillitas calcáreas y calizas wackestone.

**Ac – M – Lc – Cma:** segunda secuencia de litofacies de arcillitas calcáreas amarillentas, margas pardas amarillentas y limolitas calcáreas intercalado con calizas margosas rojizas fosilíferas, con algunos estratos de arcillitas y limolitas que no reaccionan al ácido clorhídrico (HCl). Los espesores de las calizas margosas son menores a 10 cm, las margas pueden llegar a 40 cm de espesor y las arcillitas calcáreas y limolitas calcáreas alcanzan estratos de 90 a 100 cm de espesor con laminación interna. Esta secuencia de facies tiene un espesor total de 60 metros.

En esta secuencia de litofacies se puede apreciar un aumento considerable de materiales terrígenos.

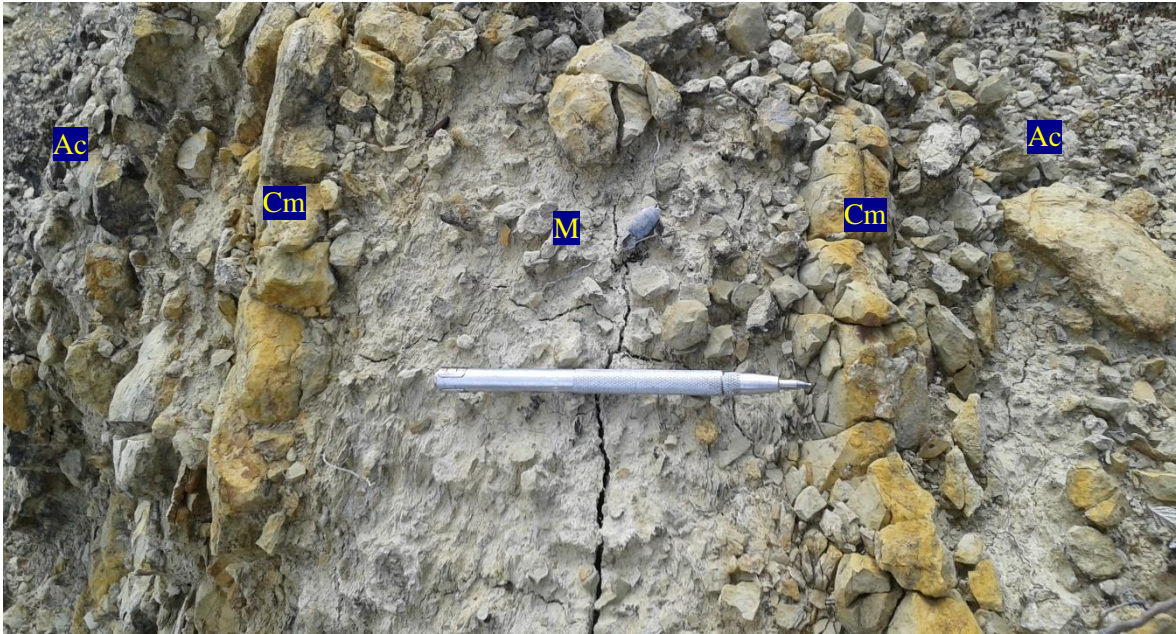


Figura 3.28. Segunda secuencia de facies en la zona de Poyuntecucho, arcillita calcárea, caliza margosa y marga.

**Cm – Lc – Ac – Cw – Cp:** tercera secuencia de litofacies consta de caliza mudstone masiva, limolitas y arcillitas calcáreas azulinas, y caliza wackestone y packstone nodulares grises; esta secuencia de litofacies es diferenciable por la mayor presencia de calizas, y disminución de materiales terrígenos. Las calizas wackestone y packstone son nodulares, alcanzan espesores de 70 cm a 80 cm, sin embargo, los espesores de las limolitas y arcillitas calcáreas no superan los 10 cm. Las calizas mudstone son masivas con espesores de 30 cm a 50 cm.

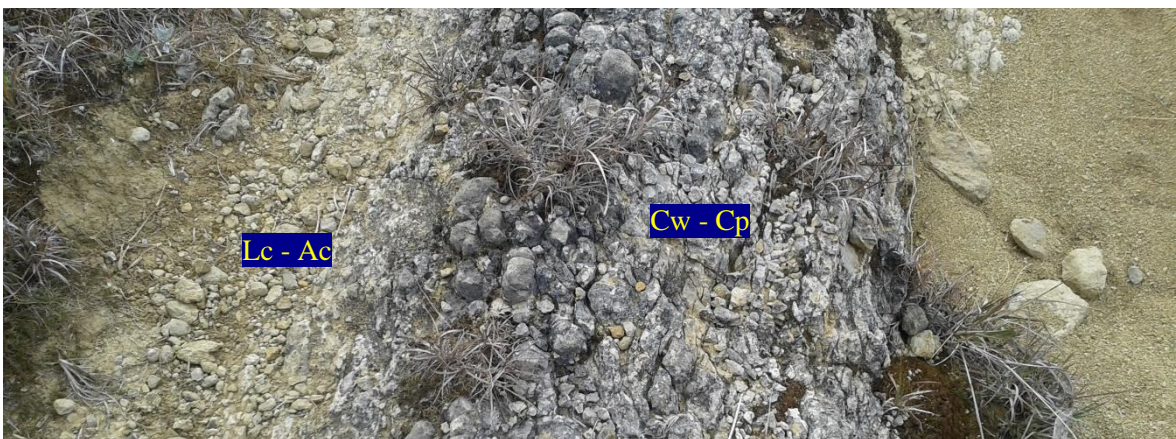


Figura 3.29. Tercera secuencia de litofacies de la Formación Celendín en la zona de Poyuntecucho constituida por calizas mudstone, limolitas y arcillitas calcáreas, calizas wackestone y calizas packstone.



**Ac – M – Lc – Cma:** cuarta secuencia de litofacies constituida por la alternancia de limolitas calcáreas amarillentas, arcillitas calcáreas pardo amarillentas y azulinas, margas pardas amarillentas y calizas margosas rojizas. Las margas tienen espesores de 30 a 50 cm, las limolitas calcáreas con espesores de 50 cm a 80 cm, las arcillitas calcáreas tienen espesores entre 40 cm y 60 cm con estructuras de laminación y las calizas margosas tienen espesores de 10 cm.



Figura 3.30. Cuarta secuencia de facies en la zona de Poyuntecucho, formada por margas, calizas margosas, limolitas calcáreas y arcillitas calcáreas.

#### **3.4.2.4 Columna Litoestratigráfica de Poyuntecucho**

Con los datos recopilados y luego de la ordenación vertical en las secuencias estratigráficas se construye la Columna Litoestratigráfica de la zona de Poyuntecucho, con ubicación en el tiempo geológico, algunas estructuras, texturas y fósiles; descripción de la litología para poder interpretar el ambiente de sedimentación. Obteniendo la siguiente columna Litoestratigráfica.

## COLUMNA POYUNTECUCHO


### 3.4.3 Zona de Teresa Conga

Esta zona se ubica al Sureste de la ciudad de Celendín a una distancia de 1.5 Km. Los afloramientos rocosos de la Formación Celendín se presentan en capas con azimut N150°, y con un buzamiento de 80° hacia el SW. En esta zona se presenta las tres primeras secuencias de facies reconocidas de acuerdo a sus características litológicas. La secuencia superior se halla en contacto discordante con la Formación Chota.


#### 3.4.3.1 Descripción macroscópica de rocas


En muestras de mano sacadas de los estratos más representativos de la Formación Celendín en la zona de Teresa Conga se describe: el color, dureza, reacción al ácido clorhídrico, contenido de material terrígeno, espesor medio de los estratos, para nombrar a la roca.


Tabla 3.5. Descripción macroscópica de muestras de mano en la zona de Teresa Conga. Fotos a escala milimétrica.


MUESTRA	T - 01	
Color	Gris verdoso	
Dureza	3	
Reacción al HCl	Alto	
Material terrígeno	8 %	
Espesor de estratos	0.4 m	
Nombre de la roca	Caliza wackestone	

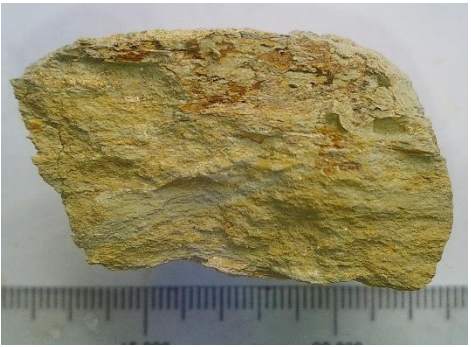
MUESTRA	T - 02	
Color	Gris verdoso	
Dureza	3	
Reacción al HCl	Alto	
Material terrígeno	9 %	
Espesor de estratos	0.4 – 0.6 m	
Nombre de la roca	Caliza mudstone	


<b>MUESTRA</b>	<b>T - 03</b>	
Color	Gris amarillento	
Dureza	3	
Reacción al HCl	Alto	
Material terrígeno	9 %	
Espesor de estratos	0.10 – 0.15 m	
Nombre de la roca	Caliza packstone	


<b>MUESTRA</b>	<b>T - 04</b>	
Color	Marrón	
Dureza	2	
Reacción al HCl	Alto	
Material terrígeno	90 %	
Tiempo de suspensión	45 min	
plasticidad	No	
Espesor de estratos	0.4 – 0.6 m	
Nombre de la roca	Limolita calcárea	

<b>MUESTRA</b>	<b>T - 05</b>	
Color	Amarrillo	
Dureza	1	
Reacción al HCl	No	
Material terrígeno	95 %	
Tiempo de suspensión	15 horas	
plasticidad	Si	
Espesor de estratos	0.4 – 0.6 m	
Nombre de la roca	Arcillita	

<b>MUESTRA</b>	<b>T - 06</b>	
Color	Amarrillo claro	
Dureza	1 - 2	
Reacción al HCl	Si	
Material terrígeno	95 %	
Tiempo de suspensión	10 horas	
plasticidad	Si	
Espesor de estratos	0.4 – 0.5 m	
Nombre de la roca	Arcillita calcárea	

<b>MUESTRA</b>	<b>T - 07</b>	
Color	Pardo amarillento	
Dureza	1 - 2	
Reacción al HCl	No	
Material terrígeno	95 %	
Tiempo de suspensión	30 min	
plasticidad	No	
Espesor de estratos	0.4 – 0.6 m	
Nombre de la roca	Limolita	

<b>MUESTRA</b>	<b>T - 08</b>	
Color	Gris verdoso	
Dureza	3	
Reacción al HCl	Alto	
Material terrígeno	25 %	
Espesor de estratos	0.3 – 0.4 m	
Nombre de la roca	Caliza margosa	

MUESTRA	T - 09	
Color	blanquecino	
Dureza	2	
Reacción al HCl	Alto	
Material terrígeno	55 %	
Espesor de estratos	0.3 – 0.5 m	
Nombre de la roca	Marga	

### 3.4.3.2 Reconocimiento de litofacies

En la zona de Teresa conga se reconocen las siguientes litofacies.

- Cm : caliza mudstone.
- Cw : caliza wackestone.
- Cp : caliza packstone.
- Ac : arcillita calcárea.
- Lc : limolita calcárea.
- A : arcillita.
- L : limolita.
- M : marga.
- Cma : caliza margosa.

### 3.4.3.3 Secuencias de litofacies

Las secuencias de litofacies encontradas en la zona de Teresa Conga son las tres primeras reconocidas en la zona de Meléndez y Poyuntecucho, diferenciables por sus características litológicas. Estas son las siguientes.

**Cw – Ac:** primera secuencia de facies litoestratigráficas; calizas wackestone y arcillitas calcáreas; correspondiente al aparente contacto entre la Formación Cajamarca y la Formación Celendín, consiste de calizas wackestone nodulares en estratos con espesores de 0.5 m a 0.7 m intercalado con estratos delgados de arcillitas calcáreas.



Figura 3.31. Intercalación de calizas wackestone con arcillitas calcáreas, primera secuencia de facies en la zona de Teresa Conga.

**Ac – Lc – M – Cma – A – L:** segunda secuencia de litofacies formada por arcillitas calcáreas, limolitas calcáreas, margas, calizas margosas, arcillitas y limolitas. Los espesores de las calizas margosas son menores a 10 cm, las margas pueden llegar a 40 cm de espesor y las limolitas y arcillitas calcáreas tienen de 70 a 130 cm de espesor con laminación. Esta secuencia de facies tiene un espesor total de 90 metros.

Esta secuencia de facies litoestratigráfica se caracteriza por la presencia importante de materiales terrígenos.



Figura 3.32. Segunda secuencia de litofacies en la zona de Teresa Conga formada por arcillitas calcáreas, limolitas calcáreas, margas y calizas margosas.

**Cm – Lc – Ac – Cw – Cp:** tercera secuencia de litofacies consta de calizas mudstone, limolitas calcáreas, arcillitas calcáreas, calizas wackestone y calizas packstone. Las calizas wackestone y packstone son nodulares en estratos de 0.5 m a 0.9 m de espesor, las calizas mudstone tiene de 20 a 30 cm de espesor y las limolitas calcáreas y arcillitas calcáreas no pasan de 5 cm de espesor. Esta secuencia de litofacies se encuentra en contacto discordante con la Formación Chota. Los materiales terrígenos disminuyen considerablemente.



Figura 3.33. Tercera secuencia de litofacies en la zona de Teresa Conga conformada por calizas mudstone, arcillitas y limolitas calcáreas, calizas wackestone y calizas packstone.

#### 3.4.3.4 Columna Litoestratigráfica de la zona de Teresa Conga

La columna Litoestratigráfica de la zona de Teresa Conga está constituida por tres secuencias de facies litoestratigráficas.



## COLUMNA TERESACONGA

### 3.4.4 Identificación de fósiles

Se ha encontrado fósiles diversos en los estratos de la Formación Celendín, especialmente en la segunda y cuarta secuencia de litofacies, estas facies tienen mayor contenido de material terrígeno. A continuación se presentan algunas imágenes de los fósiles de la Formación Celendín, fotos a escala milimétrica.

#### Amonites



#### Bivalvos



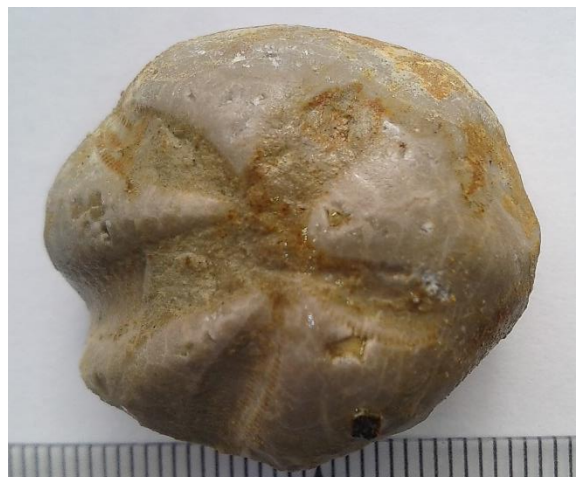
## Gasterópodos



## Turritelas



## Equinodermos



### **3.4.5 Correlación de columnas litoestratigráficas**

La correlación de las columnas litoestratigráficas se realiza en base a los cambios bruscos en la litología como son el paso de arcillitas calcáreas y limolitas calcáreas a calizas mudstone y viceversa. También se define de acuerdo a los estratos guía como son las calizas mudstone, calizas wackestone nodular.

En la correlación de las columnas litoestratigráficas locales de las tres zonas Meléndez, Poyuntecucho y Teresa Conga se observa variaciones laterales tanto en el espesor de los estratos como en la litología. El espesor de los estratos y el espesor de las secuencias de facies varia porque las columnas se ubican en diferentes partes de la cuenca de sedimentación, donde se tiene diferentes niveles de energía. Por su parte la litología también presenta diferencias en las asociaciones de facies correspondientes de las tres zonas, esta variación se debe a cambios en los aportes a la cuenca de sedimentación.

Se puede apreciar un mayor espesor de secuencias de facies en la zona de Meléndez, ya que esta zona se ubica más cerca a la parte central de la cuenca por ello es capaz de recibir mayor cantidad de aportes. También se aprecia mayor espesor de secuencia de facies en la zona de Teres Conga que en Poyuntecucho, por localizarse más hacia el sur de la cuenca con mayor profundidad, la Formación Celendín se extiende hasta el centro del Perú.

Se observa mayor presencia de limos en las columnas litoestratigráficas de Poyuntecucho y de Teresa conga, por estar más cerca de la periferia de la cuenca recibe mayor cantidad de material limoso. Y en la columna Litoestratigráfica de la zona de Meléndez se aprecia mayor contenido de arcillitas y calizas mudstone, por el hecho de encontrarse más lejos de la periferia de la cuenca.

## CORRELACION DE COLUMNAS LITOESTRATIGRAFICAS

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1 Cartografiado Geológico**

En el cartografiado geológico de la Formación Celendín en el distrito de Celendín se ha identificado tres afloramientos rocosos importantes: zona de Meléndez, zona de Poyuntecucho y zona de Teresa conga. El afloramiento más importante se ubica en la zona de Meléndez, debido a la menor erosión que ha sufrido, mostrándose un espesor de 340 m y sus estratos con un buzamiento de 80° representando el lugar idóneo para levantar la columna litoestratigráfica de la Formación Celendín.

En la zona de Poyuntecucho la Formación Celendín se expone con un espesor de 175 m y en la zona de Teresa conga tiene un espesor de 185 m.

#### **4.2 Reconocimiento de litología**

Las rocas sedimentarias se dividen en clásticas y no clásticas, las rocas no clásticas o químicas pueden depositarse en forma pura por precipitación química si incorporación de detritos derivados de la tierra, sin embargo, es más común que contengan fragmentos clásticos y si está en pequeñas cantidades constituye un adulterante de las rocas químicas. Cuando los clastos aumentan a más de la mitad la fracción química toma el papel secundario y diluye al sedimento clástico. Existe una gradación completa entre rocas detríticas y clásticas (Huang 1968).

Las rocas de la Formación Celendín están compuestas por rocas químicas con considerable material terrígeno como calizas wackestone, calizas margosas y margas; y también por rocas detríticas carbonatadas como arcillitas calcáreas y limolitas calcáreas. Las rocas

carbonatadas tienen coloración gris a blanquecino y las rocas detríticas tienen mayormente coloración amarillenta. El contenido de fósiles tiene mayor importancia en las rocas detríticas carbonatadas.

Para la diferenciación entre limolitas y arcillitas se ha realizado la prueba de plasticidad (comportamiento plastilina) y la prueba de suspensión en agua, si la muestra precipita en menos de una hora es limolita.

### **4.3 Columnas Litoestratigráficas**

En la columna litoestratigráfica de la zona de Meléndez se diferencia cinco secuencias litoestratigráficas enumeradas de piso a techo como Primera, Segunda, Tercera, Cuarta y Quinta; en la columna litoestratigráfica de Poyuntecucho se observa las cuatro primeras secuencias de litofacies; y en la zona de Teresa Conga solo se aprecia las tres primeras secuencias de litofacies. Las columnas litoestratigráficas de la zona de Poyuntecucho y Teresa Conga han sufrido mayor erosión, también se encuentran en contacto con la Formación Chota.

Las secuencias litoestratigráficas Primera, Tercera y quinta están compuestas mayormente por rocas de precipitación química; y en las secuencias litoestratigráficas Segunda y Cuarta se conforma de rocas detríticas carbonatadas como arcillitas calcáreas y limolitas calcáreas. En campo se ha encontrado arcillitas que no reaccionan al HCl es por la meteorización que diluye el contenido de carbonato de calcio.

### **4.4 Cambios Laterales de las Asociaciones de Facies**

En el análisis litoestratigráfico de las cinco secuencias de facies se aprecia cambios laterales observándose que el espesor de las secuencias de facies de la zona de Meléndez es mayor que de la zona de Poyuntecucho y Teresa conga, debido a que la zona de Meléndez se ubica más cerca del depocentro de la cuenca. Asimismo la litología varía de con mayor contenido de limos en la zona de Poyuntecucho y de Teresa conga por su cercanía a la periferia de la cuenca. Y con mayor presencia de arcillitas en la zona de Meléndez debido a su cercanía al depocentro de la cuenca.

#### **4.5 Análisis de la columna litoestratigráfica**

La columna generalizada de la Formación Celendín tiene cinco secuencias de litofacies (primera, segunda, tercera, cuarta y quinta).

La primera secuencia de litofacies de calizas wackestone y arcillitas calcáreas representa un cambio gradual de facies de la Formación Cajamarca (calizas mudstone gris azulinas) a la Formación Celendín. Representa también un cambio importante en las condiciones físico – químicas del medio sedimentario, con mayor aporte de material terrígeno evolucionando hacia un mar de menor profundidad.

La segunda secuencia de litofacies de arcillitas calcáreas, margas y calizas margosas depositadas con cambios graduales a partir de la primera secuencia de facies, hacia el techo consta de algunos estratos de limolitas, presenta abundantes fósiles, con coloración mayormente amarillenta y algunos estratos azulinos en el piso y techo.

La tercera secuencia de litofacies que corresponde a calizas mudstone, calizas wackestone y calizas packstone con estratos delgados de arcillitas calcáreas. Depositados sobre la segunda secuencia de litofacies con cambios bruscos de litología, y con disminución importante de material terrígeno.

La cuarta secuencia de litofacies corresponde a arcillitas calcáreas, margas y calizas margosas, depositadas sobre la tercera secuencia de litofacies de forma gradual, tiene abundantes limolitas hacia el techo, con una coloración mayormente amarillenta, y con abundantes fósiles marinos.

La quinta secuencia de litofacies consta de calizas mudstone, wackestone y packstone con escasos niveles de arcillitas, con coloración gris a blanquecina, y depositados con cambios bruscos de litología sobre la cuarta secuencia de litofacies.

#### **4.6 Ambientes sedimentarios**

El ambiente de sedimentación de la primera secuencia de litofacies de la Formación Celendín corresponde a un cambio en la profundidad relativa del mar de un mar profundo (Formación Cajamarca) a un mar somero, este proceso de somerización aporta mayor cantidad de materiales terrígenos.



La segunda secuencia de facies se deposita en un mar somero, en un ambiente de clima árido (mayor meteorización física) con importante aporte de material terrígeno, con aguas bien oxigenadas que permiten que se desarrolle la vida marina.

La tercera secuencia de facies se deposita en un mar de mayor profundidad, registrado en los cambios bruscos de la litología de arcillitas calcáreas a calizas mudstone, esta profundización del nivel relativo del mar puede ser causada por cambios eustáticos (glacioeustatismo y tectonoestatismo) por ejemplo el final grandes glaciaciones. Los aportes terrígenos también disminuye y la coloración de las rocas se tornan de grises a blanquecinas indicando un clima húmedo donde tiene mayor importancia la meteorización química con mayor aportes de carbonato y calcio.

La cuarta secuencia de litofacies corresponde a un mar en proceso de somerización donde hacia el piso se presenta las arcillitas calcáreas y hacia el techo toma importancia las limolitas calcáreas, la disminución de la profundidad relativa del mar puede ser causada por el inicio de una nueva glaciación o por el llenado de agua de cuencas nuevas. La coloración amarillenta de las rocas infiere un clima árido donde tiene mayor importancia la meteorización física con mayor aporte de material terrígeno. Con aguas bien oxigenadas para el desarrollo de la vida marina.

La quinta secuencia de litofacies corresponde nuevamente a una rápida profundización del nivel relativo del mar (final de la glaciación), en clima húmedo con mayor aporte de materiales disueltos como iones de carbonato y calcio.

#### **4.7 Análisis secuencial**

Se puede identificar la superposición de tres ciclos a partir de las secuencias calcáreas y detríticas, cuyos límites son las secuencias de rápida profundización del mar.

El primer ciclo termina con la segunda secuencia de litofacies con limolitas calcáreas hacia el techo. El segundo ciclo inicia con las calizas mudstone de la tercera secuencia de facies y termina con las limolitas calcáreas de la cuarta secuencia de facies, este ciclo presenta mayor contenido de limolitas calcáreas hacia el techo. El tercer ciclo está incompleto por erosión inicia con las calizas mudstone de la quinta secuencia de facies.

#### **4.8 Contrastación de la Hipótesis**

La hipótesis planteada en el este trabajo es “La Estratigrafía Secuencial de la Formación Celendín en el distrito de Celendín depende de los procesos sedimentarios y tectónicos ocurridos en el ambiente de sedimentación, los cuales han originado: estructuras, texturas y fósiles en rocas calcáreas a través del tiempo geológico”, con el desarrollo del presente trabajo podemos definir lo siguiente:

La Estratigrafía Secuencial de la Formación Celendín depende de: cambios climáticos ocurridos en la zona aportes de la cuenca determinando que en ciertos lapsos de tiempo se suministre mayor cantidad de material terrígeno hacia la cuenca y en otros intervalos de tiempo mayor contenido de iones ( $\text{CO}_3$ –Ca). Y procesos tectónicos y climáticos globales que han determinado la variación del nivel relativo del mar facilitando en algunos momentos la depositación de las calizas mudstone, wackestone y packstone (rocas carbonatadas) en estratos gruesos; y en otros lapsos de tiempo la depositación de arcillitas calcáreas, limolitas calcáreas, margas y calizas margosas (rocas detríticas calcáreas).

La depositación se realiza en un mar de poca profundidad (laminación de arcillas, estratos muy delgados de calizas margosas) con aguas oxigenadas por lo que la vida se desarrolla con facilidad registrado en diverso fósiles.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

- ✓ En el cartografiado geológico de la Formación Celendín se localizó tres zonas: zona Meléndez, zona de Poyuntecucho y zona de Teresa conga. Encontrándose los mejores afloramientos rocosos en la zona de Meléndez.
- ✓ De los datos litológicos expuestos en las columnas litoestratigráficas se pudo definir cinco secuencias de litofacies.
- ✓ En la correlación local de las columnas litoestratigráficas de las zonas de Meléndez, Poyuntecucho y Teresa Conga se observó variación lateral de las secuencias de facies tanto de espesor como de litología.
- ✓ La sedimentación de las rocas de la Formación Celendín se realiza en un mar somero, con aguas oxigenadas, con cambios climáticos y tectónicos importantes dando origen a las cinco secuencias de litofacies.

#### **5.2 Recomendaciones**

- ✓ Realizar la correlación regional de columnas litoestratigráficas de la Formación Celendín para analizar la cuenca de depositación.
- ✓ Hacer estudios sedimentológicos de procedencia de las rocas de la Formación Celendín para interpretar la evolución de la fuente de aportes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Almazán Vásquez, E; Buitrón Sánchez, BE; Franco Vega, O. 2006. Formación Pozo Nuevo: una nueva secuencia litoestratigráfica de plataforma del Ordovícico Temprano de la región central de Sonora, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 23(1):23-38.
- Ascencio Rojas, WE. 2014. Característica estratigráfica de la Formación Chulec en la cuenca Cajamarca. Tesis Ing. Geólogo. Cajamarca, Perú. UNC. 66p.
- Bádenas, B; Aurell, M; Meléndez, A. 1993. Estratigrafía secuencial y Sedimentología del Jurásico Superior del noreste de Albacete. *Estudios Geológicos* 49:319-336.
- Benítez, MH. 2013. Análisis facial y paleoambiental de la Formación Coquena (Tremadociano Superior) en la región de Purmamarca, cordillera oriental Jujeña. *Temas de Correlación Geológica III (Serie Correlación Geológica)* 29(2):7-20.
- Blanco, G; Gaucher, C. 2005. Estratigrafía, Paleontología y edad de la Formación Las Ventanas (Neoproterozoico, Uruguay). *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 12(2):109-124.
- Blandón Montes, A. 2002. Principios de Estratigrafía. Medellín, Colombia. 288p.
- Carrasco-Velásquez, BE; Martínez-Hernández, E; Ramírez-Arriaga, E; Solé Viñas, J. 2008. Estratigrafía de la Formación Metztlán del Plioceno (Estado de Hidalgo, centro-este de Mexico). *Boletín de la Sociedad Geológica de España* 60(1):83-99.
- Dávalos-Álvarez, OG; Nieto-Samaniego, AF; Alaniz-Álvarez, SA; Martínez-Hernández, E; Ramírez-Arriaga, E. 2007. Estratigrafía Cenozoica de la región de Tehuacán y su relación con el sector norte de la falla de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 24(2):197-215.

- Fernández Julca, EJ. 2015. Correlación litobioestratigráfica de la Formación Inca en los sectores de Chamis, Corisorgona y Puyllucana - Cajamarca. Tesis Ing. Geólogo. Cajamarca, Perú. UNC. 81p.
- Franco Arias, DA. 2013. Caracterización y distribución de facies sedimentarias en la bahía de Cartagena, Colombia. *Boletín de Geología* 35(1):43-53.
- Herrera, E. 2012. Estudio estratigráfico del cretáceo superior en los alrededores de la ciudad Cajamarca. Tesis Ing. Geólogo. Cajamarca, Perú. UNC. 90p.
- Izquierdo Ortiz, F. 2015. Estudio estratigráfico del Cretáceo Superior y Paleógeno – Neógeno del centro poblado Alpococha y alrededores – Celendín – Cajamarca. Tesis Ing. Geólogo. Cajamarca, Perú. UNC. 149p.
- López Doncel, R; Labarthe Hernández, G; Mata Segura, JL. 2005. Estudio sedimentológico-estratigráfico de la Sierra Las Lilas (Paleozoico) y Sierra El Cartucho (Mesozoico) en la porción noroccidental del estado de Chihuahua, Mexico (Distrito minero de Bismark). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 22(3):298-314.
- Montaño, P; Nova, G; Bayona, G; Mahecha, H; Ayala, C; Jaramillo, C; De la Parra, F. 2016. Análisis de secuencias y procedencia en sucesiones sedimentarias de grano fino: un ejemplo de la Formación Umir y base de la Formación Lisama, en el sector de simacota (Santander, Colombia). *Boletín de Geología* 38(1):51-72.
- Murga López, MA. 2016. Estudio estratigráfico para la determinación de la mineralización en la Formación Santa, localidad La Hualanga – Cajamarca. Tesis Ing. Geólogo. Cajamarca, Perú. UNC. 77p.
- Ocampo Díaz, YZE; Jenchen, U; Guerrero Suastegui, M. 2008. Facies y sistemas de depósito del Miembro Arenoso Galeana (Formación Taraiser, Cretácico inferior, NE de México). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 25(3):438-464.
- Palacios Moncayo, O. 1995. Estratigrafía. *Boletín 55 INGEMMET* 1995: 45-84.
- Poire, DG; Gonzales, PD; Canalicchio, JM; García Repetto, F; Canessa, ND. 2005. Estratigrafía del Grupo Mina Verdún, Proterozoico de minas, Uruguay. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 12(2):125-143.

- Santillán Piña, N; Aguayo Camargo, JE. 2011. Facies sedimentarias turbidíticas del Terciario Inferior en la cuenca de Chicontepec, centro-oriente de México. *Ingeniería Investigación y Tecnología* 12(3):337-352.
- Sánchez Benavides, FJ; Alonso Gavilán, G; Dabrio, CJ. 1988. Sedimentología de los depósitos lacustres Neógenos de Castrillo del Val (Burgos) España. *Studia Geologica Salmanticensia* 25:87-108.
- Sierra Rojas, MI; Molina Garza, RS. 2014. La Formación Zicapa del sur de México: revisión estratigráfica sedimentológica y ambientes sedimentarios. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 31(2):174-189.
- Vera Torres, JA. 1994. *Estratigrafía principios y métodos*. Madrid, España. Editorial Rueda. 803p.
- Wilson, J. 1984. Geología de los cuadrángulos: 13-d, 13-e, 13-f, 14-d, 14-e, 14-f, 14-g, 15-d, 15-e. *Boletín 38 INGEMMET* 1984:1-114.

## ÁLBUM DE FOTOGRAFÍAS



Figura A.1. Vista panorámica de la zona de Meléndez, en la parte central se puede observar las rocas amarillentas de la Formación Celendín.

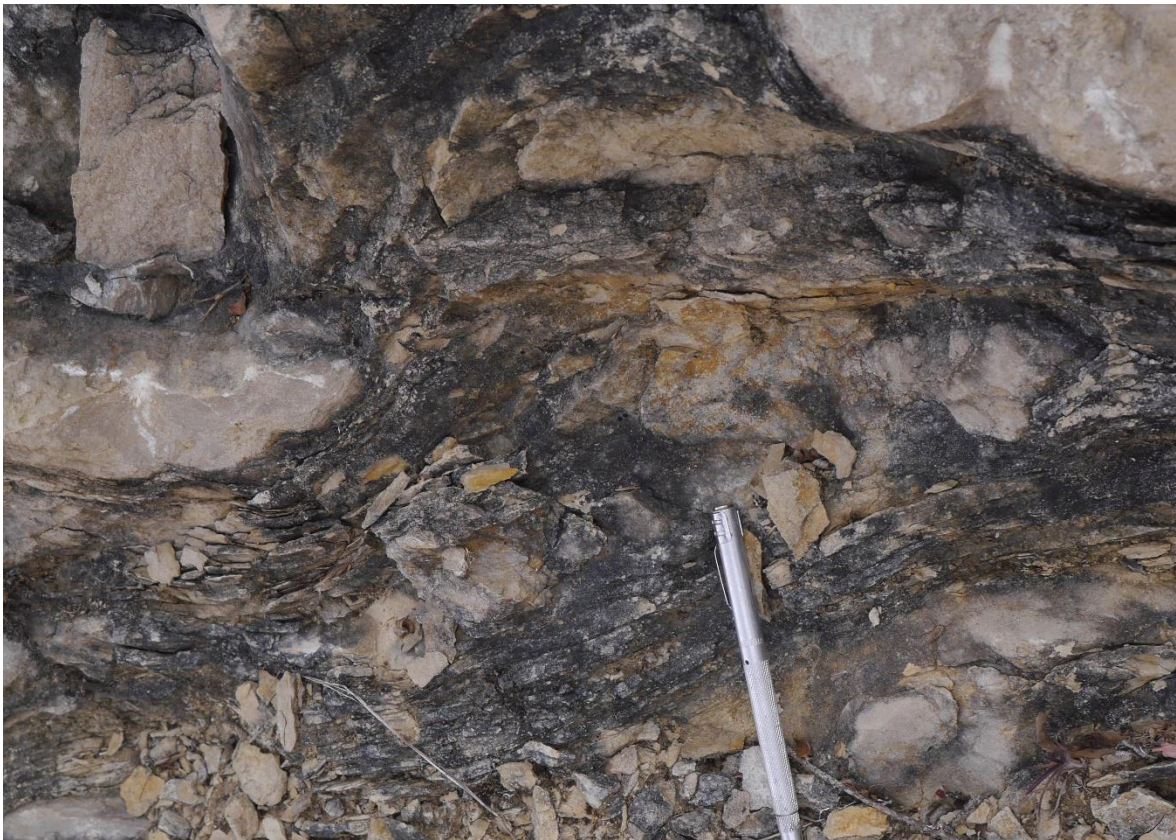


Figura A.2. Deformación de arcillitas calcáreas intercaladas con calizas mudstone, zona de Meléndez.



Figura A.3. Intercalación de calizas wackestone amarillentas con arcillitas calcáreas blanquecinas, zona de Meléndez.



Figura A.4. Cambio brusco en la litología de arcillitas calcáreas a caliza wackestone utilizado como superficies de referencia para la correlación de las columnas litoestratigráficas, zona de Meléndez.





Figura A.5. Pequeñas ondules en calizas margosas apuntada por el lápiz de dureza. Zona de Meléndez.



Figura A.6. Estratos muy delgados de calizas margosas apuntados por el lápiz de dureza, de 0.50 cm de espesor. Zona Meléndez.



Figura A.7. Contacto difuso de la Formación Celendín con la Formación Chota en la zona de Poyuntecucho.



Figura A.8. Secuencias litoestratigráficas de calizas margosa y arcillitas. Zona Poyuntecucho.



Figura A.9. Laminación de arcillitas calcáreas y deformación de carga de calizas packstone en la zona de Poyuntecucho.

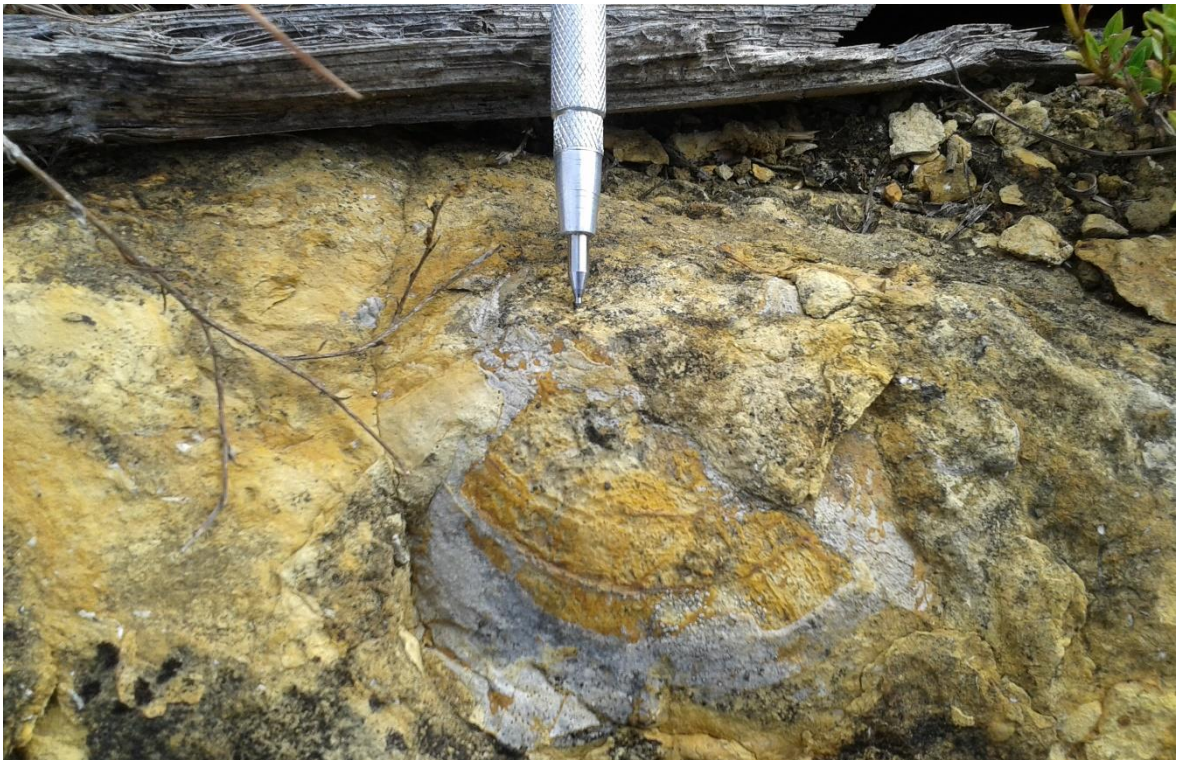


Figura A.10. Fósil bivalvo encontrado en la primera secuencia de litofacies, zona de Poyuntecucho.



Figura A.11. Amonite de la zona de Meléndez.



Figura A.12. Turritela de la zona de Teresa Conga.



Figura A.13. Bivalvo de la zona de Teresa Conga.



Figura A.14. Bivalvo de la zona de Meléndez.



Figura A.15. Bivalvo de la zona de Poyuntecucho.



Figura A.16. Equinodermo de la zona de Poyuntecucho



Figura A.17. Lumaquela en calizas margosas, zona de Meléndez.