

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



TESIS PROFESIONAL

**CARACTERIZACIÓN LITO-BIOESTRATIGRÁFICA DE LA
FORMACIÓN PARIATAMBO EN EL CASERÍO DE CARAHUANGA
DEL DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA**

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Presentado por:

Bach. VIDAL JULCA SÁNCHEZ

Asesor:

Dr. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI

CAJAMARCA – PERÚ

2022

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater, la Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica.

A Dios por darme la vida y permitirme hacer realidad mi sueño, a mi asesor el Dr. Crispín Zenón Quispe Mamani por su apoyo incondicional y a todos los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica por su enseñanza.

A mis padres, mi hermano y a mi familia por su apoyo moral y económico para poder alcanzar mis objetivos.

DEDICATORIA

A mis padres Asunción Julca Cortez y Casilda Sanchez Zamora, a mi hermano Carlos Julca Sánchez; por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

A mi compañera inseparable, Carmen Diaz Diaz y a mis dos hijos Antony y Antonella Julca Diaz por ese apoyo incondicional hacia mí.

| CONTENIDO | Pág. |
|----------------------------|-------------|
| AGRADECIMIENTO..... | ii |
| DEDICATORIA..... | iii |
| CONTENIDO..... | iv |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | iv |
| ÍNDICE DE TABLAS | ix |
| RESUMEN..... | x |
| ABSTRACT..... | xi |

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|----------|
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 3 |
| 2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN..... | 3 |
| 2.2. BASES TEÓRICAS | 4 |
| 2.2.1. Estratigrafía | 4 |
| 2.2.2. Principios fundamentales de la estratigrafía | 5 |
| 2.2.2.1. Principio de la horizontalidad | 5 |
| 2.2.2.2. Principio de la superposición..... | 5 |
| 2.2.2.3. Principio del uniformismo o actualismo | 6 |
| 2.2.2.4. Principio de la sucesión faunística o de la correlación | 6 |
| 2.2.2.5. Principio de la simultaneidad de eventos | 6 |
| 2.2.3. La estratificación..... | 7 |
| 2.2.3.1. Estratificación y laminación | 7 |
| 2.2.3.2. Tipos de superficies de estratificación..... | 7 |
| 2.2.3.3. Tipos de estratificación..... | 8 |
| 2.2.4. Geometría de los estratos | 9 |
| 2.2.5. Asociación de estratos | 10 |
| 2.2.6. Facies..... | 11 |
| 2.2.6.1. Tipos de facies | 12 |
| 2.2.6.2. Asociación de facies..... | 13 |

| | Pág. |
|---|-------------|
| 2.2.6.3. Distribución areal y temporal de las facies | 14 |
| 2.2.6.4. La ley o regla de Walther..... | 15 |
| 2.2.7. Litoestratigrafía..... | 16 |
| 2.2.7.1. Definición de unidades litoestratigráficas | 16 |
| 2.2.7.2. Reconocimiento de las unidades litoestratigráficas | 17 |
| 2.2.7.3. Forma de las unidades litoestratigráficas | 20 |
| 2.2.7.4. Relaciones laterales de las unidades litoestratigráficas | 23 |
| 2.2.7.5. Relaciones verticales de las unidades litoestratigráficas..... | 24 |
| 2.2.8. Bioestratigrafía | 25 |
| 2.2.8.1. Concepto de Bioestratigrafía | 25 |
| 2.2.8.2. Principio de la Sucesión Faunística..... | 25 |
| 2.2.8.3. Concepto de zona | 26 |
| 2.2.8.4. Bases para la zonación bioestratigráfica | 26 |
| 2.2.8.5. Clases de unidades bioestratigráficas | 33 |
| 2.2.9. Sección estratigráfica | 36 |
| 2.2.9.1. Sección estratigráfica local..... | 36 |
| 2.2.9.2. Metodología para la elaboración de una sección estratigráfica..... | 36 |
| 2.2.9.3. Medida de espesores de las unidades litoestratigráficas | 37 |
| 2.2.10. Correlaciones lito-bioestratigráficas..... | 40 |
| 2.2.10.1. Litocorrelación | 41 |
| 2.2.10.2. Biocorrelación..... | 41 |
| 2.2.11. Clasificación de las rocas carbonatadas | 41 |
| 2.2.11.1. Clasificación de Folk 1962..... | 42 |
| 2.2.11.2. Clasificación de Dunham (1962)..... | 44 |
| 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS..... | 45 |
| CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS | 46 |
| 3.1. GENERALIDADES | 46 |
| 3.1.1. Ubicación..... | 46 |
| 3.1.2. Accesibilidad | 46 |
| 3.1.3. Fisiografía..... | 47 |

| | Pág. |
|--|-------------|
| 3.1.4. Clima | 47 |
| 3.1.5. Vegetación | 48 |
| 3.1.6. Geomorfología..... | 48 |
| 3.1.6.1. Planicies | 49 |
| 3.1.6.2. Lomadas..... | 50 |
| 3.1.6.3. Laderas | 50 |
| 3.1.6.4. Escarpas | 51 |
| 3.1.7. Geología local..... | 52 |
| 3.1.7.1. Formación Pariatambo | 52 |
| 3.1.7.2. Formación Yumagual | 53 |
| 3.1.7.3. Volcánico Huambos..... | 53 |
| 3.1.7.4. Depósitos Cuaternarios | 55 |
| 3.1.7.4.1. Depósitos coluviales..... | 55 |
| 3.1.7.4.2. Depósitos fluviales..... | 56 |
| 3.2. PROCEDIMIENTO..... | 56 |
| 3.3. METODOLOGÍA | 58 |
| 3.3.1. Tipificación de la investigación | 58 |
| 3.3.1.1. Según el tipo de conocimientos previos usados..... | 58 |
| 3.3.1.2. Según el tipo de pregunta planteada en el problema | 58 |
| 3.3.1.3. Según el propósito de la investigación | 59 |
| 3.3.1.4. Según su alcance temporal | 59 |
| 3.3.2. Unidad de análisis | 59 |
| 3.3.3. Población de estudio | 59 |
| 3.3.4. Muestra | 59 |
| 3.4. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS... 59 | 59 |
| 3.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 59 |
| 3.4.1.1. Técnicas | 59 |
| 3.4.1.2. Variables | 60 |
| 3.4.1.3. Equipos e instrumentos | 60 |
| 3.4.2. Tratamiento y análisis de datos | 61 |
| 3.4.2.1. Recolección de datos | 61 |
| 3.4.2.2. Procesamiento de la información | 62 |
| 3.4.3. Presentación de resultados | 62 |

| | Pág. |
|---|-------------|
| 3.4.3.1. Petrología | 62 |
| 3.4.3.2. Estratigrafía | 74 |
| 3.4.3.2.1. Litoestratigrafía | 74 |
| 3.4.3.2.2. Bioestratigrafía | 86 |
| 3.4.3.2.3. Facies | 91 |
| 3.4.3.3. Correlación lito-bioestratigráfica | 95 |
| | |
| CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 95 |
| 4.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN | 98 |
| 4.1.1. La formación Pariatambo en el norte del Perú | 98 |
| 4.1.2. La formación Pariatambo en el caserío de Carahuanga – Baños del Inca..... | 100 |
| 4.1.3. Correlación estratigráfica..... | 101 |
| 4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS..... | 101 |
| | |
| CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 100 |
| 5.1. CONCLUSIONES..... | 102 |
| 5.2. RECOMENDACIONES..... | 103 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 104 |
| ANEXOS | 106 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Tipos de superficies de estratificación que se pueden observa en el en el campo. | 8 |
| Figura 2: Tipos más simples de geometrías de estratos de acuerdo con su continuidad, forma de las superficies de estratificación variación lateral de espesor..... | 9 |
| Figura 3: Tipos de asociaciones de estratos de acuerdo con la distribución de los espesores y de las litologías presentes | 11 |

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 4: Relación entre medio, proceso, facies y tiempo en una cuenca sedimentaria teórica. Modificado de Selley, 1976. | 12 |
| Figura 5: Representación esquemática simplificada de litofacies. Nota que una facies puede cambiar en otro lateral o verticalmente.. | 13 |
| Figura 6: Tipos de cambios de facies..... | 14 |
| Figura 7: Gráfico tridimensional en el que se muestra un ejemplo de la aplicación de la Ley de Walther..... | 15 |
| Figura 8: Gráfico en el que se muestran los rangos de unidades litoestratigráficas..... | 17 |
| Figura 9: Izquierda: Esquema mostrando estratificación mixta, integrada por laminación flaser, ondulítica y lenticular.. | 19 |
| Figura 10: Esquemas que muestran los diferentes tipos de estructuras de calcos de carga y en almohadilla..... | 20 |
| Figura 11: Formas de las unidades litoestratigráficas, deducidas a partir de datos de campo. Explicación en el texto. | 22 |
| Figura 12: Relaciones laterales entre unidades litoestratigráficas..... | 24 |
| Figura 13: Relaciones verticales entre unidades litoestratigráficas..... | 25 |
| Figura 14: Sistema de clasificación biológica moderna..... | 28 |
| Figura 15: Tabla de la distribución de los fósiles característicos a lo largo del tiempo geológico, desde el Cámbrico hasta la actualidad..... | 30 |
| Figura 16: Distribución de diferentes fósiles (M,N,O.P.G) en una sección estratigráfica..... | 32 |
| Figura 17: Tipos de biozonas que establece la Guía Estratigráfica Internacional (GEI, 1980).. | 35 |
| Figura 18: Sección estratigráfica local elaborada mediante la aplicación del principio de la superposición..... | 36 |
| Figura 19: Medida en materiales horizontales (x, y, z: unidades litoestratigráficas). | 38 |
| Figura 20: Detalle de la medida con la vara de Jacob en capas horizontales (P,Q, lotes de 1,5 m que es la altura de la vara). | 38 |
| Figura 21: Medida de los espesores de unidades estratigráficas en materiales inclinados, mediante medidas parciales sucesivas. | 39 |

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 22: Medida con la vara de Jacob en capas inclinadas (P,Q, lotes de 1,5 m que es la altura de la vara).. | 39 |
| Figura 23: Medida del espesor conjunto de una unidad, a partir del buzamiento. | 40 |
| Figura 24: Clasificación de las rocas carbonatadas basada en el método de Folk (1959, 1962)..... | 42 |
| Figura 25: Rango de texturas que se presentan en las rocas carbonatadas, ilustradas usando los términos de la clasificación de Folk. | 43 |
| Figura 26: Clasificación de Dunham 1962, modificado de Moore 2001. . | 44 |
| Figura 27: Temperatura promedio para Cajamarca. | 47 |
| Figura 28: Procedimiento metodológico para la investigación..... | 58 |
| Figura 29: Correlación estratigráfica de las columnas de los sectores Ronquillo, Puyllucana y Carahuanga . | 97 |
| Figura 30: Formación Pariatambo en la columna estratigráfica de la región Cajamarca..... | 99 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Coordenadas del área de estudio | 46 |
| Tabla 2: Accesos a la zona de investigación..... | 46 |
| Tabla 3: Clasificación de pendientes..... | 47 |
| Tabla 4: Clasificación de Unidades Morfogénicas..... | 49 |
| Tabla 5: Definición de variables. | 60 |
| Tabla 6: Cotas de la base y techo estudiado del miembro inferior..... | 75 |
| Tabla 7: Cotas de la base y techo estudiado del miembro medio | 78 |
| Tabla 8: Cotas de la base y techo estudiado del miembro medio | 83 |

RESUMEN

La presente investigación contiene un estudio realizado en el Caserío de Carahuanga, distrito de Baños del Inca, provincia de Cajamarca, el cual se basa en el estudio Lito-bioestratigráfico de la Formación Pariatambo, realizándose para ello un análisis descriptivo directo de manera local, en la que se distinguió tres unidades litoestratigráficas: Miembro Inferior, Miembro Medio y Miembro Superior. También se distinguió las siguientes litofacies: Calizas bituminosas del tipo mudstone y wackestone, arcillita bituminosas, Margas, Calizas margosas y silícea correspondiente al horizonte de Chert y biofacies: Amonites Oxitropidoceras sp., Ammonites y bivalvos principalmente Seyphax Coquand y Nucula, con lo que se logró realizar una comparación con la columna estratigráfica realizada en los Centros Poblados de Urubamba y Ronquillo por (Bazán, 2015) y en el Centro Poblado de Puyllucana por (Escobedo, 2017) donde se determinó una correspondencia en la litología, espesor, estratigrafía y bioestratigrafía de las unidades litoestratigráficas.

Palabras clave: Paleontología, correlación estratigráfica, Litoestratigrafía, bioestratigrafía, Formación Pariatambo, litología, miembro.

ABSTRACT

This research contains a study carried out in the Caserío de Carahuanga, Baños del Inca district, Cajamarca province, which is based on the Litho-biostratigraphic study of the Pariatambo Formation, performing a direct descriptive analysis locally, in which distinguished three lithostratigraphic units: Lower Member, Middle Member and Upper Member. The following lithofacies were also distinguished: Bituminous limestones of the mudstone and wackestone type, bituminous clay, Marls, Marly and siliceous limestones corresponding to the Chert horizon and biofacies: Ammonites *Oxitropidoceras* sp., Ammonites and bivalves mainly *Seyphax* Coquand and *Nucula*, with which managed to make a comparison with the stratigraphic column made in the Populated Centers of Urubamba and Ronquillo by (Bazán, 2015) and in the Populated Center of Puyllucana by (Escobedo, 2017) where a correspondence in lithology, thickness, stratigraphy and biostratigraphy was determined of lithostratigraphic units.

Keywords: Paleontology, stratigraphic correlation, Lithostratigraphy, biostratigraphy, Pariatambo Formation, lithology, limb.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la estratigrafía es importante, ya que las formas de estratificación, estructuras sedimentarias, contenido fosilífero y composición de las rocas sedimentarias son características geológicas que constituyen evidencias sobre la sedimentología y estratigrafía de dichas rocas, por lo que en la actualidad constituyen aspectos de valor útil en estudios de carácter lito-bioestratigráficos.

La Formación Pariatambo en el caserío de Carahuanga, distrito de Baños del Inca, carece de investigaciones a detalle nivel local sobre lito-bioestratigrafía por lo que surge la necesidad de realizar la Investigación para tener una mejor visión de la caracterización lito-bioestratigráfica de la Formación Pariatambo, la cual contribuirá para conocer las condiciones del ambiente sedimentario que están evidenciadas en el registro sedimentario de la zona de estudio; todos estos datos y resultados servirán para realizar columnas estratigráficas detalladas, identificar la litología, estructuras sedimentarias, facies, continuidad lateral, contenido fosilífero.

El estudio abarca conocimientos y procedimientos adecuados para efectuar una caracterización lito-bioestratigráfica determinada de acuerdo con los fenómenos sucedidos en el tiempo, además servirá como estudio base para futuros investigadores que deseen realizar una correlación local o regional; para la presente tesis se ha formulado el siguiente problema: ¿Cuál es la caracterización lito-bioestratigráfica de la Formación Pariatambo en el Caserío de Carahuanga, distrito de Baños del Inca?.

El objetivo principal es realizar la caracterización lito-bioestratigráfica de la Formación Pariatambo en el Caserío de Carahuanga, distrito de Baños del Inca y los objetivos específicos son elaborar columnas lito-bioestratigráficas, realizar una descripción lito-bioestratigráfica, reconocer las litofacies y biofacies y realizar una correlación lito-bioestratigráfica local.

Habiendo identificado el problema, formulado, delimitado y definido los objetivos de la investigación; se elaboró la hipótesis del trabajo de investigación: Las características lito-bioestratigráficas de la Formación Pariatambo en el Caserío de Carahuanga evidencian un ambiente marino bajo condiciones en las que el mar desarrollaba un sistema de transgresiones, dando como resultado los distintos cambios de litofacies y biofacies.

Para la investigación se identificaron como variables dependientes a la litoestratigrafía y bioestratigrafía y como variables independientes a la litología, textura, ambiente, estructuras sedimentarias, cronoestratigrafía y contenido fosilífero.

La investigación se encuentra dividido en V Capítulos, en el Capítulo I se muestra la introducción de la investigación, en el Capítulo II corresponde al marco teórico en el cual se ha seleccionado y descrito antecedentes para la investigación, base teórica y la definición de términos. El Capítulo III corresponde a los Materiales y Métodos, donde se han descrito las generalidades del proyecto, procedimientos en la recopilación de información de campo, se describe también la geología local, geología estructural, en el Capítulo IV se procedió a analizar y discutir los resultados siguiendo el orden de los objetivos planteados; en el Capítulo V se dan a conocer las conclusiones a las cuales se han llegado así como las recomendaciones y referencias bibliográficas usadas en el desarrollo del proyecto de investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos de la Investigación

Reyes (1990), geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba, serie A, Boletín N° 31. Determinó que la Formación Yumagual suprayace con leve discordancia a la Formación Pariatambo e infrayace con aparente concordancia a la Formación Mujarrún y Grupo Quiquiñan y se encuentra expuesta ampliamente dentro y fuera del área específicamente a partir del río Crisnejas, San Marcos y Cajamarca.

Bazán (2015), la Formación Pariatambo en los alrededores de Cajamarca y su relación con el evento anóxico oceánico del albiano en el Perú mediante el análisis de secciones delgadas, señala que la Formación Pariatambo consta principalmente de calizas bituminosas y arcillitas negras, en el caso de las calizas principalmente existen 3 tipos: calizas mudstone en su mayoría, calizas wackestone y calizas packstone en menor porcentaje.

Escobedo (2017), estratigrafía secuencial de la Formación Pariatambo en el Centro Poblado Puyllucana, Distrito de Baños del Inca – Cajamarca. Perú. Señala que la Formación Pariatambo del Centro Poblado de Puyllucana, se subdivide en tres unidades litoestratigráficas, en la unidad A cuya base está en contacto concordante con la Formación Chúlec, en la unidad B presenta secuencia rítmica decreciente con intercalaciones de estratos delgados de calizas y La unidad C, presenta secuencia rítmica creciente y decreciente, de calizas tabulares intercaladas con arcillitas.

Lagos et al (2006), aportes al Análisis de Cuencas Sedimentarias en los alrededores de las localidades de Baños del Inca, Cruz Blanca y Otuzco, distrito de Cajamarca; presentado en el XIII congreso de Geología en el Perú el cual trata sobre el comportamiento de la Cuenca Occidental, en el proceso de relleno

sedimentario desde el Berriasiano - Valanginiano (Cretáceo Inferior) hasta el Santoniano - Campaniano (Cretáceo Superior).

Mejía (2012), Estudio Sedimentológico y Estratigráfico del Caserío de Puylucana – Otuzco – Cajamarca realiza un estudio desde el Grupo Goyllarisquizga, la Secuencia Transgresiva y Grupo Crisnejas, Grupo Puylucana, Grupo Quilquiñan y Formación Mujarrun; la Formación Quilquiñan diferencian las Formaciones Romiron; Coñor; así mismo la Formación Cajamarca, presenta la secuencia calcáreas de Cretáceo Superior que más destaca topográficamente por su homogeneidad litológica y ocurrencia en estratos gruesos y masivos, que exhiben una topografía kárstica con fuertes pendientes y finalizando la secuencia marina aflora la Formación Celendín que cierra el Sistema Cretáceo Superior se caracteriza por ser excepcionalmente fosilífera de cefalópodos, lamelibranquios entre otros.

Ascencio (2014), Caracterización estratigráfica de la Formación Chulec en la cuenca de Cajamarca. Perú. Realiza columnas estratigráficas en cinco zonas: Urubamba– Tres Rios, Puylucana, Otuzco, Chamis y Cruz Blanca.

López (2021), Estudio lito y bioestratigráfico del Grupo Crisnejas entre las localidades de Pampa de la culebra y Polloc – La Encañada, realizado el levantamiento de columna LitoBioestratigráfica a escala local 1/1400, reconociéndose dos unidades litoestratigráficas del piso al techo como Formación Chulec y Formación Pariatambo, concluyendo que la unidad LitoBioestratigráfica de la Formación Chulec está caracterizado por facies de calizas packstone y margas fosilíferas de la clase bivalvia *Nucula turgida*; la Formación Pariatambo, por calizas mudstone y wackstone fosilíferas con horizontes de arcillita y limolita; los fósiles pertenece a la clase cephalopoda *Oxitropidoceras carbonarium* (Benavides, 1956), siendo esté el fósil guía de dicha Formación.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Estratigrafía

La Estratigrafía es 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. Corrales et al. (1977) la definieron 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. Hedberg (1980) precisa que: 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 (Vera, 1994).

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, determina que los estratos en el momento de su depósito son horizontales y paralelos a la superficie de depósito (horizontalidad original) y que quedan delimitados por dos planos que muestran continuidad lateral. Los estudios recientes sobre la geometría de los estratos tanto en el campo como, especialmente, por técnicas del subsuelo permite conocer excepciones a este principio en las que los estratos se disponen paralelos a las superficies de depósito, pero no necesariamente horizontales, sino con una ligera inclinación original. La aplicación de este principio ha llevado a la idea actual que considera como isócronas a las superficies de estratificación (Vera, 1994).

2.2.2.2. Principio de la superposición

Planteado por primera vez por Steno y desarrollado por Lehmann establece que en una sucesión de estratos los más bajos son los más antiguos y los más altos los más modernos. El principio es básico para la ordenación temporal de los estratos (o conjuntos de estratos) subhorizontales y se puede aplicar a los materiales estratificados en los que la deformación tectónica posterior a su depósito no implique la inversión de estratos. Existen algunas excepciones donde no se cumple el principio, siempre ligadas a discontinuidades que impliquen etapas de erosión de materiales previos, de manera que los sedimentos nuevos se depositen en cavidades excavadas en el seno de los otros (p.ej. cuevas). En la actualidad, este

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

2.2.2.3. Principio del uniformismo o actualismo

Emitido por Hutton y desarrollado más ampliamente por Lyell, dice que los procesos que han tenido lugar a lo largo de la historia de la Tierra han sido uniformes (uniformismo) y semejantes a los actuales (actualismo). El desarrollo de la teoría originaria lleva a su correcta aplicación como método de trabajo con algunas ligeras correcciones. Una primera es considerar que los procesos no son totalmente uniformes, sino que han cambiado en el ritmo e intensidad, y además en ellos hay un factor no repetible como es los organismos que han ido cambiando de manera lineal (no cíclica) de acuerdo con las pautas establecidas en la teoría de la evolución. La frase originaria con la que se simplifica este principio el presente es la clave del pasado ha sido parafraseada por Matthews (1974) diciendo el Cuaternario es la clave del pasado (Vera, 1994).

2.2.2.4. Principio de la sucesión faunística o de la correlación

Emitido, por Smith, y desarrollado por Cuvier, constituye la base de la datación relativa de los materiales estratificados. Consiste en admitir que en cada intervalo de tiempo de la historia geológica (representado por un conjunto de estratos o por formaciones), los organismos que vivieron y, que por tanto pudieron fosilizar, fueron diferentes y no repetibles. Este principio permite establecer correlaciones (comparaciones en el tiempo) entre materiales de una misma edad de contextos geográficos muy distantes ya que muchos de los organismos tenían una extensión horizontal prácticamente mundial (Vera, 1994).

2.2.2.5. Principio de la simultaneidad de eventos

Se basa en la doctrina del catastrofismo actualista (Hsü, 1983; Vera, 1990) o nuevo uniformismo (Berggren y Van Couvering, 1984; Ager, 1993). Consiste en aceptar que en la naturaleza ocurrieron en tiempos pasados fenómenos normales como los que vemos en la actualidad, pero además otros raros y eventuales (eventos) que mayoritariamente coinciden con las grandes catástrofes. Estos eventos pueden

quedar reflejados en los estratos de muy diferentes localidades y constituyen un excelente criterio de correlación, a veces a escala mundial (Vera, 1994).

2.2.3. La estratificación

2.2.3.1. Estratificación y laminación

La estratificación es la disposición en estratos de los sedimentos, rocas sedimentarias y algunas rocas metamórficas. Al basarse la definición en la de estrato, el término estratificación se refiere tanto al aspecto geométrico (dispositivo en capas sucesivas) como al genético (intervalos sucesivos de sedimentación).

Las superficies de estratificación en muchos afloramientos se observan con mayor claridad especialmente cuando existen diferencias litológicas marcadas entre capas sucesivas y cuando la erosión moderna ataca preferentemente a los materiales más blandos o más solubles.

La laminación se puede definir como la disposición sucesiva de láminas dentro de un estrato (Corrales et al., 1977). La laminación ha sido frecuentemente considerada como una estructura de ordenamiento interno dentro de los estratos, distinguiéndose dos tipos fundamentales: laminación paralela y laminación cruzada, aunque existen otros tipos minoritarios (ondulada, contorsionada) (Vera, 1994).

2.2.3.2. Tipos de superficies de estratificación

Las superficies de estratificación en muchos afloramientos se observan con mayor claridad especialmente cuando existen diferencias litológicas marcadas entre capas sucesivas y cuando la erosión moderna ataca preferentemente a los materiales más blandos o más solubles (Vera, 1994).

Según Vera (1994), las superficies de estratificación pueden ser netas o difusas. Las superficies netas en unos casos separan materiales con la misma litología encima y debajo, mientras que en otros casos separan estratos con diferente litología. En los contactos difusos existe una franja paralela a la superficie de estratificación en la que tiene lugar el cambio gradual entre los dos términos litológicos o texturales. En la naturaleza son muy frecuentes los estratos con muros netos y los techos difusos.

Desde un punto de vista geométrico se pueden diferenciar, con cierta facilidad, varios tipos de superficies de estratificación:

- a) superficies con estructuras de corrientes.
- b) superficies con pistas de organismos.
- c) superficies con estructuras de carga.
- d) superficies onduladas como en el caso de techos de estratos con estructuras de ripples.
- e) superficies bio-turbadas afectadas por la acción de organismos que destruyen parcialmente la estructura interna del estrato.
- f) superficies nodulosas con una disposición en grumos o nódulos, especialmente visible en el techo de ciertos bancos calizos.

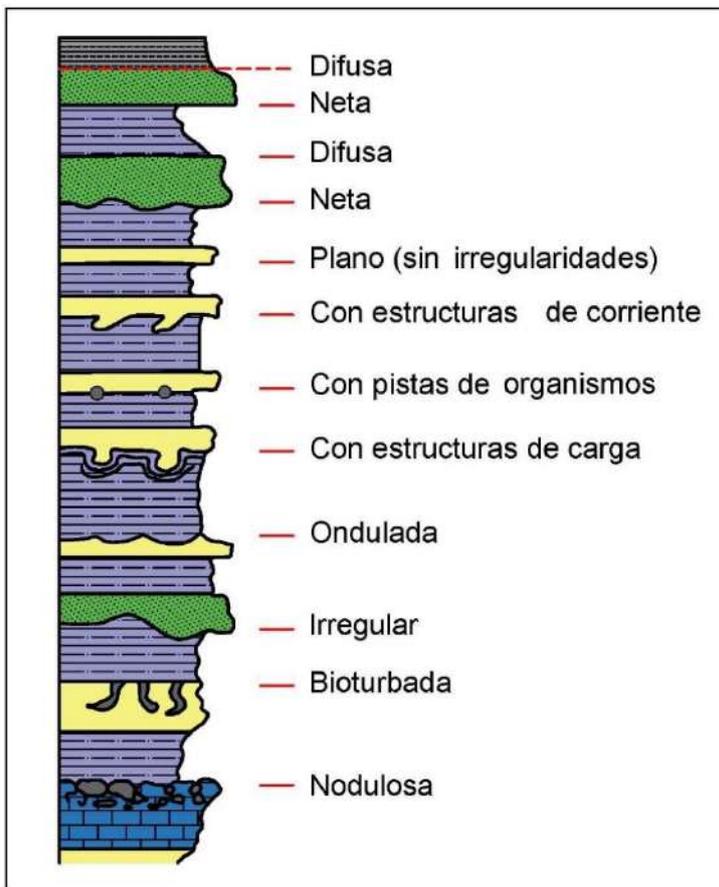


Figura 1: Tipos de superficies de estratificación que se pueden observar en el campo. (Vera, 1994).

2.2.3.3. Tipos de estratificación

Según Vera (1994), señala que, aunque existen diversos criterios para sistematizar los distintos tipos de estratificación, los más útiles se basan, esencialmente, en dos

aspectos fundamentales: la geometría de los estratos individuales y las características de las asociaciones de estratos o conjuntos de estratos.

2.2.4. Geometría de los estratos

Según Vera (1994) considerando los estratos individualmente se puede establecer una clasificación de tipos geométricos a partir de la geometría del techo y del muro:

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

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

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

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

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

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

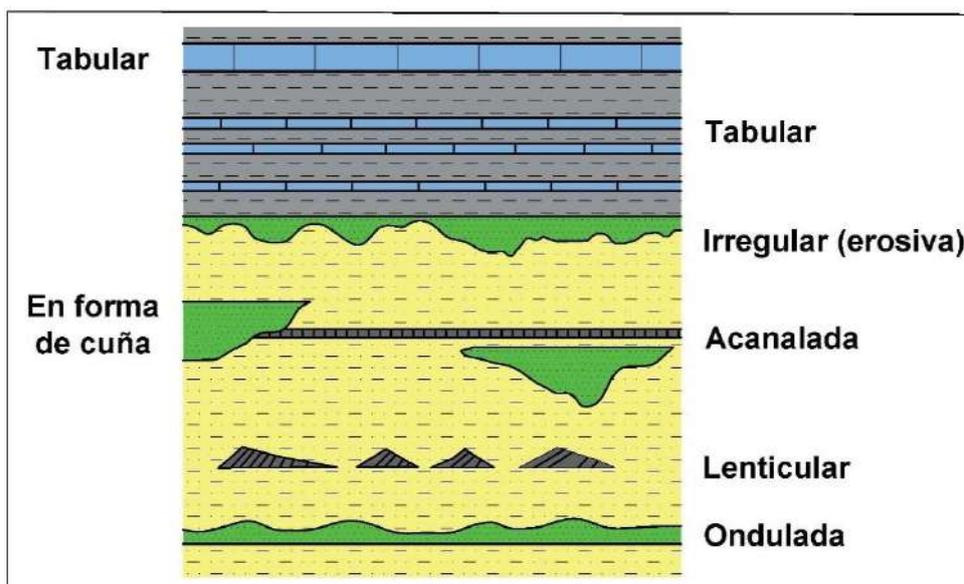


Figura 2: Tipos más simples de geometrías de estratos de acuerdo con su continuidad, forma de las superficies de estratificación y variación lateral de espesor (Vera, 1994).

2.2.5. Asociación de estratos

Vera (1994) indica que cuando se estudian conjuntos de estratos, se pueden realizar diversos tipos de clasificaciones basadas en criterios descriptivos, pero que a su vez representan diferentes tipos de génesis. En la figura siguiente se recogen las diversas posibilidades de ordenación.

Una primera clasificación se basa en considerar la ordenación de espesores individuales en el conjunto de estratos sucesivos:

Uniforme: Espesor análogo de todos los estratos, con un valor muy cercano a la media estadística de todos los espesores.

Aleatoria: El espesor de los estratos es muy variable, sin ordenación definida.

Estratocreciente: Ordenación de estratos con valores de espesores crecientes hacia el techo (similar al concepto de secuencia negativa de Lombard).

Estratodecreciente: Ordenación inversa a la anterior, con disminución de espesor de estratos hacia el techo (equivalente a la secuencia positiva de Lombard).

En haces: Los espesores se distribuyen por conjuntos de estratos, uniformes dentro de cada conjunto y diferentes entre conjuntos.

Otro tipo de clasificación estaría basado en la litología de los estratos que se superponen:

Homogénea: Estratos sucesivos de la misma naturaleza.

Heterogénea: Sin ordenación, los cambios son desordenados.

Rítmica: Alternancia ordenada de dos tipos de litologías.

Cíclica: El conjunto que se repite es de más de dos litologías.

Al relacionar los dos criterios anteriores: espesor-litología de los estratos, se obtienen datos muy valiosos para la interpretación genética de las asociaciones de estratos. Así si además de aumentar el espesor de estratos hacia el techo (estratocreciente) aumenta de forma similar el tamaño de grano (granocreciente), podemos deducir un aumento de energía en el medio. En el caso de ordenaciones rítmicas y cíclicas, en las que se pasa lateralmente de un término a (mayor energía o tamaño de grano), a otro b (energía media) y finalmente al c (energía mínima), el análisis de la abundancia relativa de los diferentes tipos de estratos y su variación

lateral, proporciona datos sobre las condiciones de depósito y su situación dentro de la cuenca sedimentaria.

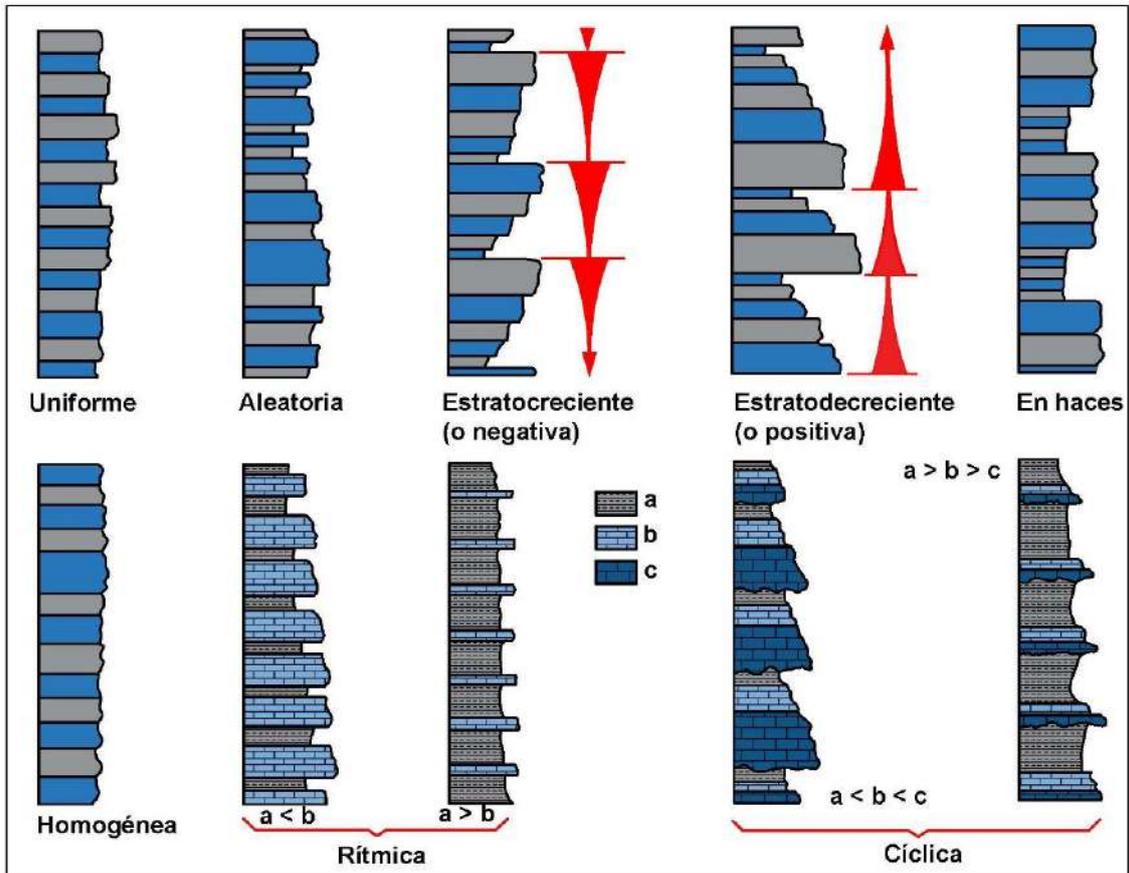


Figura 3: Tipos de asociaciones de estratos de acuerdo con la distribución de los espesores y de las litologías presentes (explicación en el texto). Los términos a,b y c corresponden a tres tipos litológicos, en los que a sería el término de mayor tamaño de grano (en rocas detríticas) o de mayor energía (en rocas carbonatadas). (Vera, 1994).

2.2.6. Facies

El término original fue definido por Gressly en 1838, como: conjunto de características litológicas y faunísticas de una unidad estratigráfica que permite distinguirla de las adyacentes.

Por tanto, de acuerdo con Selley (1970), definiremos una facie como un conjunto de rocas sedimentarias que puede ser definido y separado de otros por su geometría, litología, estructuras sedimentarias, distribución de paleocorrientes y fósiles (Arche, 2010).

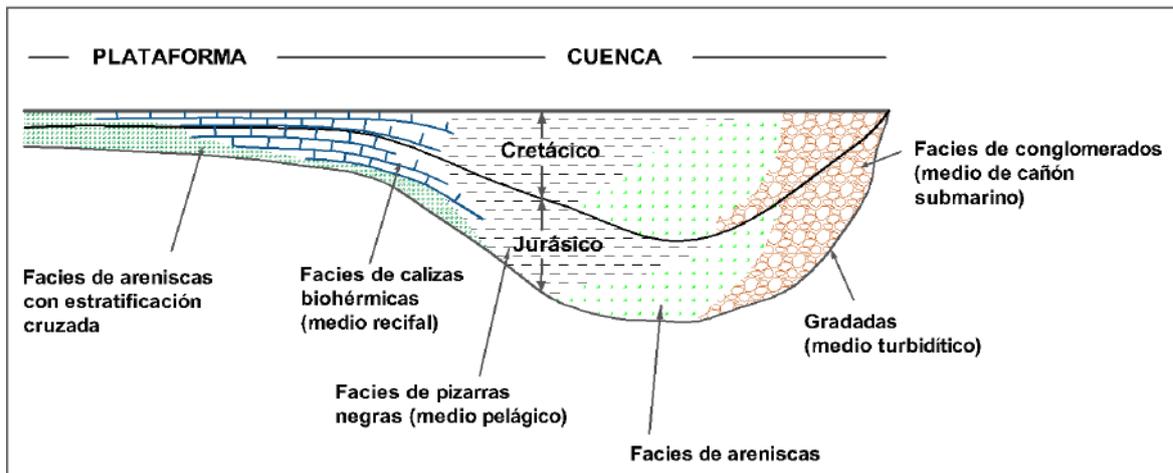


Figura 4: Relación entre medio, proceso, facies y tiempo en una cuenca sedimentaria teórica. Modificado de Selley, 1976 (Arche, 2010).

2.2.6.1. Tipos de facies

Dado que son diversos los aspectos monográficos que se pueden observar en las rocas (o conjuntos de rocas) se puede hablar de varios tipos de facies. Se usan términos restrictivos del tipo de propiedades (litofacies y biofacies) o de la escala de observación (microfacies) (Vera, 1994).

2.2.6.1.1. Litofacies

El término litofacies 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 (Vera, 1994).

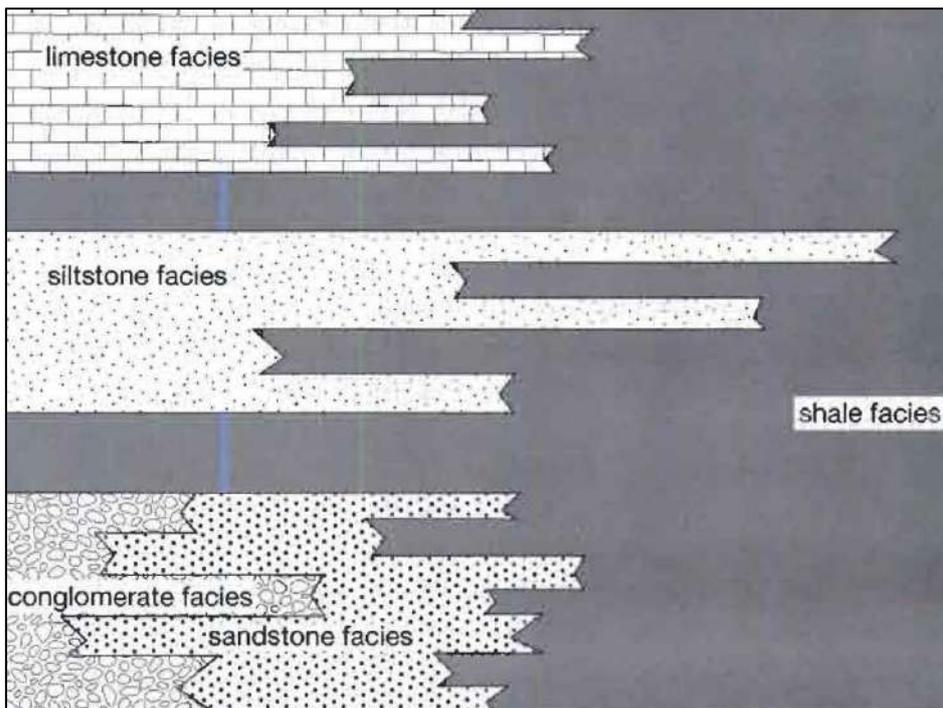


Figura 5: Representación esquemática simplificada de litofacies. Nota que una facies puede cambiar en otro lateral o verticalmente (Boggs, 2006).

2.2.6.1.2. Biofacies

El término biofacies se refiere a los aspectos paleontológicos (no los litológicos) y a las condiciones biológicas reinantes durante el depósito. Ejemplos de biofacies pueden ser facies de gasterópodos, facies de carófitas, facies de radiolarios (Vera, 1994).

2.2.6.2. Asociación de facies

Según Vera (1994), Se llama asociación de facies a la distribución ordenada de varias facies elementales, genéticamente relacionadas. Una asociación de facies debe cumplir dos condiciones: 1) Que se trate de facies que se encuentren juntas, y 2) Que estén genéticamente (ambientalmente) relacionadas entre sí. Al estudiar secciones estratigráficas detalladas, las asociaciones de facies se reconocen a partir de su expresión vertical, a la que se llama secuencia de facies o secuencia elemental, la cual consiste en un módulo formado por la superposición vertical de dos o más facies genéticamente relacionadas que se repite periódicamente.

2.2.6.3. Distribución areal y temporal de las facies

Toda facies determinada tiene unos límites definidos, en el espacio (arealmente) y en el tiempo (cronoestratigráficamente) cuyas dimensiones pueden ser extraordinariamente diferentes de unos casos a otros. Arealmente los límites de una litofacies son los límites del litotopo y los de las biofacies los del biotopo, los cuales presentan extensiones muy variables; en definitiva, la extensión areal de unas facies viene regulada por la superficie que ocupase el sector del medio sedimentario, con características homogéneas, en el que tuvo lugar su depósito (Vera, 1994).

Cambios laterales de facies

Son aquellos que ocurren entre dos facies comprendidas entre dos líneas isócronas y por tanto marcan el paso de una facies a otra coetánea. La superficie de cambio es perpendicular a las superficies deposicionales (Vera, 1994).

Cambios verticales de facies

Son aquellos que separan dos facies depositadas en intervalos de tiempo sucesivos y en las que su límite es una superficie deposicional (Vera, 1994).

Cambios oblicuos de facies

Son aquellos en los que tienen lugar, simultáneamente cambios de facies laterales y verticales, de manera que hay una banda que en su conjunto es oblicua a las líneas isócronas, en la que tiene lugar el paso de una facies a otras (Vera, 1994).

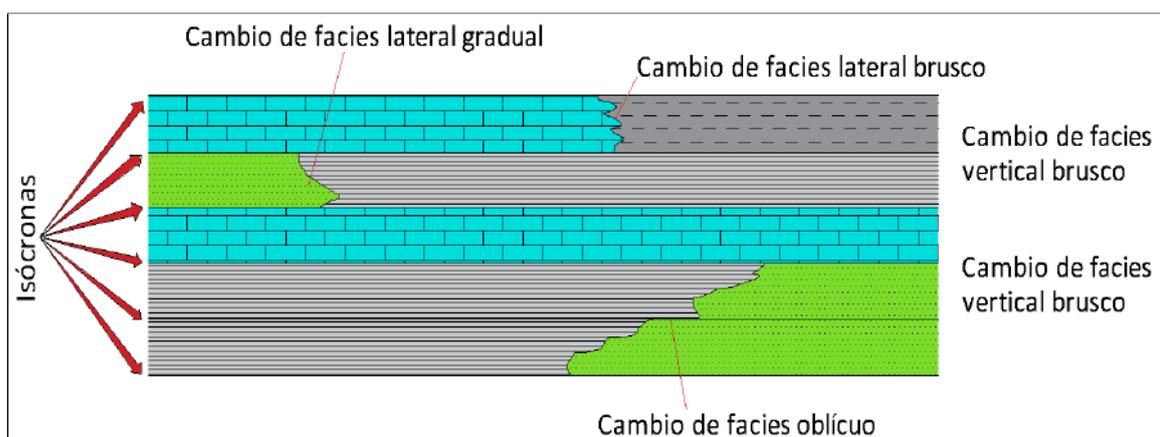


Figura 6: Tipos de cambios de facies (Vera, 1994).

2.2.6.4. La ley o regla de Walther

La Ley de Walther, es el fundamento del análisis de facies: Las facies que se encuentran en una sucesión vertical continua se formaron en medios adyacentes lateralmente y las facies que están en contacto normal en la vertical deben proceder de medios adyacentes lateralmente. Podemos predecir la sucesión que vamos a encontrar en un sondeo si conocemos la extensión geográfica de los productos de los medios y procesos de la región (Arche, 2010).

Por su parte (Vera, 1994) señala que la ley de Walther es una expresión del concepto general de polaridad sedimentaria antes aludido y se refiere, exclusivamente, a las asociaciones de facies en las que no medien discontinuidades estratigráficas y para materiales dentro de una misma región y genéticamente relacionados. Plantea que en esas condiciones con gran frecuencia las facies que se encuentran superpuestas se encuentran también yuxtapuestas con la misma ordenación.

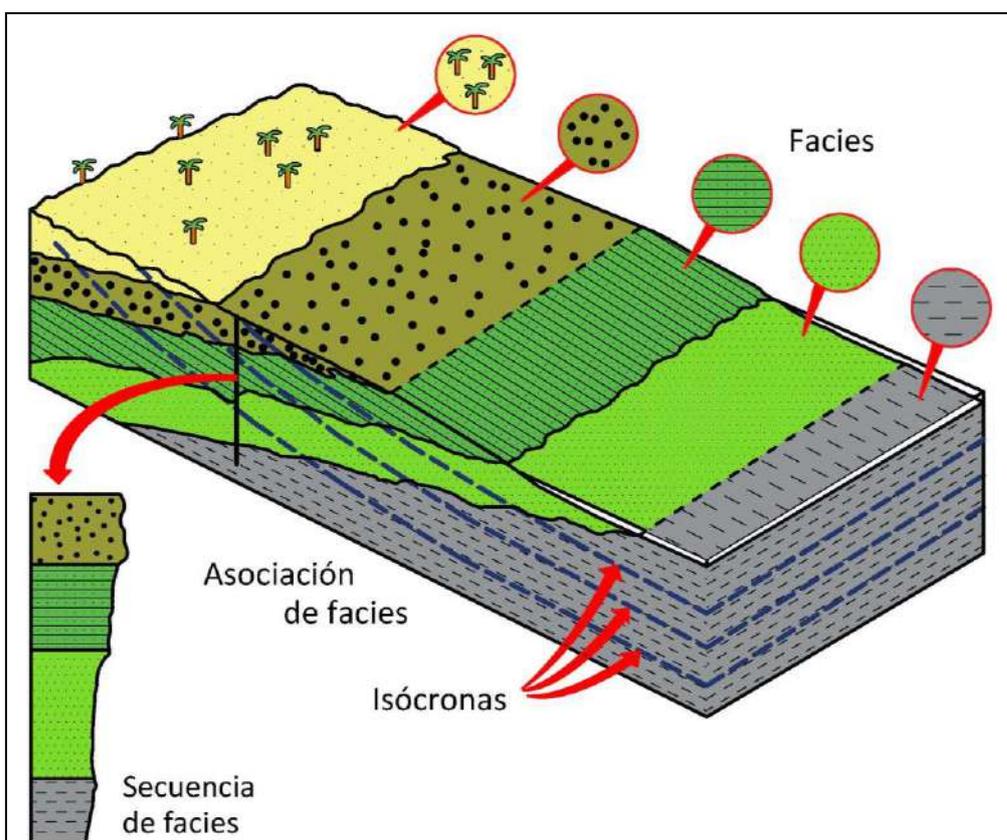


Figura 7: Gráfico tridimensional en el que se muestra un ejemplo de la aplicación de la Ley de Walther (Vera, 1994)

2.2.7. Litoestratigrafía

El aspecto más importante del estudio estratigráfico es el reconocimiento, la subdivisión y la correlación (establecer la equivalencia) de las rocas sedimentarias sobre la base de su litología, es decir, la litoestratigrafía.

La litoestratigrafía se ocupa del estudio de las relaciones estratigráficas entre estratos que pueden identificarse sobre la base de la litología (Boggs, 2006).

2.2.7.1. Definición de unidades litoestratigráficas

De acuerdo con la Guía Estratigráfica Internacional (GEI, 1980) se define como unidad litoestratigráfica a un conjunto de estratos que constituyen una unidad, por estar compuesto predominantemente por un cierto tipo litológico o de una combinación de tipos litológicos, o por poseer otras características litológicas importantes en común, que sirvan para agrupar los estratos. Una unidad litoestratigráfica es, por tanto, un volumen reconocible de rocas, y diferenciable de los volúmenes que le rodean, por su litología.

El Código de Nomenclatura Estratigráfica (CNE, 1961) y la Guía Estratigráfica Internacional (GEI, 1980) establecen como unidad fundamental dentro de las unidades litoestratigráficas formales a la formación. Se define como un conjunto de estratos de rango intermedio en la jerarquía de las unidades litoestratigráficas formales. Cuando en una formación se puedan diferenciar dos o más partes, atendiendo a sus litofacies, se pueden establecer unidades litoestratigráficas de rango menor, las cuales reciben el nombre de miembros.

Finalmente, dentro de una formación o en su caso de un miembro se pueden delimitar unidades litoestratigráficas de rango menor a las que se llama *capas*. Este término se aplica a estratos cuyo espesor puede variar desde un centímetro hasta pocos metros con características litológicas muy peculiares, fácilmente diferenciables (Vera, 1994).

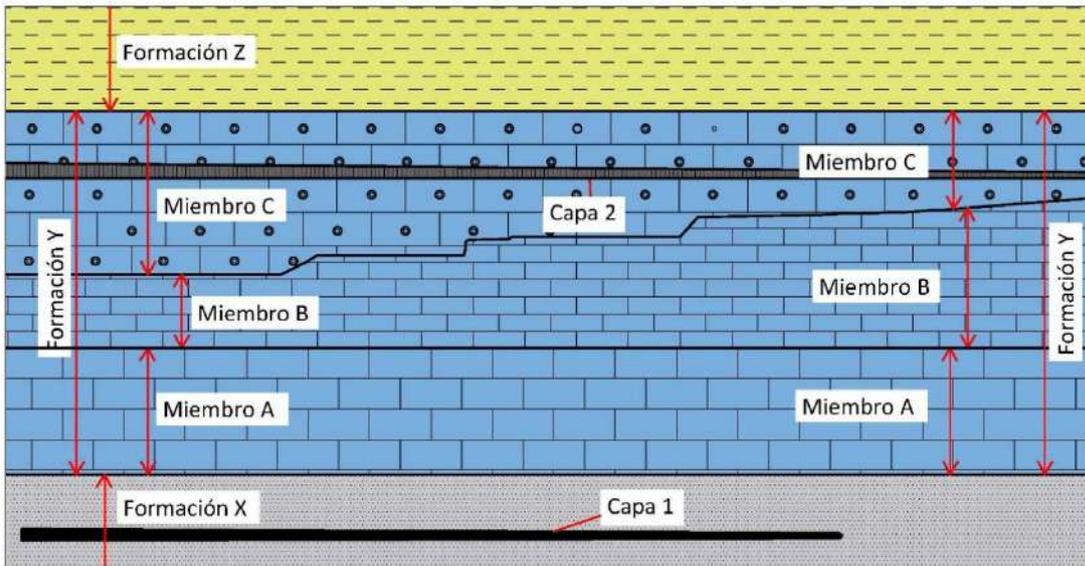


Figura 8: Gráfico en el que se muestran los rangos de unidades litoestratigráficas. Se representan tres formaciones (X, Y, Z) y en una de ellas (Formación Y) se diferencian tres miembros (A, B, C). Se muestran dos ejemplos de capa: la capa 1 es una unidad litoestratigráfica de rango menor diferenciada directamente dentro de una formación, mientras que la capa 2 es una unidad, del menor rango, dentro de un miembro (Vera, 1994).

2.2.7.2. Reconocimiento de las unidades litoestratigráficas

El método de estudio más elemental, pero también el más importante, es el de la observación directa en el campo de las características de los materiales estratificados. Las primeras observaciones consisten en el reconocimiento de los diferentes tipos de rocas que afloran en una región y de su posición relativa (ordenamiento lateral y vertical).

El orden habitual de obtención de datos sobre la ordenación de las rocas estratificadas es el siguiente:

1. Estudio de la sucesión estratigráfica de un afloramiento, que implica la ordenación de los materiales mediante la aplicación del principio de la superposición.
2. Estudio de afloramientos cercanos que permitan ver si los materiales mantienen sus características litológicas y geométricas o por el contrario ocurren cambios laterales.

A partir de estas observaciones se pueden delimitar las unidades litoestratigráficas, que son conjuntos de estratos con características afines y diferenciables de los conjuntos de estratos infrayacentes y suprayacentes. En cada una de las unidades

interesa conocer con detalle las características de sus materiales (litología, color, texturas, estructuras sedimentarias, propiedades de la estratificación, contenido fosilífero, etc.), geometría (especialmente sus espesores) y su distribución espacial o cartográfica (Vera, 1994).

2.2.7.2.1. Reconocimiento de litología textura

En el campo los diferentes tipos de rocas se reconocen por comparación visual, generalmente con la ayuda de una lupa, con las rocas sedimentarias ya conocidas. En el área donde se desarrollará la presente tesis se encuentran rocas carbonatadas por lo que más adelante se verá su clasificación (Vera, 1994).

2.2.7.2.2. Reconocimiento de las características de la estratificación

En cada unidad litoestratigráfica, el primer aspecto que se considera es si se trata de un material homogéneo o de uno formado por varios términos litológicos o texturales que se repiten ordenadamente. En todos los casos interesa conocer las características de las superficies de estratificación que pueden ser erosivas o no, planas o irregulares, graduales o bruscas, etc. Igualmente hay que estudiar la geometría de los estratos diferenciando los tabulares, los lenticulares, los irregulares (Vera, 1994).

2.2.7.2.3. Reconocimiento de estructuras sedimentarias

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

Las estructuras sedimentarias pueden dividirse en tres categorías: pre-, sin- y postsedimentarias (Arche, 2010).

A. Estructuras presedimentarias

Las estructuras presedimentarias se forman en el basamento antes de que se depositen los sedimentos. Por tanto, son siempre erosivas, y no deben confundirse con procesos post-depósito que deforman la base de la capa, como los moldes de carga (load-casts). Entre otras son los canales, marcas de escurridura (scour marks) y turboglifos (flute marks). Suelen observarse mucho mejor los moldes en

la capa superior que las estructuras en sí mismas y dan buenas indicaciones sobre la dirección y/o el sentido de las corrientes que las originaron.

También se pueden considerar incluidas en este grupo las superficies marinas de omisión (hardgrounds) o las superficies subaéreas con grietas de desecación y/o brechas autogénicas (Arche, 2010).

B. Estructuras sinsedimentarias

Las estructuras sin-sedimentarias son de tres tipos fundamentales: estratificación planar, estratificación cruzada, con sus variedades de surco y planar, y microlaminación de ripples.

Cuando un sedimento granular se ve sometido a una corriente de velocidad ascendente, desarrolla configuraciones externas que se reflejan en una estructura interna con una secuencia regular: ripples o capas planas, dunas, capas planas de alta energía y antidunas. Hay que destacar que la aparición o desaparición de cada tipo no está ligada a una velocidad única, sino que depende de la granulometría del sedimento y de la profundidad del agua (Arche, 2010).

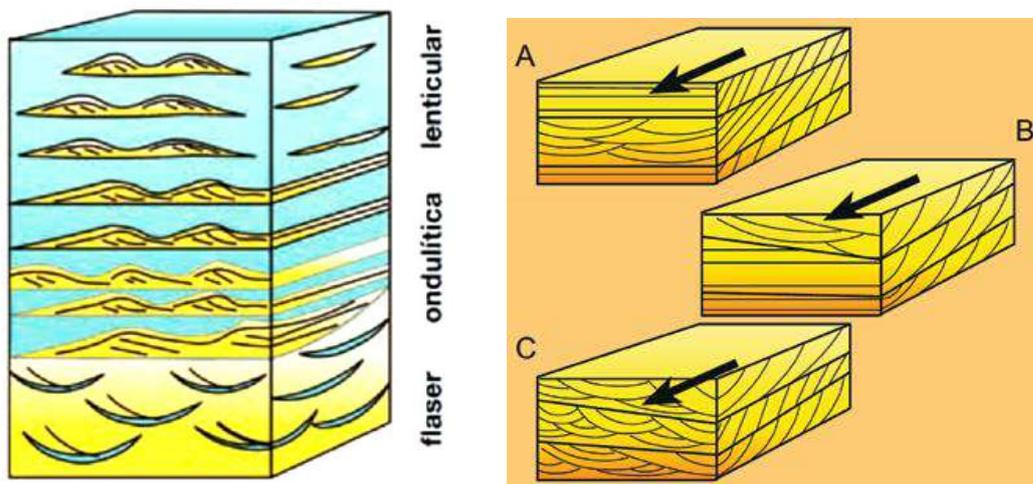


Figura 9: Izquierda: Esquema mostrando estratificación mixta, integrada por laminación flaser, ondulítica y lenticular. Derecha: A. Esquema mostrando laminación o estratificación entrecruzada tabular planar en dirección longitudinal al flujo. B. Laminación/estratificación entrecruzada tangencial en dirección longitudinal al flujo. C. Laminación/estratificación entrecruzada en artesas en dirección transversal al flujo (Ponce, Carmona, & Montagna, 2018).

C. Estructuras postsedimentarias

Se pueden dividir en dos grupos:

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

Las que significan una reorganización horizontal de la estratificación, como los pliegues recumbentes y fallas penecontemporáneas causadas por un deslizamiento a favor de la paleopendiente. Ninguno de los dos grupos tiene significado ambiental.

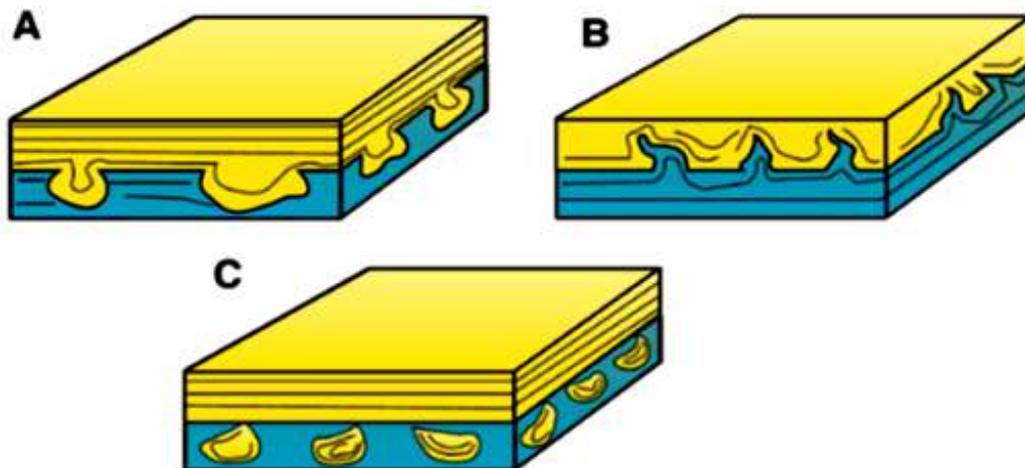


Figura 10: Esquemas que muestran los diferentes tipos de estructuras de calcos de carga y en almohadilla. **A.** Calco de carga producido cuando la viscosidad entre los estratos es similar. **B.** Calco de carga producido cuando la viscosidad entre capas es diferente (flame). **C.** Estructuras en almohadilla generadas cuando existe ruptura de estratos (Ponce, Carmona, & Montagna, 2018).

Debe destacarse que ningún tipo de estructura sedimentaria es exclusivo de un medio, por lo que deben emplearse en conjunto con otros criterios en la interpretación sedimentológica (Arche, 2010).

2.2.7.3. Forma de las unidades litoestratigráficas

2.2.7.3.1. Geometrías deducidas a partir de datos de campo

Según Vera (1994) las unidades litoestratigráficas observadas en el campo presentan geometrías muy variadas. Para reconstruir la geometría de la unidad es

necesario disponer de cortes con grandes dimensiones y buenas condiciones de observación. En el caso de unidades con gran continuidad lateral se tiene que recurrir a la correlación (comparación con otras secciones estratigráficas) para ampliar el ámbito de información y a partir de los datos de cada sección (espesor y naturaleza del techo y muro) deducir la geometría de la unidad. No hay ninguna unidad litoestratigráfica con continuidad global, por lo que todas las unidades, incluidas éstas, terminan lateralmente, por acuñamiento o por cambio lateral.

Analizando las posibles geometrías, a partir de la información de numerosos casos reales, se pueden establecer los siguientes tipos:

A. Unidades con techo y muro planos y paralelos

Este tipo geométrico caracteriza unidades que mantienen su espesor en casi toda su extensión (imagen 14A). En función de la relación entre el espesor y la distancia máxima en la que se reconoce la unidad, Corrales et al. (1977) establecieron dos subtipos geométricos (laminares y tabulares) dentro de este tipo (Vera, 1994).

B. Unidades con techo plano y muro irregular

Se caracterizan por una manifiesta desigualdad geométrica entre techo y muro. El muro está marcado por un cambio brusco de facies, que implica erosión previa de los materiales infrayacentes (imagen 14B). El techo por el contrario es plano y presenta un cambio de facies gradual. En unidades litoestratigráficas de pequeño rango, este tipo de geometría es bastante frecuente en medios fluviales, en los que alternan periodos con depósito con otros erosivos (Vera, 1994).

C. Unidades con techo plano y muro convexo

Son las llamadas unidades lenticulares o semilenticulares que se caracterizan por tener una escasa continuidad lateral (imagen 14C). La relación entre la longitud y el espesor es inferior a 50 (Vera, 1994).

D. Unidades con variaciones laterales de espesor

Son aquellas unidades litoestratigráficas en las que lateralmente se tienen cambios notables de espesor y, más concretamente, en las que los espesores se dupliquen o tripliquen lateralmente. Un primer tipo son las unidades con forma de cuña es las que se observa un cambio lateral de espesor gradual, de manera que aumenta en

un sentido y disminuye en el otro (imagen 14D). Un segundo tipo son las unidades con formas irregulares en las que la potencia varía de unos puntos a otros. Difieren de las de muro irregular, antes descritas, en el hecho de que en éstas el muro aparece como no erosivo (imagen 14E) (Vera, 1994).

E. Unidades con formas especiales

Se incluyen aquí todas las unidades litoestratigráficas observadas en el campo cuya geometría responde a formas especiales reconocibles. Un primer tipo, muy simple, es el de las unidades de relleno de un paleocanal, que se caracterizan por su escasa continuidad lateral en sección transversal, por un muro claramente erosivo, con importantes cambios de espesor y un relleno detrítico (imagen 14F). Un segundo tipo son las unidades con forma de montículo, con muro plano y techo convexo (imagen 14G) propias de crecimientos orgánicos (arrecifales). Un tercer tipo son las unidades con forma de abanico (imagen 14H), las cuales son fácilmente reconocibles en unidades de pequeño tamaño (decamétricas) y mucho más difíciles de reconocer cuando son de grandes dimensiones (kilométricas) (Vera, 1994).

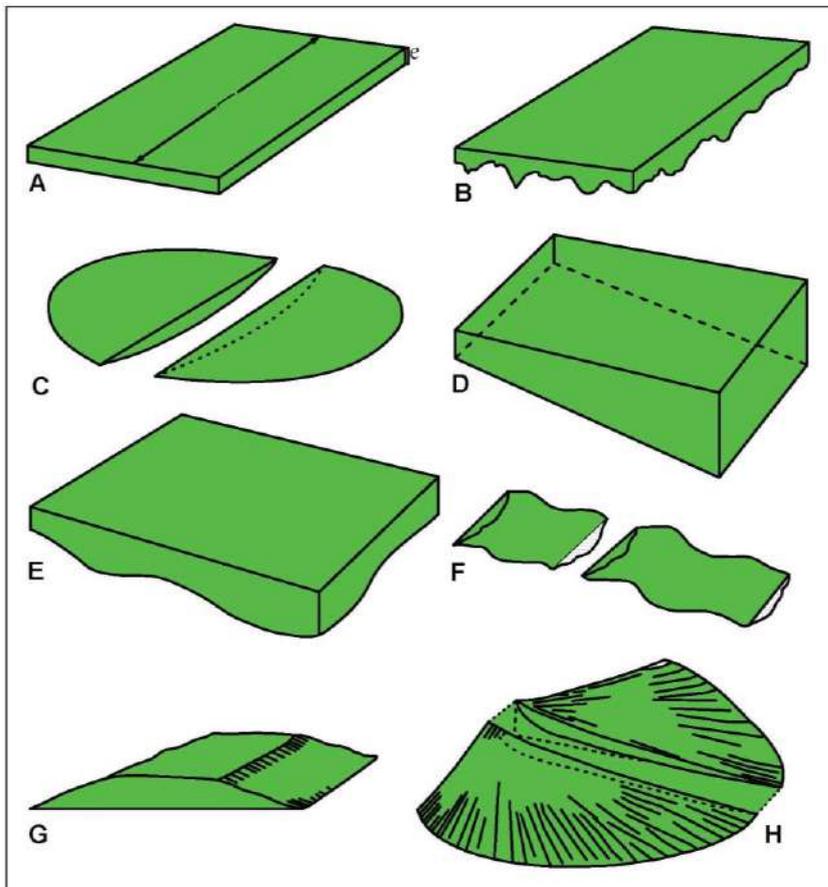


Figura 11: Formas de las unidades litoestratigráficas, deducidas a partir de datos de campo. Explicación en el texto (Vera, 1994).

2.2.7.4. Relaciones laterales de las unidades litoestratigráficas

Toda unidad litoestratigráfica lateralmente o desaparece o cambia a otra. Una de las maneras más simples de desaparición lateral de una unidad ocurre cuando su límite es una falla sin-sedimentaria que limita un sector con subsidencia y depósito de otro que no la tiene, de manera que la unidad litoestratigráfica termina lateralmente de manera brusca, con una superficie plana, coincidente con la de la falla. En los demás casos, cuando no haya límites de fallas sin-sedimentarias, las relaciones laterales son geoméricamente menos bruscas y en ellas se pueden diferenciar varios tipos que se describen a continuación (Vera, 1994).

2.2.8.4.1. Acuñaamiento

Con este nombre se denomina a la finalización lateral de una unidad litoestratigráfica por pérdida progresiva de espesor hasta su desaparición total.

Este tipo de relación lateral se produce en los bordes de un medio sedimentario que lateralmente cambia a un medio no depositacional. Son frecuentes en los bordes de cuencas sedimentarias, aunque también abunda dentro de cuenca en los límites de sectores con y sin depósito. Los materiales que constituyen la unidad litoestratigráfica que se acuña no tienen equivalente lateral coetáneo, porque en el área adyacente no hubo depósito, o incluso erosión (Vera, 1994).

2.2.8.4.2. Indentación

Con este nombre se alude al cambio lateral entre dos unidades litoestratigráficas coetáneas, en el que se produce una interpenetración de una en la otra, mediando entre ellas un cambio de facies brusco. El nombre alude a la geometría usual, a manera de "dientes" de una unidad que penetran dentro de la otra. Este tipo de relación se da en el límite entre dos medios sedimentarios (o litotopos dentro de un mismo medio) cuya posición geográfica ha ido cambiando a lo largo del tiempo (Vera, 1994).

2.2.8.4.3. Cambio lateral gradual

Se refiere al paso lateral de una unidad litoestratigráfica a otra de manera gradual, o sea, existiendo una franja con materiales con litofacies intermedias. Se puede hablar de cambios laterales que son perpendiculares a las líneas isócronas (líneas de la estratificación) o de cambios laterales que son oblicuos a dichas líneas. Este

segundo tipo es mucho más frecuente que el primero. Estos cambios laterales graduales se dan entre materiales de diferentes partes de un mismo medio sedimentario (litotopos), en los que se produce sedimentación simultáneamente con diferente litofacies, pero con límites no netos (Vera, 1994).

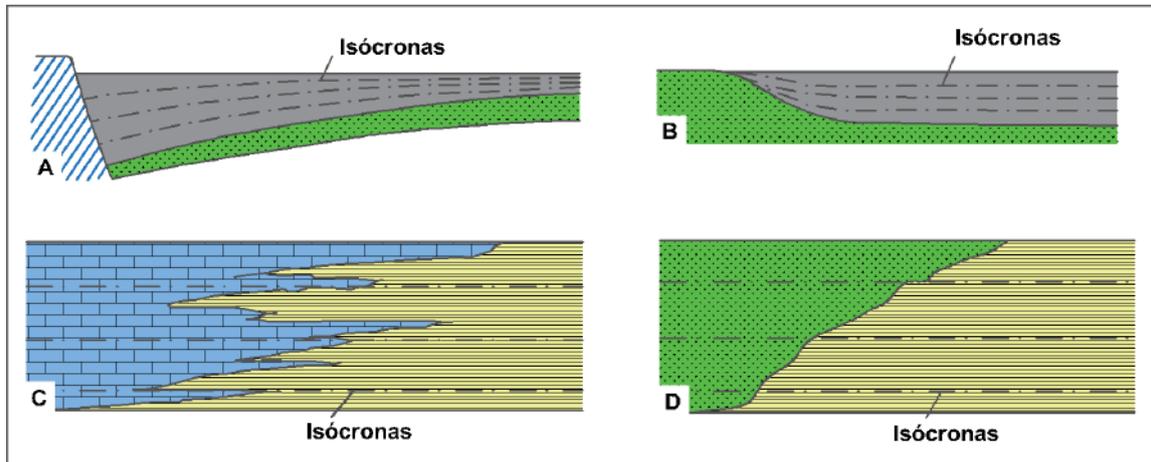


Figura 12: Relaciones laterales entre unidades litoestratigráficas. A.- Límite de una unidad por una falla sinsedimentaria. B.- Acuñaamiento. C- Indentación. D.- Cambio lateral de facies (Vera, 1994).

2.2.7.5. Relaciones verticales de las unidades litoestratigráficas

Las relaciones verticales entre dos unidades litoestratigráficas superpuestas quedan reflejadas en las características del techo de la unidad infrayacente y el muro de la suprayacente. Dos aspectos fundamentales son considerados en dicha relación: de una parte, las propias características geométricas de dicha superficie y de otra la relación geométrica de la estratificación por debajo y por encima de la misma (Vera, 1994).

Características de las superficies de separación

La superficie de separación entre dos unidades litoestratigráficas superpuestas puede presentar dos rasgos muy diferentes. De una parte, se puede tratar de un cambio brusco de litofacies, que separe materiales de litologías muy diferentes, y de otra de un cambio gradual que marque el paso progresivo de una litofacies a otra.

En los cambios bruscos de facies, coincidentes con límites de unidades litoestratigráficas superpuestas, la geometría de la superficie de separación entre ambas puede ser: plana (imagen 13A), erosiva (imagen 13B) y convexa (imagen 13C) (Vera, 1994).

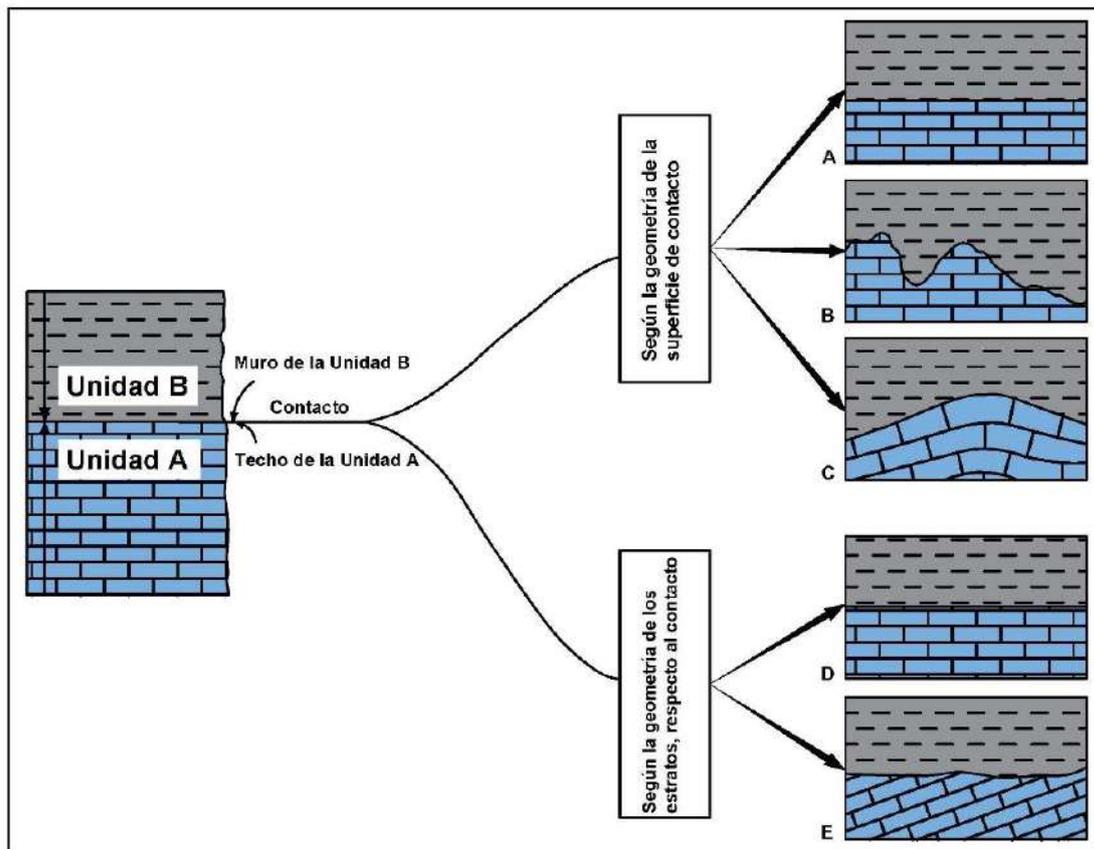


Figura 13: Relaciones verticales entre unidades litoestratigráficas (Vera, 1994)

2.2.8. Bioestratigrafía

2.2.8.1. Concepto de Bioestratigrafía

Se llama Bioestratigrafía a la parte de la Estratigrafía que trata de los restos o evidencias de vida pasada en los estratos y de la organización de estos estratos en unidades basadas en su contenido fósil (GEI, 1980).

La Bioestratigrafía es realmente una ciencia intermedia entre la propia Estratigrafía y la Paleontología que se ocupa de la distribución de los fósiles en el registro estratigráfico y de la subdivisión de los materiales estratificados en unidades bioestratigráficas (Vera, 1994).

2.2.8.2. Principio de la Sucesión Faunística

Deshayes en Francia (1830), Bronn en Alemania (1831) y Lyell en Inglaterra (1833), señalan que la evolución biológica es un proceso irrepetible, ya que cada especie que ha vivido en el pasado durante un intervalo de tiempo nunca vuelve a aparecer. Desarrollo de la sucesión biológica que realizó el geólogo William Smith que trabajo

en Gales (1800) y que sostuvo que cada periodo de la historia de la tierra tiene su particular registro fósil con ello concluyó que los organismos habían sufrido cambios (Boggs, 2006).

2.2.8.3. Concepto de zona

Oppel introdujo el concepto de zona en 1856 y concibió la idea de unidades de escala pequeña definidas por los rangos estratigráficos de especies de fósiles, no importando la litología de las capas que tienen los fósiles. Notó que los rangos verticales de algunas especies eran muy cortos; porque las especies existieron en un muy corto tiempo geológico; mientras otras eran notablemente largas, pero muchos eran de alguna longitud intermedia.

Descubrió que podía delinear los límites entre unidades de roca de pequeña escala y distinguir una sucesión de conjuntos únicos de fósiles. Cada uno de esos conjuntos, estaba limitado en su base por la aparición de nuevas especies distintivas y en su tope (eso es la base de la sección subsiguiente), por la aparición de nuevas especies. Eso es la yuxtaposición de rangos estratigráficos de las especies que hacen que el conjunto de fósiles tipifique una zona (Boggs, 2006).

2.2.8.4. Bases para la zonación bioestratigráfica, cambios en los organismos a través del tiempo

2.2.8.4.1. Evolución

Darwin anotó que todos los organismos tienen altas tasas reproductivas, aún poblaciones de esos organismos permanecen esencialmente constantes por largos periodos. Él explicó esta observación por sugerir que no todos los organismos de la misma clase (especies) están igualmente bien preparados para sobrevivir y además muchos individuos mueren antes de reproducirse. Cada individuo de una especie se diferencia de los otros individuos debido a variaciones que se producen dentro de un organismo por cambio. Algunas de esas variaciones de cambio pueden ser una ventaja para el organismo en relación con su ambiente y otras pueden ser desventaja. Variaciones adecuadas ayudan a los organismos a sobrevivir y extender su ambiente y rango.

Variaciones inadecuadas producen extinción. Darwin denominó este proceso selección natural. Además, él propuso que esas variaciones favorables son hereditarias y se pueden transmitir de una generación a otra.

La contribución fundamental de Darwin al entendimiento de la evolución fue reconocer que la selección natural era un proceso por el cual aparecen nuevas especies, debido a que esos individuos que sufren adaptaciones favorables tendrán un mejor chance de sobrevivir y reproducirse. Él no entendió como se producen esas variaciones o como esas huellas se pasaron de una generación de organismos a la próxima generación. El concepto de cambio espontáneo en los genes, que nosotros ahora llamamos mutaciones no se conocía en el tiempo que Darwin publicó su libro *El origen de las especies* en 1859 (Boggs, 2006).

2.2.8.4.2. Clasificación biológica linneana

La moderna clasificación biológica nació con los trabajos de Carlos Linneo (1753), quien agrupó a las especies de acuerdo con sus características físicas compartidas y normalizó su denominación.

La taxonomía de Linneo o taxonomía linneana clasifica a los seres vivos en diferentes niveles jerárquicos, comenzando originalmente por el de Reino. Hoy, se considera el Dominio como una jerarquía suprarreal, dada al reciente acuerdo de incluir también a Bacterias y a Arqueas. Los reinos se dividen en Filos o Phyla (en singular, Phylum) para los animales, y en Divisiones para plantas y otros organismos. Éstos se dividen en Clases, luego en Órdenes, Familias, Géneros y Especies.

La definición de especie afirma que son organismos cuya descendencia es fértil; esto es algo que, por supuesto, no podemos demostrar para el caso de un fósil (Herrera, 2012).

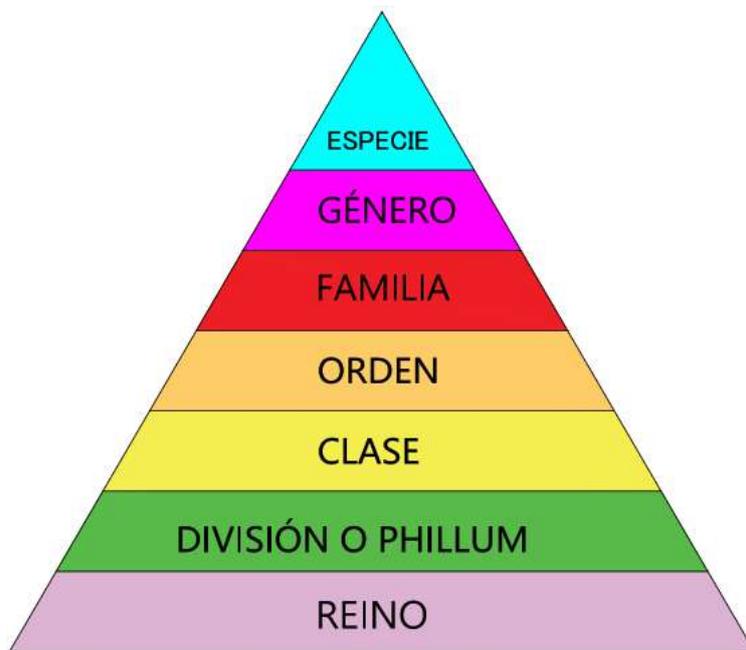


Figura 14: Sistema de clasificación biológica moderna (Linneo, 1753).

2.2.8.4.3. Fósiles y Estratigrafía

El estudio de los fósiles proporcionó información fundamental sobre la evolución de la vida en la Tierra. Los esqueletos y conchas de animales o restos de plantas que se encuentran como fósiles son una clara evidencia del hecho de que la naturaleza de los organismos que viven en el planeta ha cambiado a través del tiempo.

Algunos de estos fósiles se parecen a plantas o animales que viven en la actualidad y están evidentemente relacionados con formas de vida modernas, mientras que otros son diferentes. Los más espectaculares de estos fósiles tienden a capturar la imaginación con visiones de épocas pasadas cuando, por ejemplo, los dinosaurios ocupaban nichos ecológicos en la tierra, en el mar e incluso en el aire. Incluso los fósiles revelan los restos de animales acuáticos como los amonites y restos de plantas que no se parecen en nada a lo que vemos ahora que viven a nuestro alrededor (Nichols, 2009).

2.2.8.4.4. Fósiles característicos

Según Vera (1994), con el nombre de fósiles característicos (o fósiles índice, o fósiles guía) se denominan a los fósiles que pueden ser utilizados para delimitar intervalos de tiempo geológico relativamente cortos y que, por tanto, pueden usarse como criterio de correlación estratigráfica precisa.

Un fósil característico ideal debería cumplir, de acuerdo con Babin (1987) en (Vera, 1994) y otros muchos autores, las tres condiciones siguientes:

Que se trate de especies de evolución relativamente rápida con lo que cada especie sobrevive un intervalo de tiempo corto. La velocidad de la evolución de un grupo de fósiles se puede medir por la duración media de sus especies.

Que tenga una distribución geográfica muy amplia, si fuese posible ocupando toda la superficie de la Tierra. Este aspecto siempre tiene limitaciones, ya que' no existen organismos que se encuentren simultáneamente en materiales de medios marinos y continentales. Dentro de los medios marinos los mejores fósiles característicos son los organismos nadadores o flotadores que vivan en aguas de diferente temperatura. Dentro de los continentales los mejores serán los organismos menos exigentes en factores ecológicos, y que, por tanto, puedan vivir a distintas latitudes, altitudes y tipos de relieve.

Que tenga una abundancia suficiente en el seno de las rocas sedimentarias, lo que refleja una frecuencia inicial y unas condiciones propicias para la fosilización. De este modo la posibilidad de encontrarse es mayor. Los microfósiles y nanofósiles marinos son excelentes ejemplos de organismos abundantes, ya que se pueden encontrar con gran frecuencia en volúmenes reducidos de las rocas.

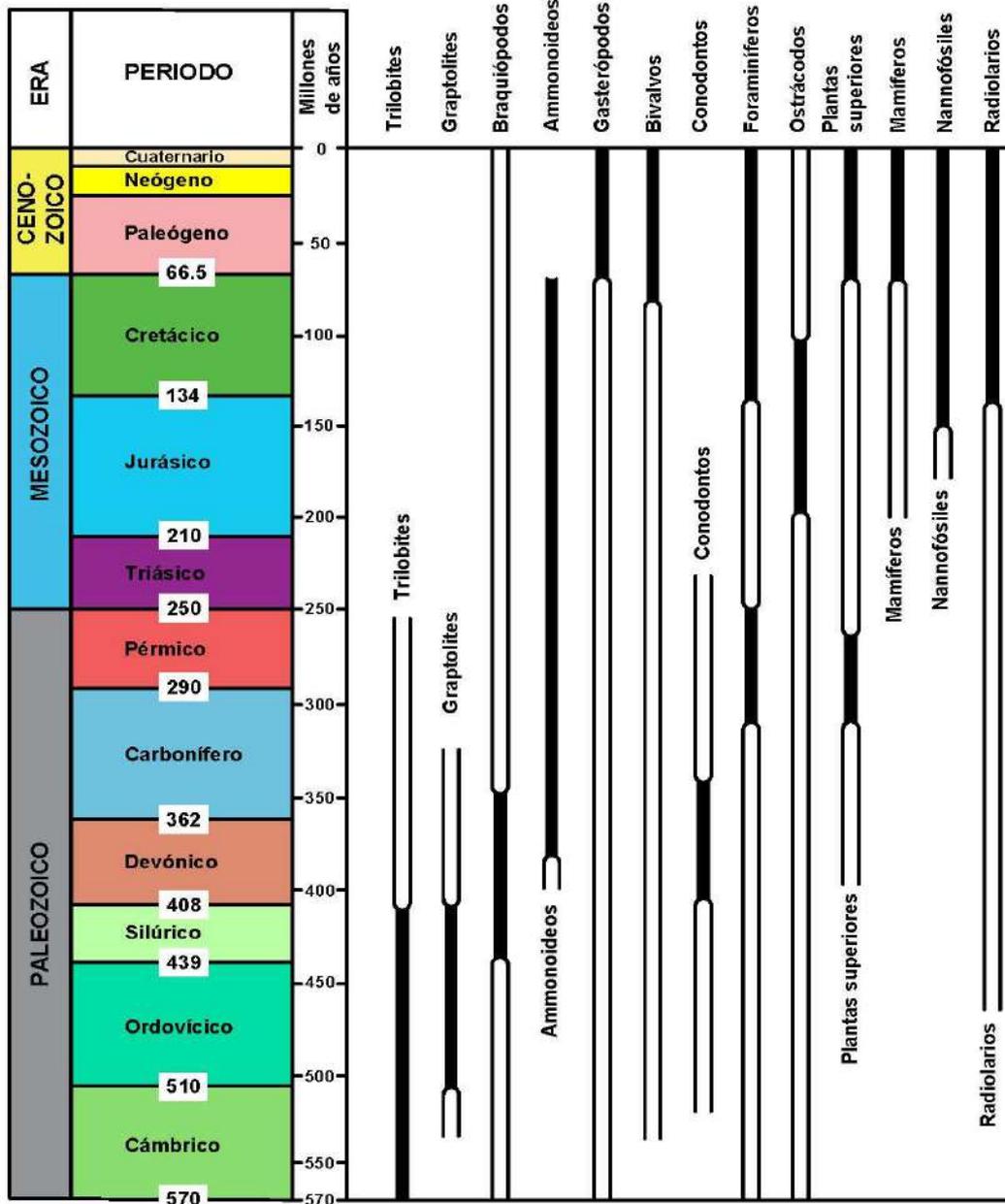


Figura 15: Tabla de la distribución de los fósiles característicos a lo largo del tiempo geológico, desde el Cámbrico hasta la actualidad. La parte en la que el sector comprendido entre las dos líneas está relleno de negro indica el intervalo de tiempo en el que suministran una información más precisa. En blanco (entre las dos líneas) se indican los intervalos en los que están presentes, pero suministrando una información menos valiosa. Elaborado a partir de diferentes fuentes (Vera, 1994).

2.2.8.4.5. Biohorizontes

En una sección estratigráfica cada fósil concreto aparece en un conjunto de estratos determinado (imagen 20), sin que esté presente por debajo de ellos ni vuelva a aparecer por encima. Las superficies estratigráficas que limitan la presencia de un

fósil determinado en la sección estratigráfica se llaman biohorizontes (abreviatura de horizontes bioestratigráficos). Para cada fósil se delimita un biohorizonte de primera aparición (BPA) que es la superficie de estratificación a partir de la cual aparece dicho fósil, y un biohorizonte de última presencia (BUP) que será la superficie de estratificación a partir de la cual (hacia términos más modernos) ya no está presente dicho fósil.

La distribución ideal de los fósiles sería aquella en la que el biohorizonte de primera aparición en una sección estratigráfica concreta representase el momento de tiempo geológico de la aparición de la especie en la superficie de la Tierra y que el biohorizonte de última presencia coincidiese con la desaparición de la citada especie. En la práctica puede ocurrir que la edad del biohorizonte de primera aparición de una sección estratigráfica concreta sea posterior al momento de aparición de la especie debido a diferentes factores (imposibilidad de fosilización o de preservación, fenómenos de migración, barreras ecológicas, etc.). Algo semejante se puede decir del biohorizonte de última presencia cuya edad, en una sección estratigráfica concreta, puede ser más antigua que el momento de desaparición de la especie. En definitiva, la distribución temporal de una especie deducida en una sección estratigráfica concreta será igual o inferior a la distribución temporal de la misma en la Tierra (Vera, 1994).

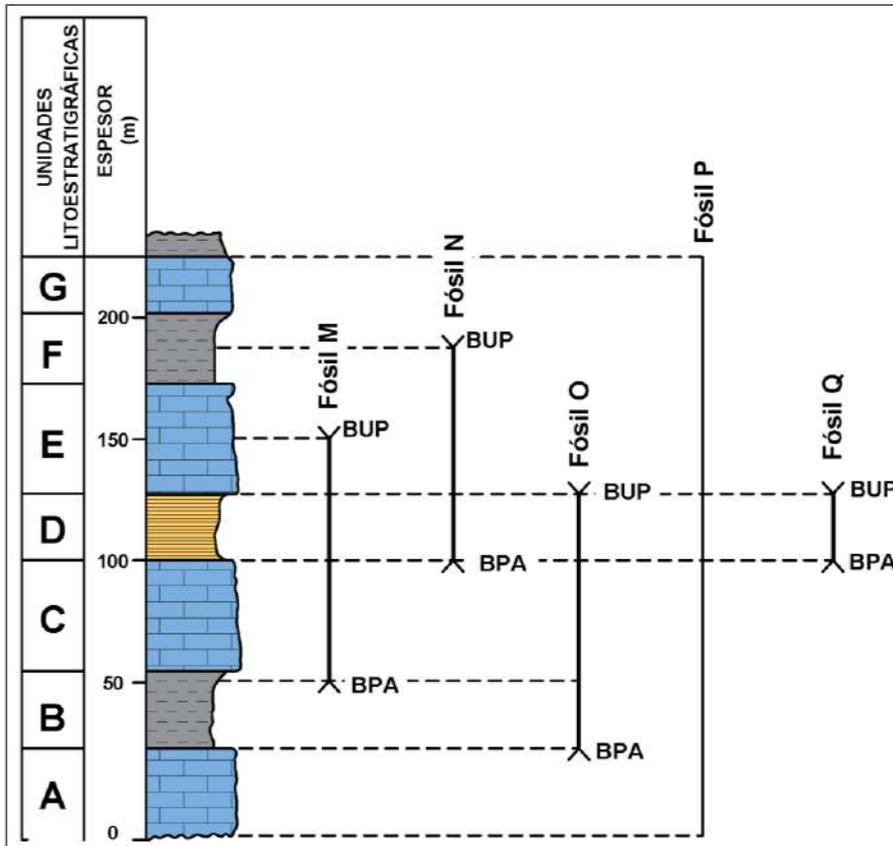


Figura 16: Distribución de diferentes fósiles (M,N,O.P.G) en una sección estratigráfica. BPA.- Biohorizonte de primera aparición. BUP.- Biohorizonte de última presencia (Vera, 1994).

2.2.8.4.6. Zonas Bioestratigráficas o Biozonas

Se llama biozona (abreviatura de zonas bioestratigráficas) a los volúmenes de materiales estratificados diferenciados o caracterizados por su contenido paleontológico. Una biozona puede estar basada en un taxón simple o en la combinación de varios. Un mismo intervalo de una sección estratigráfica puede ser dividido en zonas de manera diferente en función del criterio de diagnosis y del grupo de fósil escogido. Las unidades bioestratigráficas, como las litoestratigráficas, son productos relativamente objetivos de un proceso de clasificación, ya que se basan en características observables directamente en los estratos. La definición de unidades bioestratigráficas tiene una limitación, no por obvia menos interesante, que no se pueden aplicar cuando no hay fósiles.

Las normativas internacionales de nomenclatura estratigráfica (CNE, 1961; GEI, 1980; NASC, 1983) establecen diferentes tipos de biozonas y fijan las condiciones

que se deben cumplir para su correcta definición, así como la manera de denominarlas:

Superbiozonas. Que son unidades de rango superior

Biozona. Que agrupan a dos o más biozonas con características bioestratigráficas comunes.

Subzonas

Zónulas

De todas estas unidades, en la práctica, las subzonas son las únicas que tienen un uso frecuente, de manera que muchas biozonas quedan divididas en dos o más subzonas (Vera, 1994).

2.2.8.5. Clases de unidades bioestratigráficas

2.2.8.5.1. Biozona de conjunto

Se denomina biozona de conjunto (o cenozona) a un tipo de unidades bioestratigráficas definido a partir del contenido total de fósiles o a partir de un grupo de fósiles seleccionados. La Guía Estratigráfica Internacional (GEI, 1980) la define como "un cuerpo de estratos cuyo contenido de fósiles, o de fósiles de cierto tipo, tomado en su totalidad, constituye un conjunto o asociación natural que lo diferencia, en cuanto a su carácter bioestratigráfico, de los estratos adyacentes". La biozona de conjunto será el intervalo de estratos en el que coexisten varias formas fósiles y sus límites serán biohorizontes que marcan los límites de la presencia del conjunto que caracteriza la unidad (Vera, 1994).

2.2.8.5.2. Biozona de extensión

Se basa en la presencia de un fósil (o agrupación de fósiles) seleccionado del conjunto total de formas fósiles. El término "extensión" se aplica tanto para la distribución horizontal como vertical. La biozona de extensión es el volumen de estratos que representa la extensión total de la presencia del fósil, o asociación de fósiles, seleccionados.

Se pueden diferenciar cuatro tipos fundamentales de biozonas de extensión de acuerdo con la manera de considerar dicha extensión, según se trate de un fósil o de varios y según se localicen los biohorizontes de los mismos con respecto a los límites de las biozonas (imagen 21A) (Vera, 1994).

A. Biozona de extensión de un taxón

Es el conjunto de estratos que representa la extensión total (horizontal y vertical) de la presencia de ejemplares de determinado taxón (especie, género, familia) (GEI, 1980). Los límites de este tipo de biozonas son los biohorizontes de primera aparición y última presencia del taxón seleccionado (Vera, 1994).

B. Biozona de extensión coincidente

Corresponde a la parte coincidente o concurrente de las zonas de extensión de dos taxones; los límites son el biohorizonte de primera aparición de un taxón y el de última presencia del otro taxón (imagen 21C). Lógicamente el intervalo que acota una biozona de extensión coincidente es menor que la de las biozonas de extensión de cada taxón concreto (Vera, 1994).

C. Oppelzona

Toma su nombre del bioestratigráfico alemán Oppel, y que es una biozona de extensión de taxones seleccionados de manera que puedan ser un buen criterio geocronológico. Por regla general la parte inferior de la Oppelzona se caracteriza por la primera aparición de determinados taxones y la parte superior con la última presencia de ciertos otros. El límite de una Oppelzona coincide con el de la siguiente, de manera que se pretende llegar a tener una división de tiempo geológico (Vera, 1994).

D. Filozona

Es la biozona que contiene ejemplares representativos de un segmento de una línea o dirección de evolución o desarrollo, limitada tanto arriba y abajo por cambios de características de la línea o dirección (GEI, 1980). Los límites de las filozonas son biohorizontes de primera aparición de especies dentro de una misma línea evolutiva (imagen 21D) (Vera, 1994).

2.2.8.5.3. Biozona de apogeo

Se basa en la abundancia de alguna especie, género o familia, en lugar de en la extensión total de alguno de ellos. La biozona de apogeo es el conjunto de estratos caracterizado por la máxima abundancia del taxón seleccionado. El Código Estratigráfico Americano (NASC, 1983) la define como una biozona caracterizada

por el máximo cuantitativamente diferenciable en abundancia relativa de uno o más taxones. No se refiere, por tanto, a la extensión total de alguna especie, género u otro taxón. Sus límites son cuantitativos y vienen marcados por cambios bruscos de la abundancia del taxón seleccionado (imagen 21E). Este tipo de biozonas son conocidas también con los nombres de epíbole, zona de culminación o zona de inundación y al tiempo de duración de las mismas se le llama hémera (Vera, 1994).

2.2.8.5.4. Biozona de intervalo

Corresponde a un conjunto de estratos delimitado por dos biohorizontes, de dos organismos distintos. No se trata realmente de una zona de extensión de un taxón determinado, ni de la coincidencia de varios taxones y frecuentemente carece de asociaciones fósiles distintivas o de características bioestratigráficas peculiares (GEI, 1980).

El tipo más general de la biozona de intervalo es aquel en que el límite inferior es el biohorizonte de última presencia de un taxón y el límite superior es el biohorizonte de primera aparición de otro taxón, sin que en el intervalo esté presente ninguno de ellos (imagen 21F). También se pueden definir biozonas de intervalo para los conjuntos de estratos limitados por dos biohorizontes de última presencia de taxones diferentes (imagen 21G) o por dos límites de primera aparición, igualmente de dos taxones diferentes (imagen 21H) (Vera, 1994).

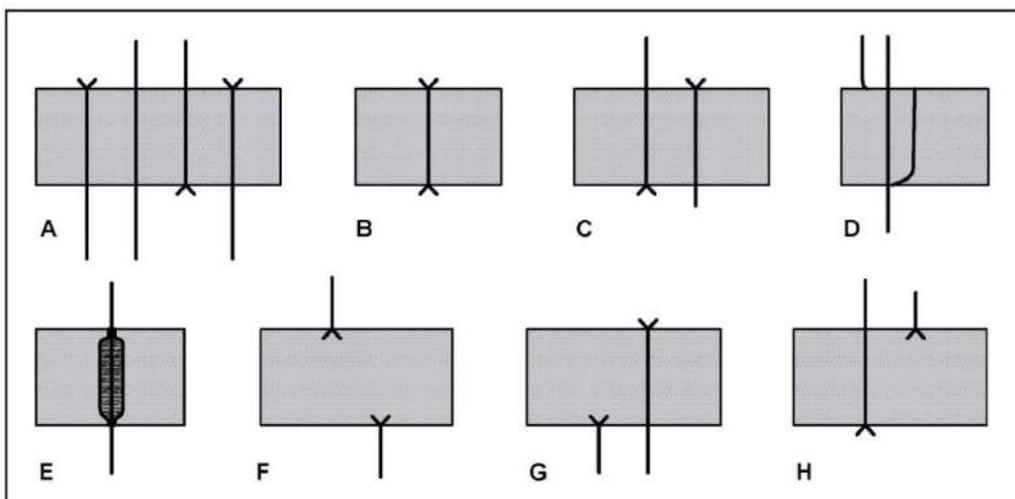


Figura 17: Tipos de biozonas que establece la Guía Estratigráfica Internacional (GEI, 1980). A.- Biozona de conjunto. B.- Biozona de extensión de un taxón. C.- Biozona de extensión coincidente. D.- Filozona. E.- Biozona de apogeo. F, G y H.- Biozonas de intervalo (Vera, 1994).

2.2.9. Sección estratigráfica

Según Vera (1994), 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.

2.2.9.1. Sección estratigráfica local

Se llama sección estratigráfica local a la ordenación temporal de la totalidad de estratos (o conjuntos de estratos) que afloran en una localidad concreta colocados en la posición originaria de depósito, o sea, los más antiguos debajo y los más modernos encima. El nombre se aplica también a su representación gráfica (Vera, 1994).

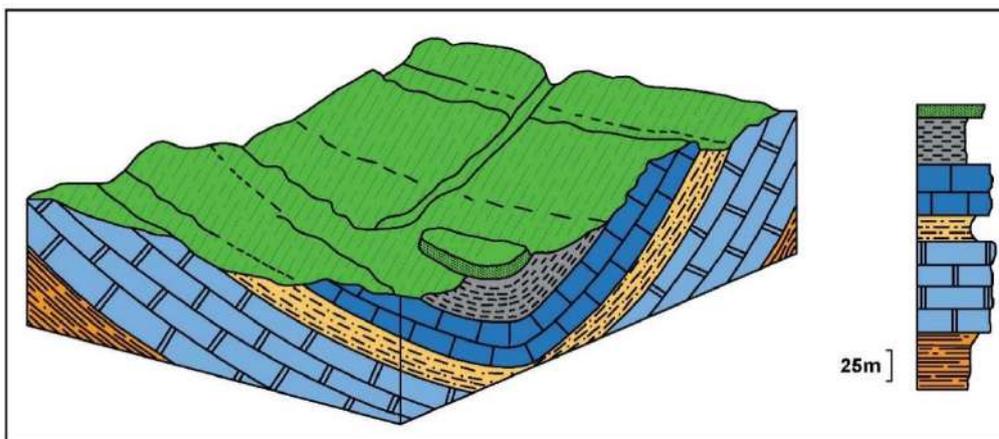


Figura 18: Sección estratigráfica local elaborada mediante la aplicación del principio de la superposición. La sección estratigráfica es la expresión gráfica, a escala, de las unidades litoestratigráficas presentes en una región concreta, la ilustrada en el bloque diagrama (Vera, 1994).

2.2.9.2. Metodología para la elaboración de una sección estratigráfica

Mediante la aplicación del principio de la superposición, con las debidas precauciones para evitar errores, tales como la utilización de criterios de superposición, los estratos y conjuntos de estratos pueden ser agrupados en volúmenes con características afines (unidades estratigráficas) y ordenados temporalmente.

La metodología de su levantamiento es una de las metodologías más propiamente estratigráficas. Normalmente el levantamiento de secciones estratigráficas se coordina (y frecuentemente se precede) con el levantamiento de un mapa geológico, con la elaboración de cortes geológicos y esquemas a escala

directamente sobre el terreno o sobre fotografías murales que muestren la geometría de los materiales estratificados.

Para el correcto levantamiento de una sección estratigráfica es muy conveniente conocer la distribución areal de las diferentes unidades litoestratigráficas, previamente identificadas. Para ello se utiliza la técnica de cartografía geológica que consiste en representar sobre un mapa topográfico de escala detallada (p. ej. 1:25.000), o una fotografía aérea del mayor detalle posible, la distribución superficial de cada una de las unidades (Vera, 1994).

2.2.9.3. Medida de espesores de las unidades litoestratigráficas

En el levantamiento de las secciones estratigráficas una medida fundamental es el espesor de las unidades litoestratigráficas. Esta medida se realiza usualmente mediante medidas parciales de los estratos y conjuntos de estratos que forman la unidad. Las medidas realizadas en los casos más simples son de espesor total de la unidad, mientras que, en otros casos, de estudios más detallados, se miden los espesores de todos los estratos.

Al mismo tiempo que se miden los espesores se observan las características litológicas y texturales, con lo que en rocas detríticas se pueden reconocer dispositivos texturales granocrecientes o granodecrescentes, superpuestos o no a los anteriores.

El caso más simple de levantamiento de una sección estratigráfica y de medida de espesores es el que se realiza en áreas con capas horizontales. En esta área se cumple rigurosamente el principio de la superposición por lo que para ver los materiales más antiguos hay que ir al punto topográficamente más bajo de la región.

A partir de ahí se inicia el levantamiento y medida de espesores. Esta medida se puede realizar con un alfiler de precisión o con cinta métrica, en este último caso haciendo las medidas con la cinta completamente vertical (Vera, 1994).

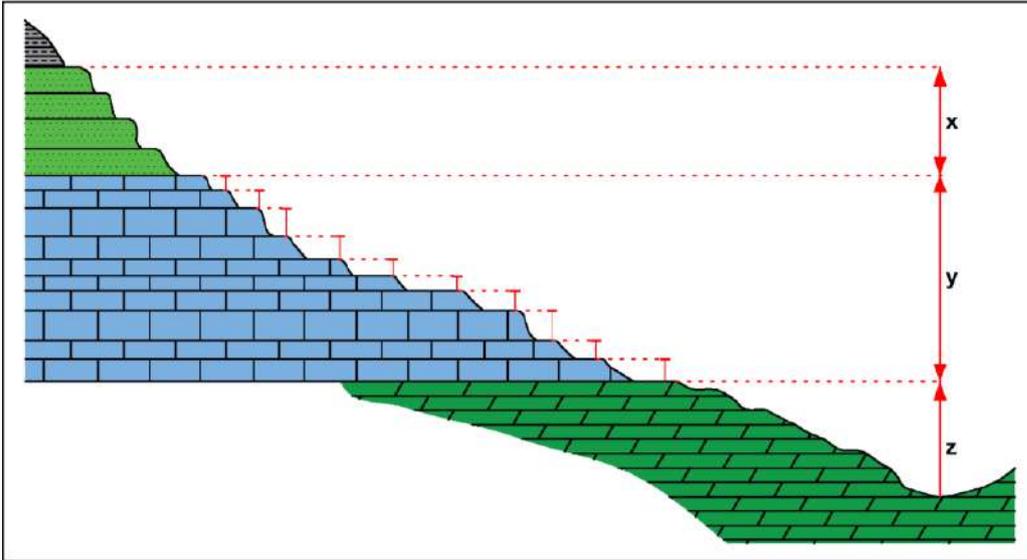


Figura 19: Medida en materiales horizontales (x, y, z: unidades litoestratigráficas) (Vera, 1994).

La llamada vara de Jacob es un bastón de 1,5 m de altura (o ajustada a la medida que convenga al observador) con un tubo perpendicular en su extremo superior que facilita la medida en pendientes suaves, ya que la medida se hace en segmentos de 1,5 m y por el tubo se mira para situar exactamente el punto donde colocar el bastón para iniciar la siguiente medida (Vera, 1994).

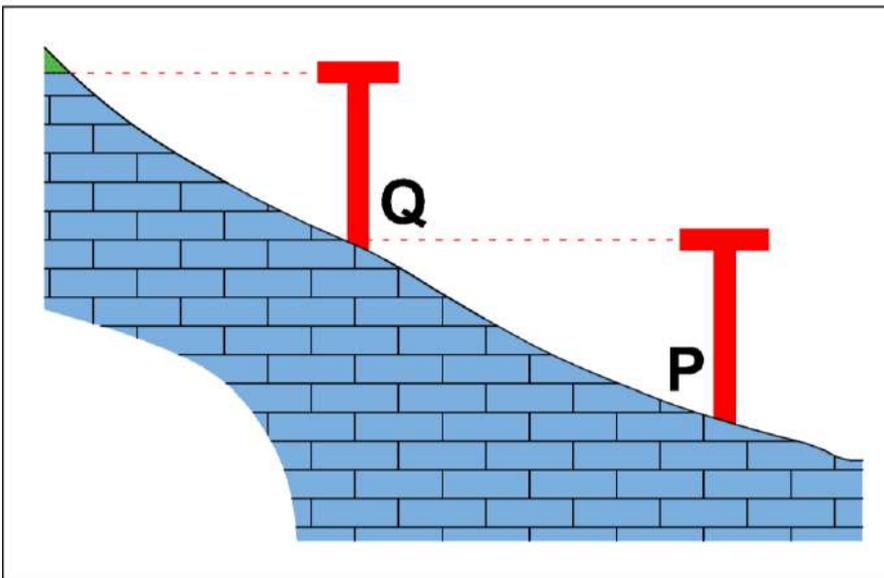


Figura 20: Detalle de la medida con la vara de Jacob en capas horizontales (P,Q, lotes de 1,5 m que es la altura de la vara) (Vera, 1994).

En los levantamientos de secciones estratigráficas en áreas de capas plegadas la medida de espesores presenta más dificultades. La primera se resuelve colocando

el instrumento de medida (cinta métrica o vara de Jacob) perpendicularmente a las superficies de estratificación (Vera, 1994).

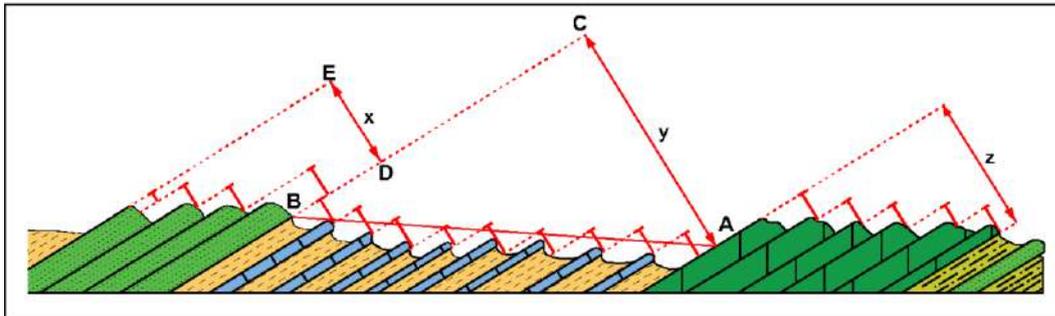


Figura 21: Medida de los espesores de unidades estratigráficas en materiales inclinados, mediante medidas parciales sucesivas. La potencia de una unidad (y) se obtiene sumando todas las medidas parciales que darían el segmento A-C (Vera, 1994).

Controlando la dirección y el buzamiento con medidas constantes y usando la vara de Jacob tras hacer la medida un punto P se mira por el tubo perpendicular para localizar el punto Q en el que se debe colocar la vara para seguir la medida, operación que se repite sistemáticamente (Vera, 1994).

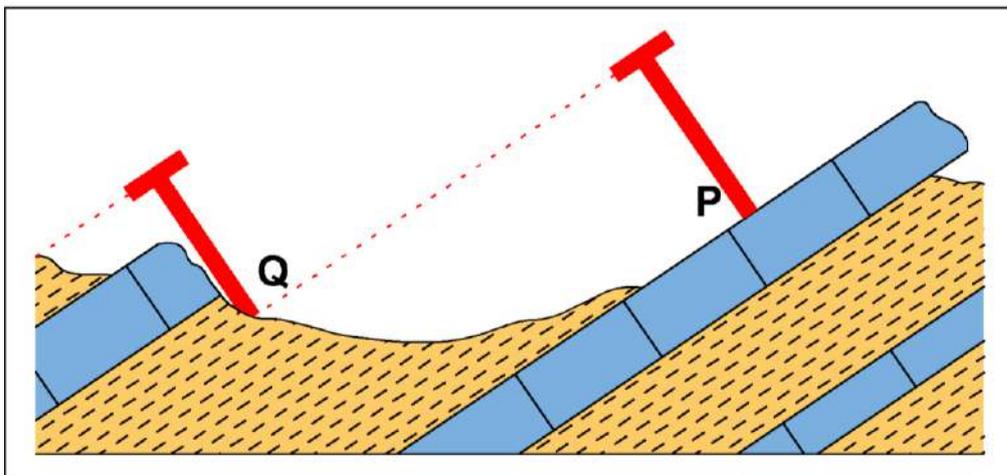


Figura 22: Medida con la vara de Jacob en capas inclinadas (P,Q, lotes de 1,5 m que es la altura de la vara) (Vera, 1994).

Las medidas parciales del espesor de los estratos que posibilitan calcular la potencia de las unidades litoestratigráficas (x, y, z) se contrastan con medidas del espesor total hecha a partir de la distancia real de dos puntos situados en una línea de máxima pendiente del estrato (perpendicular a la dirección) uno de ellos en el muro (A) y el otro en el techo (B). Para calcular el espesor real (\overline{AC}) es necesario conocer el buzamiento y la inclinación de la línea A-B. La resolución se hace

trigonométricamente [$\overline{AC} = \overline{AB} \times \text{seno} (\alpha + \beta)$] o gráficamente con un dibujo a escala. (Vera, 1994).

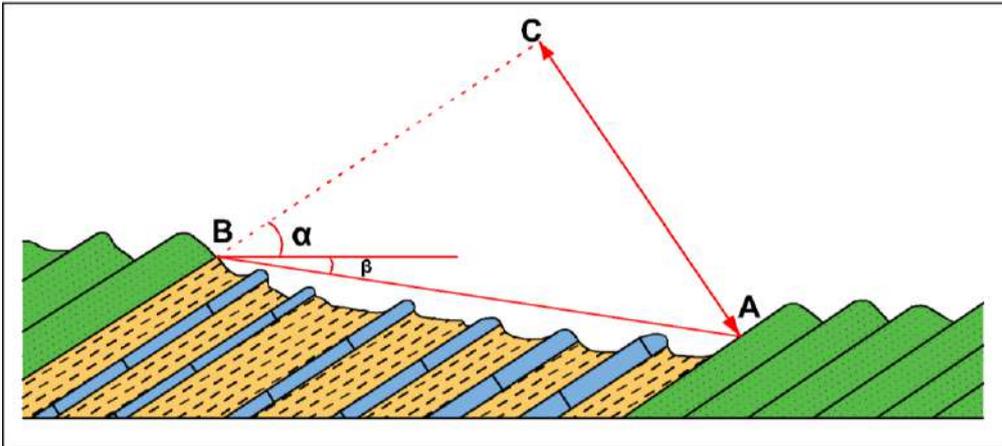


Figura 23: Medida del espesor conjunto de una unidad, a partir del buzamiento (Vera, 1994).

2.2.10. Correlaciones lito-bioestratigráficas

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.

Al comparar varias secciones estratigráficas se puede ver la relación lateral entre las diferentes unidades estratigráficas representadas en ellas, los cambios de facies y de potencia, etc. y con ello deducir las características estratigráficas de una región más amplia, concretamente de aquella en la que quedan incluidos todos los sectores en los que se han levantado las secciones estratigráficas locales que son comparadas.

La correlación estratigráfica entre dos o más secciones estratigráficas locales relativamente cercanas entre sí (correlación local) permite reconstruir la geometría de las unidades litoestratigráficas, valorar su posición en el tiempo, conocer sus cambios laterales, etc. Con ello se elabora una sección estratigráfica compuesta local en la que quedarán destacados los rasgos más significativos de las unidades estratigráficas presentes en un sector determinado (Vera, 1994).

2.2.10.1. Litocorrelación

La litocorrelación, o correlación litológica (o litoestratigráfica), pretende demostrar la correspondencia en cuanto al carácter litológico y la posición litoestratigráfica. Para hacer este tipo de correlación se comparan las unidades litoestratigráficas presentes en cada una de las secciones estratigráficas y los niveles de litologías especiales dentro de las mismas (Vera, 1994).

2.2.10.2. Biocorrelación

La biocorrelación, o correlación bioestratigráfica, intenta establecer la correspondencia entre dos niveles fosilíferos, basándose en la presencia de ciertos fósiles y en su posición bioestratigráfica. En la biocorrelación tiene un enorme interés el reconocimiento de los biohorizontes de primera aparición y los de última presencia de los fósiles característicos en diferentes secciones estratigráficas, ya que al considerarse como simultáneos a nivel mundial se trataría realmente de una biocronocorrelación (Vera, 1994).

2.2.11. Clasificación de las rocas carbonatadas

Las rocas carbonatadas de acuerdo con su mineralogía se dividen en calizas y dolomías. Las calizas están compuestas principalmente por el mineral calcita y las dolomías compuestas principalmente por el mineral dolomita. Las rocas carbonatadas representan aproximadamente entre 20 al 25% de todas las rocas sedimentarias del registro geológico.

Las calizas presentan variadas texturas, estructuras y fósiles que proporcionan importante información acerca de los antiguos ambientes marinos, condiciones paleoecológicas y la evolución de la vida marina a través del tiempo. La química elemental de las rocas carbonatadas está dominada por iones de calcio, magnesio y carbonato. Siendo el magnesio es particularmente constituyente de las dolomías.

Existen dos tipos de calcita; con bajo contenido en magnesio (llamada simplemente calcita) conteniendo menos del 4% de carbonato de magnesio y calcita con alto contenido de magnesio conteniendo más del 4% de carbonato de magnesio.

Existe otro tipo de roca denominada marga. La marga se compone de carbonatos y arcillas. Según las relaciones cuantitativas se distingue marga arcillosa, marga y marga carbonatada. Normalmente el carbonato es presentado por calcita, a veces

por dolomita. Componentes adicionales pueden ser cuarzo, mica y compuestos carbonosos. La marga frecuentemente lleva nódulos de yeso, calcita y pirita, es de color gris claro hasta oscuro, café o verdoso, frecuentemente contiene microfósiles. El tamaño de los granos es igual al de la arcilla (< 0,002mm) (Boggs, 2006).

2.2.11.1. Clasificación de Folk 1962

Folk establece una clasificación de calizas teniendo en cuenta las proporciones relativas de los tres constituyentes básicos: granos (aloquímicos), matriz micrítica y cemento esparítico (ortoquímicos).

Diferencia tres tipos básicos de calizas: aloquímicas (con >10% de granos), micríticas (con <10% de granos) y biolititas. Dentro de las calizas aloquímicas distingue entre: calizas esparíticas (espacio intergranular ocupado por esparita) y calizas micríticas (espacio intergranular ocupado por micrita).

Una de las limitaciones de esta clasificación es que no se puede aplicar a sedimentos (Arribas, et. al., 2010).

| Proporciones volumétricas de aloquímicos | | > 10% de aloquímicos | | < 10% de aloquímicos | | Rocas arrecifales y biohermale sin modificar |
|--|--------------|------------------------------|------------------------------|--|--|--|
| | | Calcita esparítica > micrita | Micrita > calcita esparítica | 1 - 10% de aloquímicos | < 1% de aloquímicos | |
| > 25% de intraclastos | | INTRAESPARITA | INTRAMICRITA | Componentes aloquímicos más abundantes | Intraclastos MICRITA CON INTRACLASTOS | Rocas arrecifales y biohermale sin modificar |
| > 25% de ooides | | OOESPARITA | OOMICRITA | | Ooides MICRITA CON OOIDES | |
| < 25% de intraclastos | > 3:1 | BIOESPARITA | BIOMICRITA | | Bioclastos MICRITA FOSILIFERA | |
| | de 3:1 a 1:3 | BIOPELESPARITA | BIOPELMICRITA | | Peloides MICRITA CON PELOIDES | |
| | < 1:3 | PELESPARITA | PELMICRITA | | | |
| | | | | | MICRITA o, si se observan zonas esparíticas. DISMICRITA | BIOLITITO |

Figura 24: Clasificación de las rocas carbonatadas basada en el método de Folk (1959, 1962). Los nombres que se emplean para las rocas se han indicado en letras mayúsculas (Adams & MacKenzie, 1997).

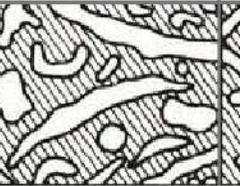
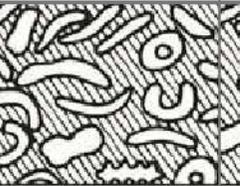
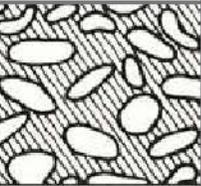
| Más de 2/3 de matriz micrítica | | | | Esparita y micrita en proporciones similares | Más de 2/3 de cemento esparítico | | |
|--|---|---|--|---|---|---|---|
| 0 - 1% de aloquímicos | 1 - 10% de aloquímicos | 10 - 50% de aloquímicos | Más del 50% de aloquímicos | | Escasa selección | Buena selección | Redondeados y erosionados |
| Micrita y dismicrita | Micrita fosilífera | Biomicrita dispersa | Biomicrita enpaquetada | Bioesparita escasamente lavada | Bioesparita mal seleccionada | Bioesparita bien seleccionada | Bioesparita redondeada |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  Matriz micrítica | |  Cemento de calcita esparítica | | | | | |

Figura 25: Rango de texturas que se presentan en las rocas carbonatadas, ilustradas usando los términos de la clasificación de Folk (Adams & MacKenzie, 1997).

2.2.11.2. Clasificación de Dunham (1962)

Distingue dos tipos generales de carbonatos (rocas y sedimentos carbonáticos):

A. Carbonatos con textura deposicional reconocible

Boundstone: Los componentes originales se encuentran ligados durante la sedimentación debido a la acción de organismos bioconstructores (corales, algas rodofíceas, cianobacterias, etc.).

Grainstone: Textura grano-soportada y sin matriz micrítica. El espacio intergranular puede estar ocupado por cemento.

Packstone: Textura grano-soportada y con matriz micrítica. El espacio intergranular está ocupado por micrita.

Wackestone: Textura matriz-soportada con más del 10% de granos.

Mudstone: Textura matriz-soportada con menos del 10% de granos.

B. Carbonatos cristalinos cuya textura deposicional no es reconocible.

Atlas de petrología sedimentaria (2010).

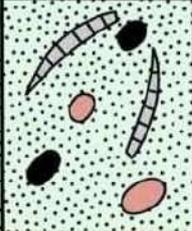
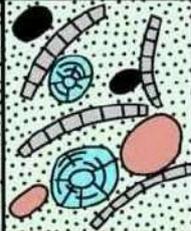
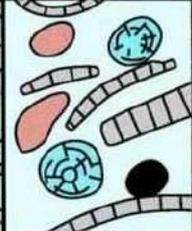
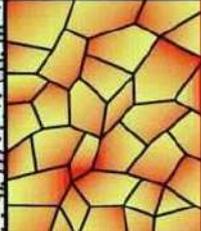
| Textura deposicional reconocible | | | | | Textura deposicional no reconocible |
|---|---|---|---|--|---|
| Componentes originales no unidos durante la sedimentación | | | Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico | Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción | |
| Con barro micrítico | | Esqueleto grano-soportado | | | |
| Esqueleto matriz-soportado | | | | | |
| < 10 % granos | > 10 % granos | | | | |
| Mudstone | Wackestone | Packstone | Grainstone | Boundstone | Cristalina |
|  |  |  |  |  |  |

Figura 26: Clasificación de Dunham 1962, modificado de Moore 2001 (Arribas, et. al., 2010).

2.3. Definición de términos Básicos

Biotopo. Región limitada con características especiales de medio ambiente bajo las cuales se puede desarrollar cierto tipo de animales y plantas (Dávila, 2011).

Capa. Unidad formal más pequeña jerárquicamente de las unidades litoestratigráficas (Vera, 1994).

Datación relativa. Datación de las rocas y las unidades estratigráficas por su posición temporal relativa, basada en la aplicación del principio de la superposición y de las dataciones bioestratigráficas (Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2010).

Estrato. Nivel de roca o sedimento que se depositó en un intervalo de tiempo concreto y que queda delimitado por superficies (denominadas superficies de estratificación), originadas por cambios en la sedimentación, por interrupciones sedimentarias o por ambos factores a la vez (Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2010).

Facie. Conjunto de características de las rocas de una unidad geológica, que reflejan las condiciones en las que se formaron. En rocas sedimentarias se consideran los caracteres petrográficos (litofacies) y los paleontológicos (biofacies) (Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2010).

Fósil. Resto o vestigio de seres vivos que dejaron sus huellas en las rocas de la corteza terrestre. Los fósiles constituyen la base fundamental para la determinación de la edad de las rocas donde se encuentran (Dávila, 2011).

Intervalo estratigráfico. Cuerpo o secuencia estratigráfica entre dos series estratigráficas marcadas. También se refiere al tiempo geológico, comprendido entre dos o más secuencias estratigráficas (Dávila, 2011).

Litotopo. Área con características sedimentarias uniformes y diferente de las áreas que le rodean (Vera, 1994).

Miembro. Unidad litoestratigráfica de rango inmediatamente inferior a la formación y que siempre es parte de una formación (GEI, 1980).

Taxón. Conjunto de organismos de un mismo rango (especie, género o familia) (Vera, 1994).

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Generalidades

3.1.1. Ubicación

El área de estudio se encuentra ubicada en el continente sudamericano, norte del Perú, departamento Cajamarca, al NE de la ciudad de Cajamarca, en la provincia de Cajamarca, Distrito de Baños del Inca en el Caserío de Shaullo Chico.

El área de estudio se encuentra enmarcado dentro de los siguientes vértices, con coordenadas UTM WGS-84 en el cuadrángulo de San Marcos **(15-G)**:

Tabla 1: Coordenadas del área de estudio

| VÉRTICES DEL ÁREA DE ESTUDIO | | |
|------------------------------|--------|---------|
| VÉRTICE | ESTE | NORTE |
| A | 784000 | 9214500 |
| B | 788000 | 9214500 |
| C | 788000 | 9212800 |
| D | 784000 | 9212800 |

3.1.2. Accesibilidad

Para llegar a la zona de estudio existen al menos 2 accesos, en la siguiente tabla detallaremos los dos principales:

Tabla 2: Accesibilidad a la zona de investigación

| Acceso | Tramo | Tipo de vía | Distancia (Km) | Tiempo (min) |
|----------|---|-------------|----------------|--------------|
| Acceso A | Cajamarca – Otuzco | Asfaltada | 6 | 15 |
| | Otuzco – Carahuanga (Carretera a Combayo) | Afirrada | 5 | 15 |
| Acceso B | Cajamarca – Baños del Inca | Asfaltada | 6 | 15 |
| | Baños del Inca – Otuzco | Asfaltada | 5.5 | 15 |
| | Otuzco – Luichupucro | Afirrada | 13 | 30 |

3.1.3. Fisiografía

El relieve de la zona se caracteriza por ser accidentada, ya que se localiza entre una altura mínima de 2800 msnm y 3360 msnm. Se caracteriza por tener una topografía variada con pendiente que van desde muy bajas a pendientes altas.

Tabla 3: Clasificación de pendientes

| PENDIENTES (°) | TIPO |
|----------------|-----------------|
| 0 – 15 | Baja |
| 15 – 30 | Moderada |
| 30 – 45 | Moderada – Alta |
| 45 – 60 | Alta |
| 60 – 90 | Muy alta |

Fuente: Borkowski, 1994

3.1.4. Clima

El clima de la zona de estudio está relacionado al clima de la región Cajamarca, en el cual según el Senamhi el mes con temperatura más alta es setiembre (22.2°C); la temperatura más baja se da en el mes de julio (4.9°C); y llueve con mayor intensidad en el mes de marzo (118.78 mm/mes).

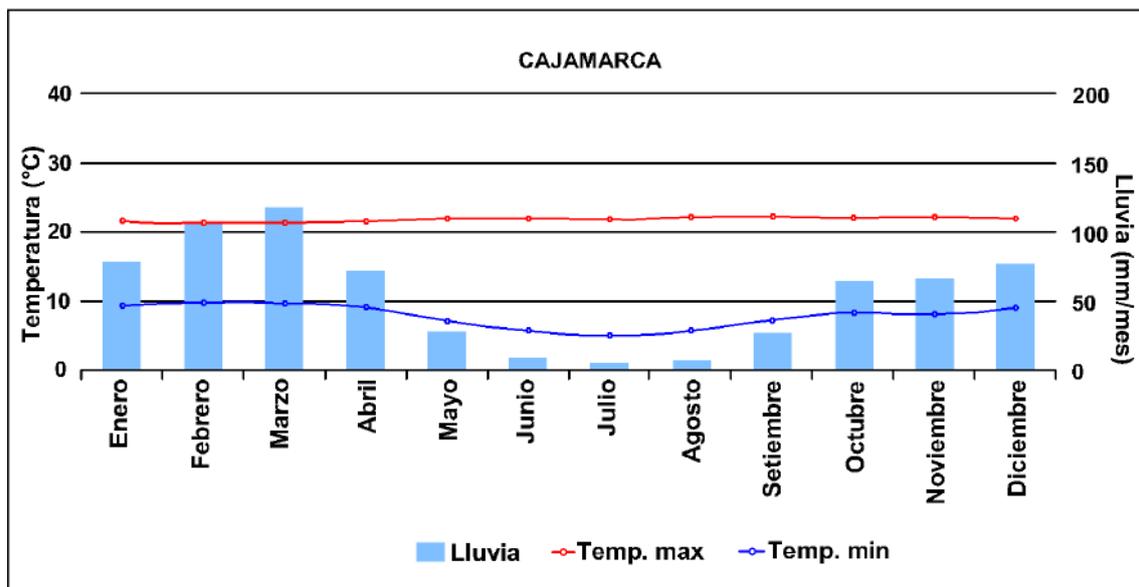


Figura 27: Temperatura promedio en la región Cajamarca (Senamhi, 2021).

3.1.5. Vegetación

En la zona de investigación mayormente encontramos árboles como alisos (*Alnus Glutinosa*), cipreses (*Cupressus*), pinos (*Pinus Sylvestris*), eucaliptos (*Eucalyptus Camaldulensis Dehn*), capulíes (*Prunus Salicifolia*), pencas (*Agave sp*), ichu (*Stipa Ichu*); zonas de cultivo: maíz (*Zea Mays*), trigo (*Triticum aestivum*), cebada (*Hordeum vulgare*).



Fotografía 1: Vegetación de sauce, ciprés, eucalipto y pino

3.1.6. Geomorfología

Las Unidades Morfogenéticas (UM) en la zona de investigación, litológicamente formada por rocas que van desde sedimentarias a volcánicas, son el resultado de procesos geotectónicos desde el Cretáceo Inferior hasta el plioceno y de procesos morfogenéticos los que definen la morfoestructura de la zona de investigación. Las geoformas en la zona de investigación están directamente relacionadas con los procesos de erosión y acorde con su génesis, edad de las rocas, geometría del relieve y tipo de relieve.

Tabla 4: Clasificación de Unidades Morfogenéticas

| TIPO DE RELIEVE | GEOMETRÍA |
|----------------------|-----------|
| UNIDAD MORFOGENÉTICA | PENDIENTE |
| Planicies | 0° - 8° |
| Lomadas | 8° - 20° |
| Laderas | 20° - 50° |
| Escarpas | >50° |

Fuente: Rodríguez, 2016

3.1.6.1. Planicies

Las planicies en la zona de investigación están determinadas como superficies homogéneas, con pequeñas ondulaciones y suave pendiente que varía entre los 0° a 8° y están distribuidas en mayor extensión en la zona este del área de investigación y a lo largo del cauce del río Chonta con depósitos aluviales y fluvioaluviales (Ver plano N° 04 de los anexos). Estas áreas son destinadas a actividades agrícolas y ganaderas de los pobladores.



Fotografía 2: Planicie en el cauce del Río Chonta, en el Caserío de Carahuanga.

3.1.6.2. Lomadas

Estas UM se encuentran cubriendo en su mayor parte el área de estudio (ver plano N° 04 de los anexos) con formas dómicas, utilizadas por los comuneros para el pastoreo, agricultura y ganadería. Litológicamente están sobre las formaciones Pariatambo, Yumagual y el volcánico Huambos.



Fotografía 3: Lomadas al margen izquierdo de la Qda. Cucuche, en el Caserío de Carahuanga.

3.1.6.3. Laderas

Son junto a las lomadas las UM que ocupan mayor superficie del área de estudio (ver plano N° 04 de los anexos), litológicamente se encuentra formadas por calizas y arcillitas meteorizadas de la Formación Pariatambo y Formación Yumagual debido a los agentes erosivos, pero en especial a su comportamiento frente a las deformaciones estructurales que han actuado durante fines del Mesozoico y el Cenozoico, los cuales han dado lugar a las geoformas actuales.



Fotografía 4: Ladera en el margen izquierdo del Río Chonta, sobre la Formación Yumagual.

3.1.6.4. Escarpas

Según (Rodríguez, 2012), estas geoformas se encuentran con pendientes superiores a los 50°están formando las partes más empinadas del área de estudio, lo encontramos mayormente en la localidad de Carahuanga en las márgenes del río Chonta (Ver plano N° 04 de los anexos), debido principalmente a la acción de los agentes geodinámicos sobre los macizos rocosos de las Formaciones Pariatambo y Yumagual.



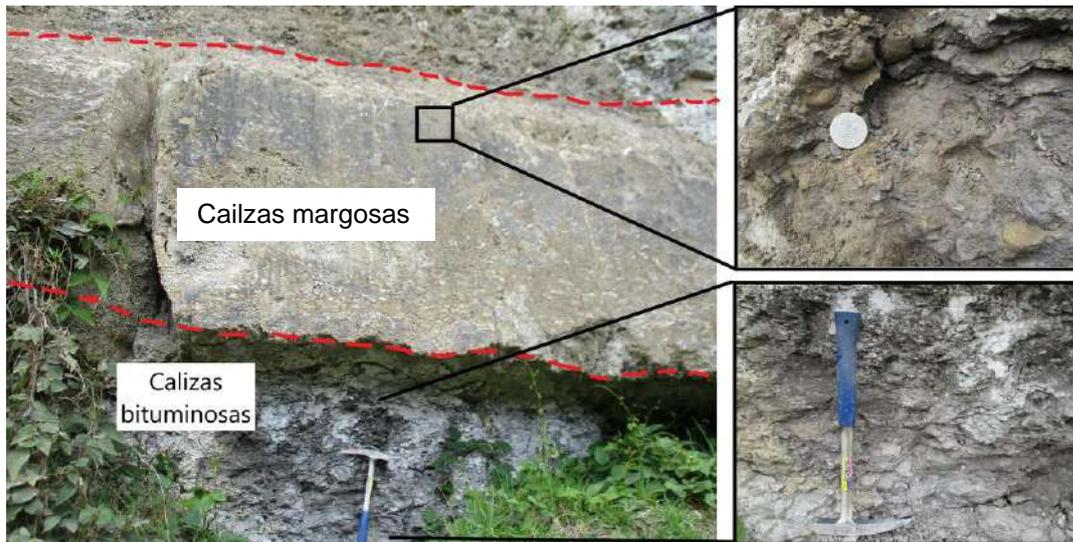
Fotografía 5: Escarpa en los alrededores del Caserío de Carahuanga.

3.1.7. Geología local

En la zona de investigación se hallan rocas sedimentarias de las Formaciones Pariatambo y Yumagual, también está formado por el Volcánico Huambos y depósitos Cuaternarios.

3.1.7.1. Formación Pariatambo

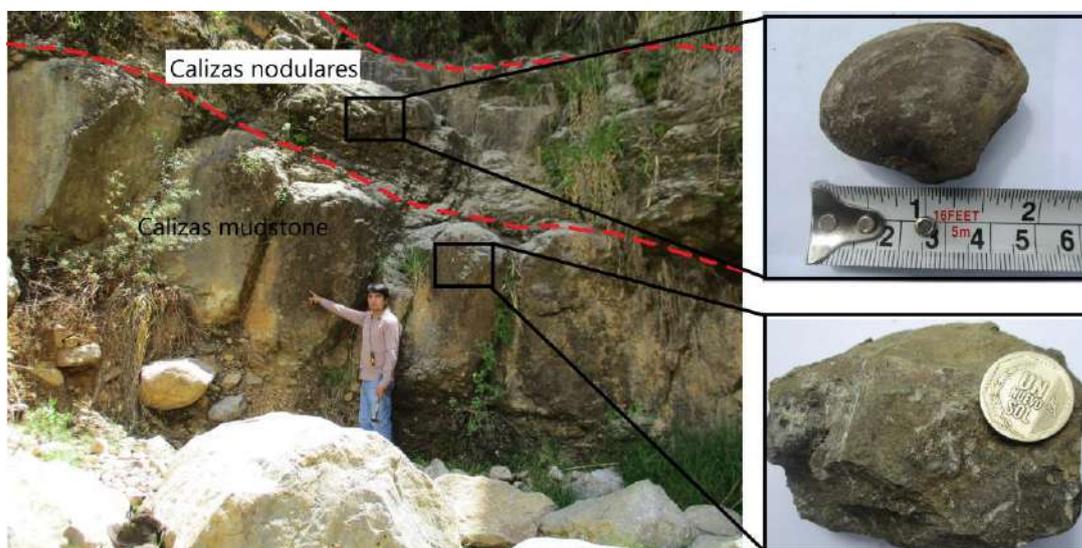
Esta Formación yace concordante a la Formación Chúlec e infrayace con una suave discordancia a la Formación Yumagual. Consiste en una alternancia de arcillitas grises, con lechos delgados de calizas oscuras con abundante presencia de materia orgánica en su depositación, esta materia pudo depositarse gracias a la ausencia de oxígeno que se generó en el Albiano Medio-superior, dando lugar a las calizas Mudstone – Wackestone negras y bituminosas con un típico olor fétido al fracturarlas y margas blanquecinas fosilíferas, generalmente restos de moluscos, entre los que predominan especies de origen pelágico siendo *Oxitropidoceras carbonarium* el fósil guía del Albiano medio- Albiano superior (Reyes, 1990).



Fotografía 6: Calizas bituminosas grisáceas intercalada con un estrato de 1.50m de calizas margosas con fósiles bivalvos. Coordenadas: N9213910, E784558 y Cota 2782msnm.

3.1.7.2. Formación Yumagual

La Formación Yumagual en el área de estudio consiste en estratos potentes de calizas mudstone gris amarillentas, margas y estratos de caliza nodulares grisáceas, las calizas macrofósiles y microfósiles que en su mayoría pertenecen a la clase bivalvia.



Fotografía 7: Intercalación de un estrato de caliza mudstone de 2 a 3m de color gris-amarillentas con estratos de calizas nodulares con abundantes fósiles de la clase bivalvia. N9213720, E784832 y Cota 2831msnm.

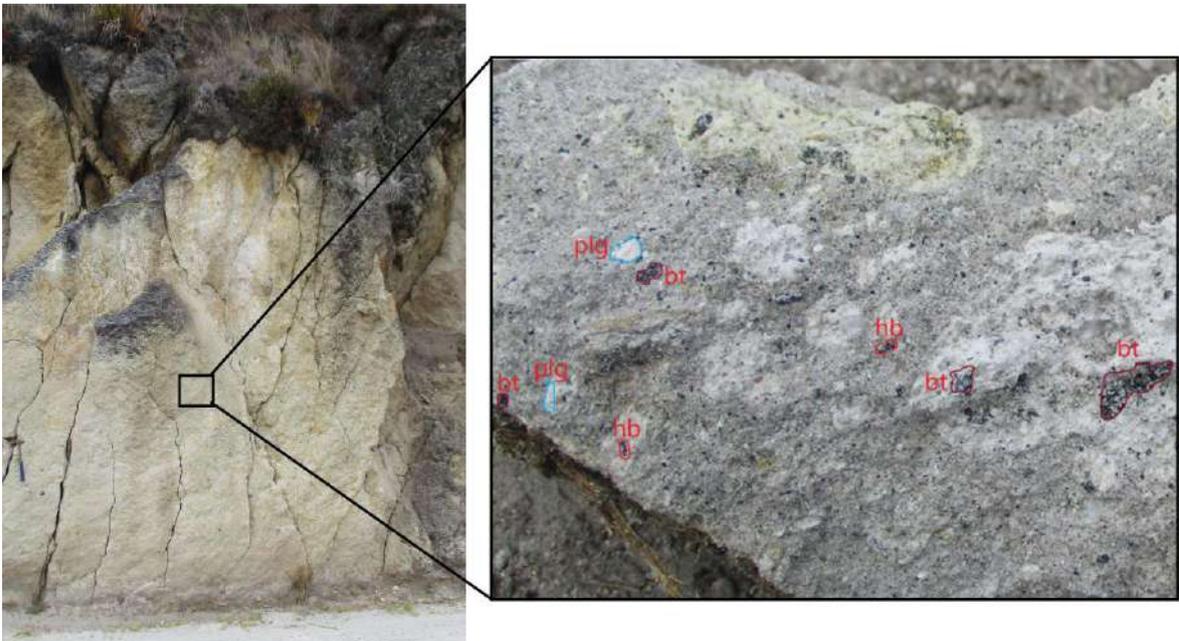
3.1.7.3. Volcánico Huambos

En el área de estudio el Volcánico Huambos consiste principalmente de depósitos sub-horizontales de tobas dacíticas blanco - amarillentas, presentan

litoclastos de andesitas preexistentes sub-redondeadas de hasta 10cm de diámetro. En cuanto a su mineralogía presentan minerales esenciales de plagioclasa y feldespatos potásicos, observándose también la presencia de hornblenda y biotita.



Fotografía 8: Secuencias de tobas volcánicas dacíticas en las que se observa sus componentes piroclásticos de ceniza, lapilli y bloques andesíticos. Coordenadas: N9214090, E784467 y Cota 3000 msnm.



Fotografía 9: Toba dacítica blanquecina, cuyos componentes principales son hornblenda, biotita, litoclastos andesíticos. Coordenadas: N9213710, E784593 y Cota 2818 msnm.

3.1.7.4. Depósitos Cuaternarios

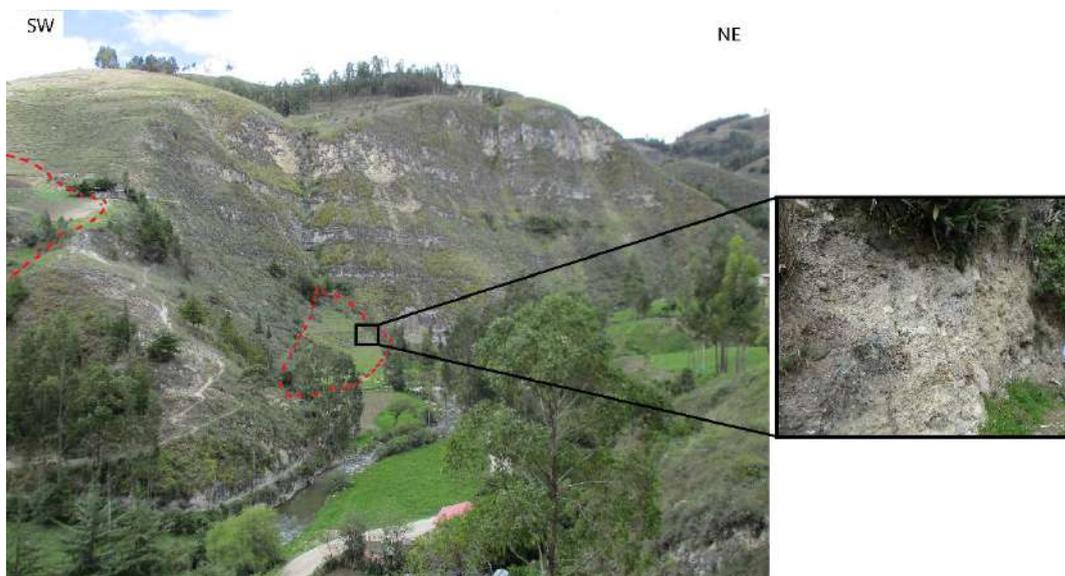
Los depósitos Cuaternarios de mayor presencia en la zona de estudio son los depósitos coluviales y fluviales.

3.1.7.4.1. Depósitos coluviales

En el Caserío de Carahuanga estos materiales han sido transportados por gravedad luego de una alteración in situ de las rocas y posterior transporte como derrubios de ladera.

Están compuestos principalmente de clastos con una litología en su mayoría de tobas y en menor cantidad clastos de calizas provenientes del volcánico Huambos y Formación Yumagual respectivamente, la forma de los fragmentos va desde angulares a sub-angulares, generalmente de tamaño grueso, englobados en una matriz arcillo - arenosa. La resistencia de estos materiales es media a alta.

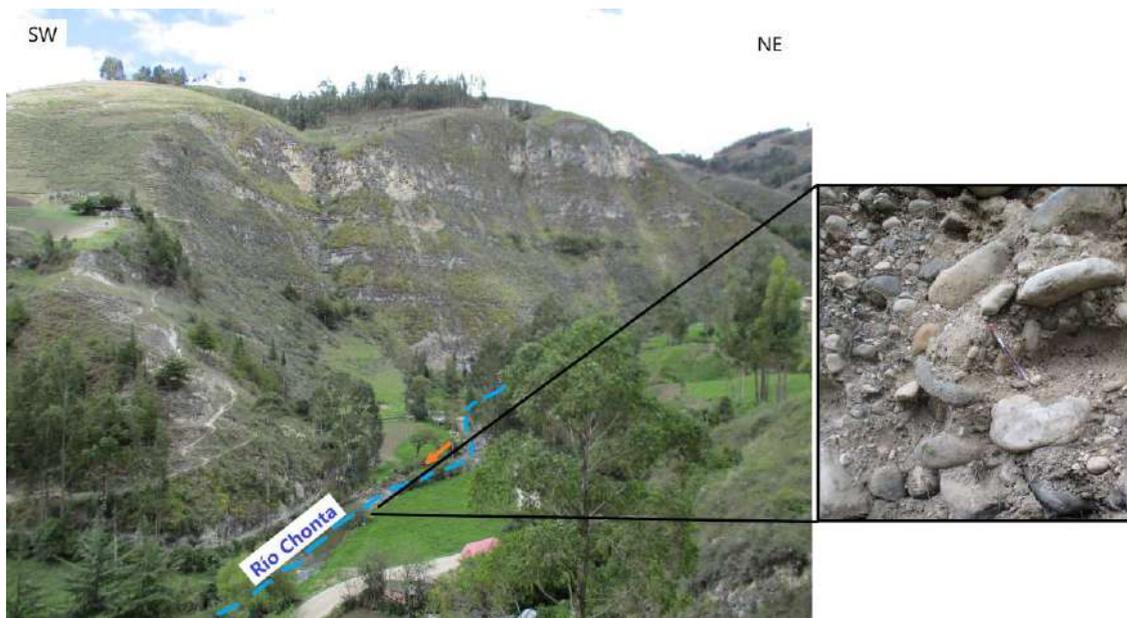
También encontramos depósitos coluviales con clastos de caliza en una matriz limo-arcillosa provenientes de las arcillitas de la Formación Pariatambo. Su resistencia es baja y cuando se desarrollan altas presiones intersticiales como consecuencia de lluvias intensas, se derrumban.



Fotografía 10: Depósitos coluviales en el caserío Carahuanga. Coordenadas: N9213868, E784557 y Cota 2812 msnm.

3.1.7.4.2. Depósitos fluviales

Los depósitos fluviales se presentan principalmente en las causes del río Chonta, los cuales se conforman de clastos redondeados como resultado del transporte de grandes distancias, la matriz es básicamente arenosa y en menor cantidad de limo y arcilla. El tamaño de los clastos varía desde la arcilla hasta cantos y bloques; con litología principalmente de calizas, areniscas y rocas volcánicas.



Fotografía 11: Depósitos fluviales en las riberas del río Chonta en el Caserío Carahuanga

3.2. Procedimiento

Para la realización de la presente investigación se siguen las siguientes etapas que se detallan a continuación:

3.2.1. Etapa I

Esta es una etapa preliminar donde se realiza la búsqueda y recolección de toda la información bibliográfica principalmente de estratigrafía, sedimentología, metodología de la investigación, trabajos de investigación y tesis realizadas en la zona que sirvan de apoyo para realizar la presente investigación.

3.2.2. Etapa II

Esta es una etapa de gabinete I en la cual se elaboran planos base, así como también formatos para la recolección de datos del cartografiado geológico, de la zona de investigación.

3.2.3. Etapa III

A esta etapa llamaremos en la presente investigación Campo I, es aquí donde se procede a realizar el cartografiado geológico de la geología local en un lapso de 2 a 3 salidas a campo.

3.2.4. Etapa IV

Esta es una etapa de Gabinete II, en la cual se lleva acabo el procesamiento de los datos recolectados en la etapa anterior que servirán por una parte para el avance de la tesis en los softwares de Word 2016 y Excel 2016, así como también para la elaboración del plano de geología local mediante el uso de softwares de ArcGIS 10.6 y AutoCAD 2017.

3.2.5. Etapa V

Esta es una etapa a la cual llamaremos como Campo II, es aquí donde se inicia con el levantamiento de columnas lito-bioestratigráficas de la Formación Pariatambo, reconocimiento de facies y recolectando todos los datos necesarios para cumplir con los objetivos de la tesis. Esta etapa se realiza con hasta 4 salidas a campo hasta culminar con toda la recolección de datos necesarios.

3.2.6. Etapa VI

A esta etapa lo llamaremos como Etapa de Gabinete III, aquí se realiza el procesamiento de los datos de la etapa anterior para el avance del informe en el software de Word 2016 y la elaboración de las columnas lito-bioestratigráficas en los softwares de ArcGIS 10.6 y AutoCAD 2017. Una vez realizada las columnas lito-bioestratigráficas se procederá a realizar el análisis e interpretación.

3.2.7. Etapa VII

Esta es una etapa de Gabinete IV en la que se culminará la tesis al 100%.

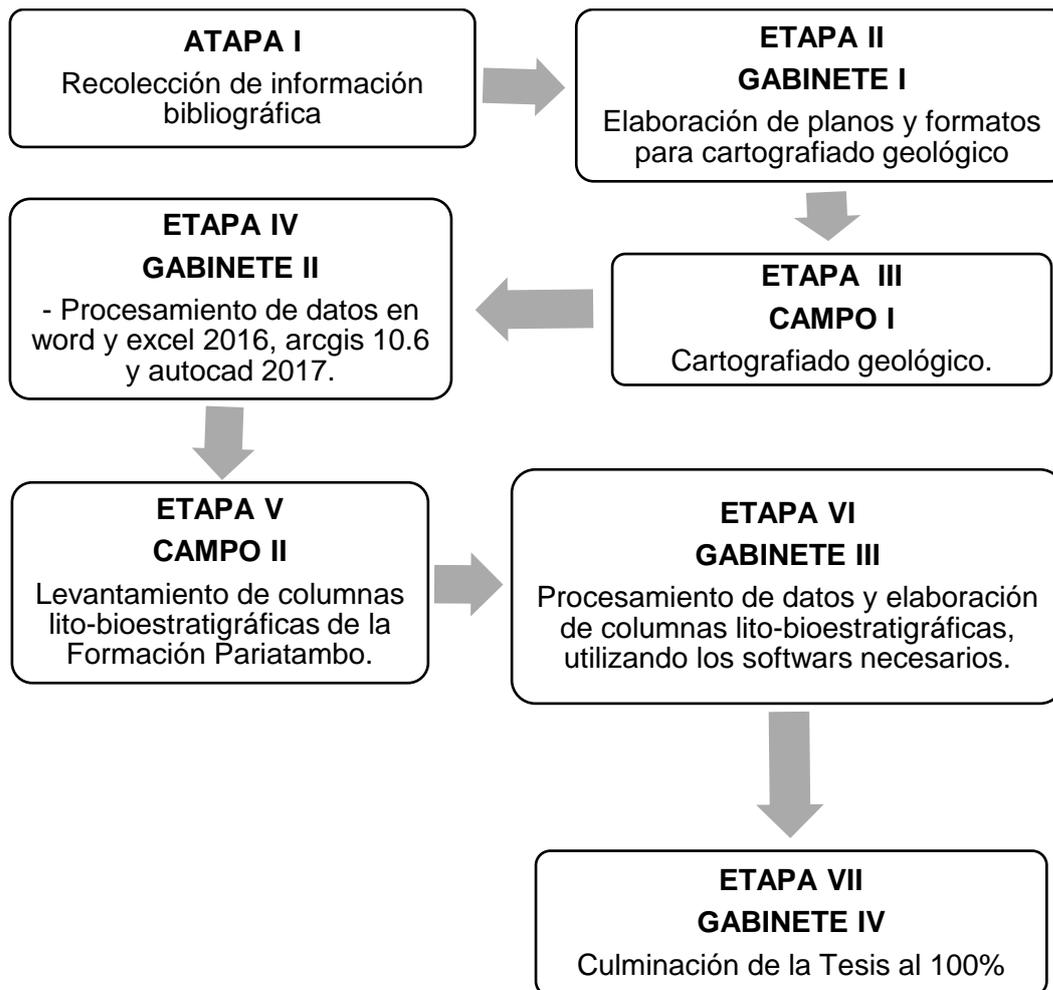


Figura 28: Procedimiento metodológico para la investigación

3.3. Metodología

3.3.1. Tipificación de la investigación

3.3.1.1. Según el tipo de conocimientos previos usados

La investigación es científica debido a que se está empleando marcos teóricos derivados de la ciencia.

3.3.1.2. Según el tipo de pregunta planteada en el problema

La presente investigación es descriptiva-explicativa-correlacional; es descriptiva porque pretende decir cómo es la realidad (caracterización Lito-bioestratigráfica de la Formación Pariatambo). Es explicativa porque trata de dar a entender las características lito-bioestratigráficas de la Formación Pariatambo y es correlacional porque trata de establecer semejanzas con otras columnas litoestratigráficas de la Formación Pariatambo.

3.3.1.3. Según el propósito de la investigación

Es una investigación aplicada, porque busca poner en práctica un marco teórico para conocer una realidad determinada: Características lito-bioestratigráficas de la Formación Pariatambo.

3.3.1.4. Según su alcance temporal

Es una investigación transversal o sincrónica, porque se realiza en un período corto en el año 2018-2021.

3.3.2. Población de estudio

Los afloramientos lito-bioestratigráficos de la Formación Pariatambo en el Caserío de Carahuanga.

3.3.3. Muestra

Está representada por la litología, textura, estructuras sedimentarias y contenido fósil de los diferentes tipos de rocas sedimentarias de la Formación Pariatambo.

3.3.4. Unidad de análisis

La unidad de análisis tiene un área aproximada de 2.5 km² sobre los estratos de la Formación Pariatambo y las características Lito-bioestratigráficas constituidas de calizas y arcillitas.

3.4. Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados

3.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1.1. Técnicas

La técnica de recolección de datos para la siguiente investigación será la utilización del método de observación directa en campo con la toma de Azimut, Buzamiento y espesores de cada uno de los estratos de la Formación Pariatambo.

3.4.1.2. Variables

Tabla 5: Variables de la investigación.

| Variable Independiente (Causa) | Variable Dependiente (Efecto) |
|----------------------------------|-------------------------------|
| Litología | |
| Textura | |
| Ambiente | Litoestratigrafía |
| Estructuras sedimentarias | |
| Cronoestratigrafía | |
| Contenido fosilífero | Bioestratigrafía |

3.4.1.3. Equipos e instrumentos

Brújula tipo brunton: Para medir rumbos y buzamientos de los estratos y otras estructuras.

GPS garmin: Para la ubicación mediante coordenadas UTM. en el plano topográfico, previa configuración en el DATUM WGS-84 zona 17S.

Picota de geólogo: Para extraer muestras de las rocas para su posterior reconocimiento de la misma.

Lupas de 10x y 20x: Para reconocer los componentes mineralógicos y microfósiles de las rocas.

Rayador: Para determinar la dureza de algunos minerales y rocas basados en la escala de Mohs.

Ácido clorhídrico: Para determinar la presencia de rocas carbonatadas.

Lápices de colores: Para realizar el cartografiado geológico.

Flexómetro de 5m. Para medir la estratificación y levantamiento de las columnas litoestratigráficas.

Plano topográfico y geológico en sistema UTM. Datum WGS-84: Se obtuvo un plano geológico del Ingemmet, como apoyo durante la realización de las etapas de campo.

Protactor 1/5000: Para la ubicación de puntos en el plano topográfico durante las etapas de campo.

Cámara fotográfica digital 16MP: Para obtener fotografías de los procedimientos realizados en campo las cuales formaran parte del informe final.

Bolsas para muestras: Para la recolección de muestras de roca, fósiles, etc.

Wincha de 50m.: Para la medición de distancias mayores a 5m, durante el levantamiento de columnas litoestratigráficas.

3.4.2. Tratamiento y análisis de datos

Con la finalidad de alcanzar con todos los objetivos planteados en la investigación se ha realizado la recolección y procesamiento de datos que a continuación detallamos.

3.4.2.1. Recolección de datos

3.4.2.1.1. Reconocimiento de litología y color

Para el estudio de la formación Pariatambo se tuvo en cuenta la coloración negruzca, grisácea de las calizas y una coloración gris de las arcillitas, con el uso de la picota de geólogo para la obtención de muestras frescas estas rocas fueron descritas según clasificaciones de Dunham 1962 y Folk 1962.

3.4.2.1.2. Reconocimiento de texturas

Para la recolección de datos de texturas de las rocas de la Formación Pariatambo se utilizaron tablas de clasificación de rocas carbonatadas de Folk y Dunham 1962.

3.4.2.1.3. Medición del espesor de la estratificación

Se hizo mediante una medición directa de los estratos utilizando un flexómetro y el respectivo formato para el registro de datos.

3.4.2.1.4. Reconocimiento de estructuras sedimentarias

Se hizo un registro de los diferentes tipos de estructuras sedimentarias, basado en el marco teórico de la presente tesis.

3.4.2.1.5. Reconocimiento de fósiles

El registro de fósiles se hizo mediante la observación directa en campo y la comparación con imágenes de fósiles tipo, según (Mayr, 1987).

El registro se hizo a nivel de Clase y Subclase, basado en la clasificación de (Linneo, 1953).

3.4.2.1.6. Reconocimiento de litofacies y biofacies

Una vez recolectado los datos de litología, texturas, contenido fosilífero se procede a la distinción de litofacies y biofacies presentes en la Formación Pariatambo.

3.4.2.2. Procesamiento de la información

Todos los datos recolectados se procesaron en diferentes softwares como: Word, Excel, AutoCAD 2017, ArcGIS 10.6.

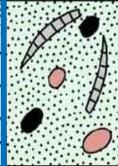
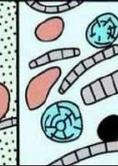
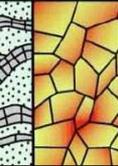
3.4.3. Presentación de resultados

3.4.3.1. Descripción Petroológica

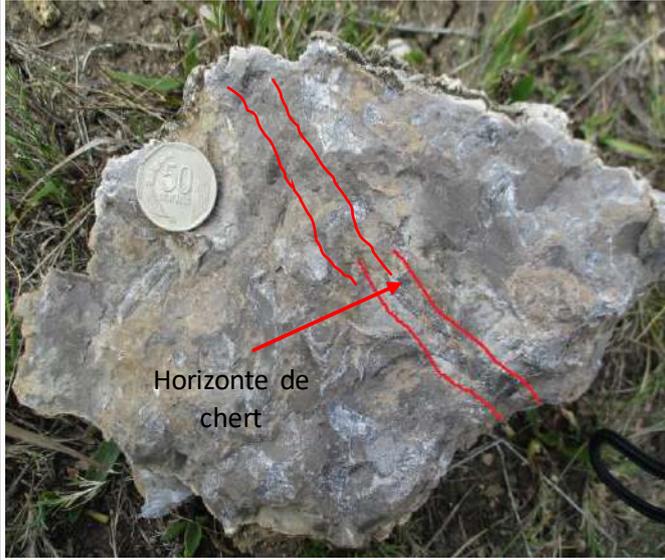
La Formación Pariatambo litoestratigráficamente se ha dividido en miembro superior, medio e inferior, los cuales están formado principalmente por calizas, arcillitas y margas de las cuales se obtuvieron muestras representativas las que se describen a continuación haciendo uso de las clasificaciones de (Dunham, 1962) y (Adams & Mackenzie, 1997).

| | | | | |
|---|---|--------------------|-------------|--|
| N° DE MUESTRA | 01 | COORDENADAS | | |
|  | ESTE | NORTE | COTA | |
| | 787962 | 9213318 | 3249 | |
| | CLASIFICACIÓN SEGÚN FOLK, MODIFICADO DE MOORE 2002 | | | |
| Según la clasificación de Folk es una micrita dismicrita. | | | | |
| CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM | | | | |
| Caliza mudstone de color gris claro | | | | |

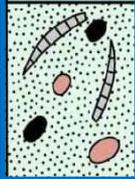
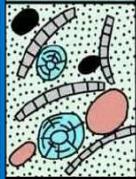
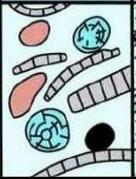
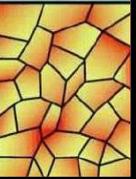
| Más de 2/3 de matriz micrítica | | | | Esparita y micrita en proporciones similares | Más de 2/3 de cemento esparítico | | |
|---|---|---|---|---|--|---|---|
| 0 - 1% de aloquímicos | 1 - 10% de aloquímicos | 10 - 50% de aloquímicos | Más del 50% de aloquímicos | | Escasa selección | Buena selección | Redondeados y erosionados |
| Micrita y dismicrita | Micrita fosilífera | Biomicrita dispersa | Biomicrita enpaquetada | Bioesparita escasamente lavada | Bioesparita mal seleccionada | Bioesparita bien seleccionada | Bioesparita redondeada |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| ■ Matriz micrítica | | ▨ Cemento de calcita esparítica | | | | | |

| Textura deposicional reconocible | | | | Textura deposicional no reconocible | |
|---|---|---|---|---|---|
| Componentes originales no unidos durante la sedimentación | | | Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico | Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción | |
| Con barro micrítico | | Esqueleto grano-soportado | | | |
| Esqueleto matriz-soportado | Esqueleto matriz-soportado | | | | |
| < 10 % granos | > 10 % granos | | | | |
| Mudstone | Wackestone | Packstone | Grainstone | Boundstone | Cristalina |
|  |  |  |  |  |  |

Fotografía 12: Clasificación macroscópica de la muestra 01, según Dunham y Folk. Muestra de mano de una caliza mudstone de color gris claro con presencia de venillas de calcita, no se evidencian macrofósiles. Muestra perteneciente al Miembro Superior.

| | | | | | | |
|---|--------|---------|------|---|--|--|
| N° DE MUESTRA | 02 | | | COORDENADAS | | |
| | ESTE | NORTE | COTA | | | |
| | 787774 | 9213302 | 3246 | CLASIFICACIÓN SEGÚN FOLK, MODIFICADO DE MOORE 2002 | | |
|  <p>Horizonte de chert</p> | | | | Según la clasificación de Folk es una micrita fosilífera | | |
| | | | | CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM | | |
| | | | | Caliza wackestone de color gris claro, con presencia de óxidos y se logra observar también nódulos y un horizonte de chert. | | |

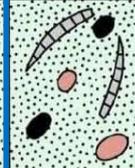
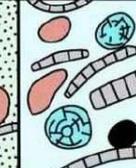
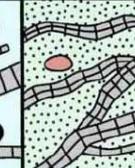
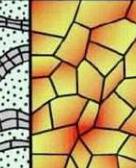
| Más de 2/3 de matriz micrítica | | | | Esparita y micrita en proporciones similares | Más de 2/3 de cemento esparítico | | |
|---|---|---|---|---|--|---|---|
| 0 - 1% de aloquímicos | 1 - 10% de aloquímicos | 10 - 50% de aloquímicos | Más del 50% de aloquímicos | | Escasa selección | Buena selección | Redondeados y erosionados |
| Micrita y dismicrita | Micrita fosilífera | Biomicrita dispersa | Biomicrita enpaquetada | Bioesparita escasamente lavada | Bioesparita mal seleccionada | Bioesparita bien seleccionada | Bioesparita redondeada |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Matriz micrítica | | Cemento de calcita esparítica | | | | | |

| Textura deposicional reconocible | | | | | Textura deposicional no reconocible |
|---|---|---|---|---|--|
| Componentes originales no unidos durante la sedimentación | | | | Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción | |
| Con barro micrítico | | | Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico | | |
| Esqueleto matriz-soportado | Esqueleto grano-soportado | | | | |
| < 10 % granos | > 10 % granos | | | | |
| Mudstone | Wackestone | Packstone | Grainstone | Boundstone | Cristalina |
|  |  |  |  |  |  |

Fotografía 13: Clasificación macroscópica de la muestra 02, según Dunham y Folk. Muestra de mano de una caliza Wackestone donde se observan pequeños fósiles de bivalvos, venillas de calcita. Muestra perteneciente al Miembro Superior.

| | | | | | |
|--|-------------|--------------|--------------------|--|--|
| N° DE MUESTRA | 03 | | COORDENADAS | | |
|  | ESTE | NORTE | COTA | | |
| | 787725 | 9213369 | 3228 | | |
| CLASIFICACIÓN SEGÚN FOLK, MODIFICADO DE MOORE 2002 | | | | | |
| Según la clasificación de Folk es una micrita fosilífera | | | | | |
| CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM | | | | | |
| Caliza wackestone de color gris oscuro, presentan venillas de calcita y olor fétido al fracturarlos. | | | | | |

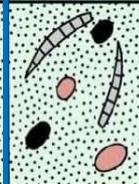
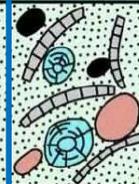
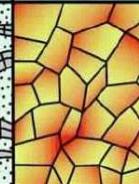
| Más de 2/3 de matriz micrítica | | | | Esparita y micrita en proporciones similares | Más de 2/3 de cemento esparítico | | |
|---|---|---|---|---|--|---|---|
| 0 - 1% de aloquímicos | 1 - 10% de aloquímicos | 10 - 50% de aloquímicos | Más del 50% de aloquímicos | | Escasa selección | Buena selección | Redondeados y erosionados |
| Micrita y dismicrita | Micrita fosilífera | Biomicrita dispersa | Biomicrita enpaquetada | Bioesparita escasamente lavada | Bioesparita mal seleccionada | Bioesparita bien seleccionada | Bioesparita redondeada |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Matriz micrítica | | | | Cemento de calcita esparítica | | | |

| Textura deposicional reconocible | | | | Textura deposicional no reconocible | |
|---|---|---|---|---|--|
| Componentes originales no unidos durante la sedimentación | | | | Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción | |
| Con barro micrítico | | | Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico | | |
| Esqueleto matriz-soportado | | Esqueleto grano-soportado | | | |
| < 10 % granos | > 10 % granos | | | | |
| Mudstone | Wackestone | Packstone | Grainstone | Boundstone | Cristalina |
|  |  |  |  |  |  |

Fotografía 14: Clasificación macroscópica de la muestra 03, según Dunham y Folk. Muestra de mano de una caliza Wackestone donde se observan pequeños fósiles de bivalvos, venillas de calcita. Muestra perteneciente al Miembro Superior.

| | | | | |
|--|---|-------------|------|--|
| Nº DE MUESTRA | 04 | COORDENADAS | | |
|  | ESTE | NORTE | COTA | |
| | 787691 | 9213307 | 3235 | |
| | CLASIFICACIÓN SEGÚN FOLK, MODIFICADO DE MOORE 2002 | | | |
| Según la clasificación de Folk es una micrita fosilífera, presencia de microfósiles. | | | | |
| CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM | | | | |
| Caliza wackestone de color gris pardo, presentan nódulos de chert. | | | | |

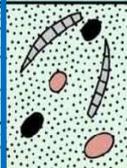
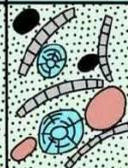
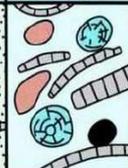
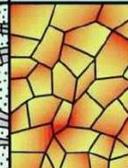
| Más de 2/3 de matriz micrítica | | | | Esparita y micrita en proporciones similares | Más de 2/3 de cemento esparítico | | |
|---|---|---|---|---|--|---|---|
| 0 - 1% de aloquímicos | 1 - 10% de aloquímicos | 10 - 50% de aloquímicos | Más del 50% de aloquímicos | | Escasa selección | Buena selección | Redondeados y erosionados |
| Micrita y dismicrita | Micrita fosilífera | Biomicrita dispersa | Biomicrita enpaquetada | Bioesparita escasamente lavada | Bioesparita mal seleccionada | Bioesparita bien seleccionada | Bioesparita redondeada |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| ■ Matriz micrítica | | ▨ Cemento de calcita esparítica | | | | | |

| Textura deposicional reconocible | | | | | Textura deposicional no reconocible |
|---|---|---|---|---|--|
| Componentes originales no unidos durante la sedimentación | | | | Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción | |
| Con barro micrítico | | | Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico | | |
| Esqueleto matriz-soportado | Esqueleto grano-soportado | | | | |
| < 10 % granos | > 10 % granos | | | | |
| Mudstone | Wackestone | Packstone | Grainstone | Boundstone | Cristalina |
|  |  |  |  |  |  |

Fotografía 15: Clasificación macroscópica de la muestra 04, según Dunham y Folk. Muestra de mano de una caliza Wackestone donde se observan pequeños fósiles de bivalvos, venillas de calcita. Muestra perteneciente al Miembro Inferior.

| | | | | |
|---|--|--------------------|-------------|--|
| N° DE MUESTRA | 05 | COORDENADAS | | |
|  | ESTE | NORTE | COTA | |
| | 787097 | 9213427 | 3178 | |
| | CLASIFICACIÓN SEGÚN FOLK, MODIFICADO DE MOORE 2002 | | | |
| | Según la clasificación de Folk es una micrita y dismicrita | | | |
| CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM | | | | |
| Caliza mudstone de color gris, presentan nódulos de chert. | | | | |

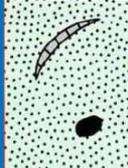
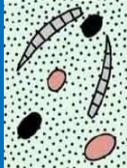
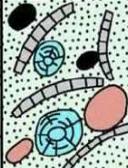
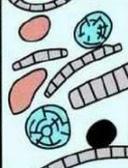
| Más de 2/3 de matriz micrítica | | | | Esparita y micrita en proporciones similares | Más de 2/3 de cemento esparítico | | |
|--|---|---|---|---|--|---|---|
| 0 - 1% de aloquímicos | 1 - 10% de aloquímicos | 10 - 50% de aloquímicos | Más del 50% de aloquímicos | | Escasa selección | Buena selección | Redondeados y erosionados |
| Micrita y dismicrita | Micrita fosilífera | Biomicrita dispersa | Biomicrita enpaquetada | Bioesparita escasamente lavada | Bioesparita mal seleccionada | Bioesparita bien seleccionada | Bioesparita redondeada |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  Matriz micrítica | | | |  Cemento de calcita esparítica | | | |

| Textura deposicional reconocible | | | | | Textura deposicional no reconocible | |
|---|---|---|---|---|--|--|
| Componentes originales no unidos durante la sedimentación | | | | Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico | | Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción |
| Con barro micrítico | | | Esqueleto grano-soportado | | | |
| Esqueleto matriz-soportado | | Esqueleto | | | | |
| < 10 % granos | > 10 % granos | | | | | |
| Mudstone | Wackestone | Packstone | Grainstone | Boundstone | Cristalina | |
|  |  |  |  |  |  | |

Fotografía 16: Clasificación macroscópica de la muestra 05, según Dunham y Folk. Muestra de mano de una caliza mudstone de color gris con presencia de venillas de calcita, no se evidencian macrofósiles. Muestra perteneciente al Miembro Inferior.

| | | | | |
|---|--|--------------------|-------------|--|
| N° DE MUESTRA | 06 | COORDENADAS | | |
|  | ESTE | NORTE | COTA | |
| | 787056 | 9213419 | 3175 | |
| | CLASIFICACIÓN SEGÚN FOLK, MODIFICADO DE MOORE 2002 | | | |
| | Según la clasificación de Folk es una micrita y dismicrita | | | |
| CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM | | | | |
| Caliza mudstone de color gris amarillento. | | | | |

| Más de 2/3 de matriz micrítica | | | | Esparita y micrita en proporciones similares | Más de 2/3 de cemento esparítico | | |
|---|---|---|---|---|--|---|---|
| 0 - 1% de aloquímicos | 1 - 10% de aloquímicos | 10 - 50% de aloquímicos | Más del 50% de aloquímicos | | Escasa selección | Buena selección | Redondeados y erosionados |
| Micrita y dismicrita | Micrita fosilífera | Biomicrita dispersa | Biomicrita enpaquetada | Bioesparita escasamente lavada | Bioesparita mal seleccionada | Bioesparita bien seleccionada | Bioesparita redondeada |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| ■ Matriz micrítica | | | | ▨ Cemento de caliza esparítica | | | |

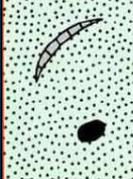
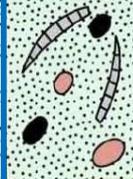
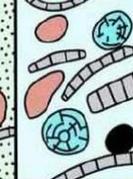
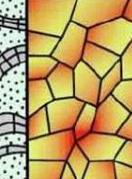
| Textura deposicional reconocible | | | | Textura deposicional no reconocible | |
|---|---|---|---|---|--|
| Componentes originales no unidos durante la sedimentación | | | Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico | Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción | Cristalina |
| Con barro micrítico | | Esqueleto grano-soportado | | | |
| Esqueleto matriz-soportado | Esqueleto matriz-soportado | | Esqueleto matriz-soportado | | |
| < 10 % granos | > 10 % granos | > 10 % granos | | | |
| Mudstone | Wackestone | Packstone | Grainstone | Boundstone | Cristalina |
|  |  |  |  |  |  |

Fotografía 17: Clasificación macroscópica de la muestra 06, según Dunham y Folk. Muestra de mano de una caliza mudstone de color gris amarillento con presencia de pátinas de óxidos de hierro, no se evidencian macrofósiles. Muestra perteneciente al Miembro Medio.

| | | | | | |
|---|---|--------------|--------------------|--|--|
| N° DE MUESTRA | 07 | | COORDENADAS | | |
|  | ESTE | NORTE | COTA | | |
| | 787005 | 9213425 | 3170 | | |
| | CLASIFICACIÓN SEGÚN FOLK, MODIFICADO DE MOORE 2002 | | | | |
| Según la clasificación de Folk es una micrita y dismicrita | | | | | |
| CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM | | | | | |
| Caliza mudstone de color gris. | | | | | |

| Más de 2/3 de matriz micrítica | | | | Esparita y micrita en proporciones similares | Más de 2/3 de cemento esparítico | | |
|--|--|--|--|--|---|--|--|
| 0 - 1% de aloquimicos | 1 - 10% de aloquimicos | 10 - 50% de aloquimicos | Más del 50% de aloquimicos | | Escasa selección | Buena selección | Redondeados y erosionados |
| Micrita y dismicrita | Micrita fosilífera | Biomicrita dispersa | Biomicrita enpaquetada | Bioesparita escasamente lavada | Bioesparita mal seleccionada | Bioesparita bien seleccionada | Bioesparita redondeada |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

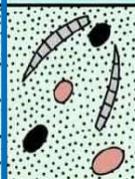
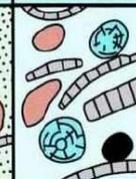
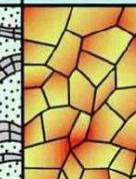
 Matriz micrítica
  Cemento de calcita esparítica

| Textura deposicional reconocible | | | | | Textura deposicional no reconocible |
|---|---|---|---|---|--|
| Componentes originales no unidos durante la sedimentación | | | | Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción | |
| Con barro micrítico | | | Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico | | |
| Esqueleto matriz-soportado | | Esqueleto grano-soportado | | | |
| < 10 % granos | > 10 % granos | | | | |
| Mudstone | Wackestone | Packstone | Grainstone | Boundstone | Cristalina |
|  |  |  |  |  |  |

Fotografía 18: Clasificación macroscópica de la muestra 07, según Dunham y Folk. Muestra de mano de una caliza mudstone de color gris, no se evidencian macrofósiles. Muestra perteneciente al Miembro Medio.

| | | | | |
|---|---|--------------------|-------------|--|
| N° DE MUESTRA | 08 | COORDENADAS | | |
|  | ESTE | NORTE | COTA | |
| | 786974 | 9213423 | 3171 | |
| | CLASIFICACIÓN SEGÚN FOLK, MODIFICADO DE MOORE 2002 | | | |
| | Según la clasificación de Folk es una micrita fosilífera. | | | |
| CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM | | | | |
| Caliza wackestone de color gris amarillento, con nódulos de chert. | | | | |

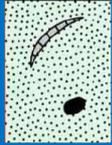
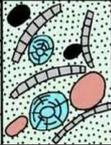
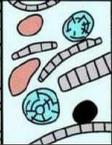
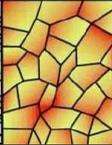
| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|--|---|---|
| Más de 2/3 de matriz micrítica | | | | Esparita y micrita en proporciones similares | Más de 2/3 de cemento esparítico | | |
| 0 - 1% de aloquímicos | 1 - 10% de aloquímicos | 10 - 50% de aloquímicos | Más del 50% de aloquímicos | | Escasa selección | Buena selección | Redondeados y erosionados |
| Micrita y dismicrita | Micrita fosilífera | Biomcrita dispersa | Biomcrita enpaquetada | Bioesparita escasamente lavada | Bioesparita mal seleccionada | Bioesparita bien seleccionada | Bioesparita redondeada |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| Matriz micrítica | | Cemento de calcita esparítica | | | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|--|
| Textura deposicional reconocible | | | | | Textura deposicional no reconocible |
| Componentes originales no unidos durante la sedimentación | | | | Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción | |
| Con barro micrítico | | | Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico | | |
| Esqueleto matriz-soportado | | Esqueleto grano-soportado | | | |
| < 10 % granos | > 10 % granos | | | | |
| Mudstone | Wackestone | Packstone | Grainstone | Boundstone | Cristalina |
|  |  |  |  |  |  |

Fotografía 19: Clasificación macroscópica de la muestra 08, según Dunham y Folk. Muestra de mano de una caliza Wackestone donde se observan pequeños fósiles de bivalvos y pequeños nódulos de chert. Muestra perteneciente al Miembro Superior.

| | | | | |
|--|--|--------------------|-------------|--|
| N° DE MUESTRA | 09 | COORDENADAS | | |
|  | ESTE | NORTE | COTA | |
| | 786799 | 9213604 | 3135 | |
| | CLASIFICACIÓN SEGÚN FOLK, MODIFICADO DE MOORE 2002 | | | |
| | Según la clasificación de Folk es una micrita y dismicrita | | | |
| CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM | | | | |
| Caliza mudstone de color gris pardo, con presencia de nódulos calcáreos, se observa también venillas de calcita. | | | | |

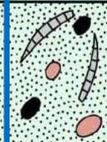
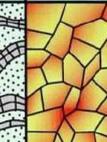
| Más de 2/3 de matriz micrítica | | | | Esparita y micrita en proporciones similares | Más de 2/3 de cemento esparítico | | |
|---|---|---|---|---|--|---|---|
| 0 - 1% de aloquímicos | 1 - 10% de aloquímicos | 10 - 50% de aloquímicos | Más del 50% de aloquímicos | | Escasa selección | Buena selección | Redondeados y erosionados |
| Micrita y dismicrita | Micrita fosilífera | Biomicrita dispersa | Biomicrita enpaquetada | Bioesparita escasamente lavada | Bioesparita mal seleccionada | Bioesparita bien seleccionada | Bioesparita redondeada |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| ■ Matriz micrítica | | | | ▨ Cemento de calcita esparítica | | | |

| Textura deposicional reconocible | | | | Textura deposicional no reconocible | |
|---|---|---|---|---|--|
| Componentes originales no unidos durante la sedimentación | | | | Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción | |
| Con barro micrítico | | | Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico | | |
| Esqueleto matriz-soportado | | Esqueleto grano-soportado | | | |
| < 10 % granos | > 10 % granos | | | | |
| Mudstone | Wackestone | Packstone | Grainstone | Boundstone | Cristalina |
|  |  |  |  |  |  |

Fotografía 20: Clasificación macroscópica de la muestra 09, según Dunham y Folk. Muestra de mano de una caliza mudstone de color gris pardo con presencia de pátinas de óxidos de hierro, no se evidencian macrofósiles. Muestra perteneciente al Miembro Inferior.

| | | | | |
|---|-----------|---|--------------|-------------|
| N° DE MUESTRA | 10 | COORDENADAS | | |
|  | | ESTE | NORTE | COTA |
| | | 786801 | 9213615 | 3137 |
| | | CLASIFICACIÓN SEGÚN FOLK, MODIFICADO DE MOORE 2002 | | |
| Según la clasificación de Folk es una micrita folífera. | | | | |
| CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM | | | | |
| Caliza wackestone de color gris, presenta nódulos calcáreos y de chert. | | | | |

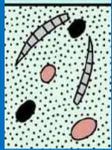
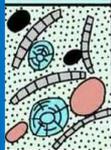
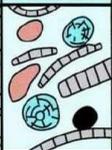
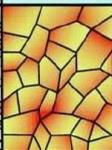
| Más de 2/3 de matriz micrítica | | | | Esparita y micrita en proporciones similares | Más de 2/3 de cemento esparítico | | |
|---|---|---|---|---|--|---|---|
| 0 - 1% de aloquímicos | 1 - 10% de aloquímicos | 10 - 50% de aloquímicos | Más del 50% de aloquímicos | | Escasa selección | Buena selección | Redondeados y erosionados |
| Micrita y dismicrita | Micrita fosilífera | Biomicrita dispersa | Biomicrita enpaquetada | Bioesparita escasamente lavada | Bioesparita mal seleccionada | Bioesparita bien seleccionada | Bioesparita redondeada |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| ■ Matriz micrítica | | ▨ Cemento de calcita esparítica | | | | | |

| Textura deposicional reconocible | | | | | Textura deposicional no reconocible |
|---|---|---|---|---|--|
| Componentes originales no unidos durante la sedimentación | | | | Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción | |
| Con barro micrítico | | | Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico | | |
| Esqueleto matriz-soportado | Esqueleto grano-soportado | | | | |
| < 10 % granos | > 10 % granos | | | | |
| Mudstone | Wackestone | Packstone | Grainstone | Boundstone | Cristalina |
|  |  |  |  |  |  |

Fotografía 21: Clasificación macroscópica de la muestra 10, según Dunham y Folk. Muestra de mano de una caliza Wackestone de color gris donde se observan pequeños fósiles de bivalvos y nódulos de chert. Muestra perteneciente al Miembro Medio.

| | | | | | | |
|--|---|--------------|-------------|--------------------|--|--|
| N° DE MUESTRA | 11 | | | COORDENADAS | | |
|  | ESTE | NORTE | COTA | | | |
| | 786798 | 9213618 | 3138 | | | |
| | CLASIFICACIÓN SEGÚN FOLK, MODIFICADO DE MOORE 2002 | | | | | |
| | Según la clasificación de Folk es una micrita folífera. | | | | | |
| CLASIFICACIÓN SEGÚN DUNHAM | | | | | | |
| Caliza wackestone bituminosa de color gris, presenta nódulos y un olor fétido al fracturalo. | | | | | | |

| Más de 2/3 de matriz micrítica | | | | Esparita y micrita en proporciones similares | Más de 2/3 de cemento esparítico | | |
|---|---|---|---|---|--|---|---|
| 0 - 1% de aloquímicos | 1 - 10% de aloquímicos | 10 - 50% de aloquímicos | Más del 50% de aloquímicos | | Escasa selección | Buena selección | Redondeados y erosionados |
| Micrita y dismicrita | Micrita fosilífera | Biomicrita dispersa | Biomicrita enpaquetada | Bioesparita escasamente lavada | Bioesparita mal seleccionada | Bioesparita bien seleccionada | Bioesparita redondeada |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| ■ Matriz micrítica | | ▨ Cemento de calcita esparítica | | | | | |

| Textura deposicional reconocible | | | | | Textura deposicional no reconocible |
|---|---|---|---|---|--|
| Componentes originales no unidos durante la sedimentación | | | | Componentes originales unidos durante el desarrollo de una bioconstrucción | |
| Con barro micrítico | | | Esqueleto clasto-soportado sin barro micrítico | | |
| Esqueleto matriz-soportado | Esqueleto grano-soportado | | | | |
| < 10 % granos | > 10 % granos | | | | |
| Mudstone | Wackestone | Packstone | Grainstone | Boundstone | Cristalina |
|  |  |  |  |  |  |

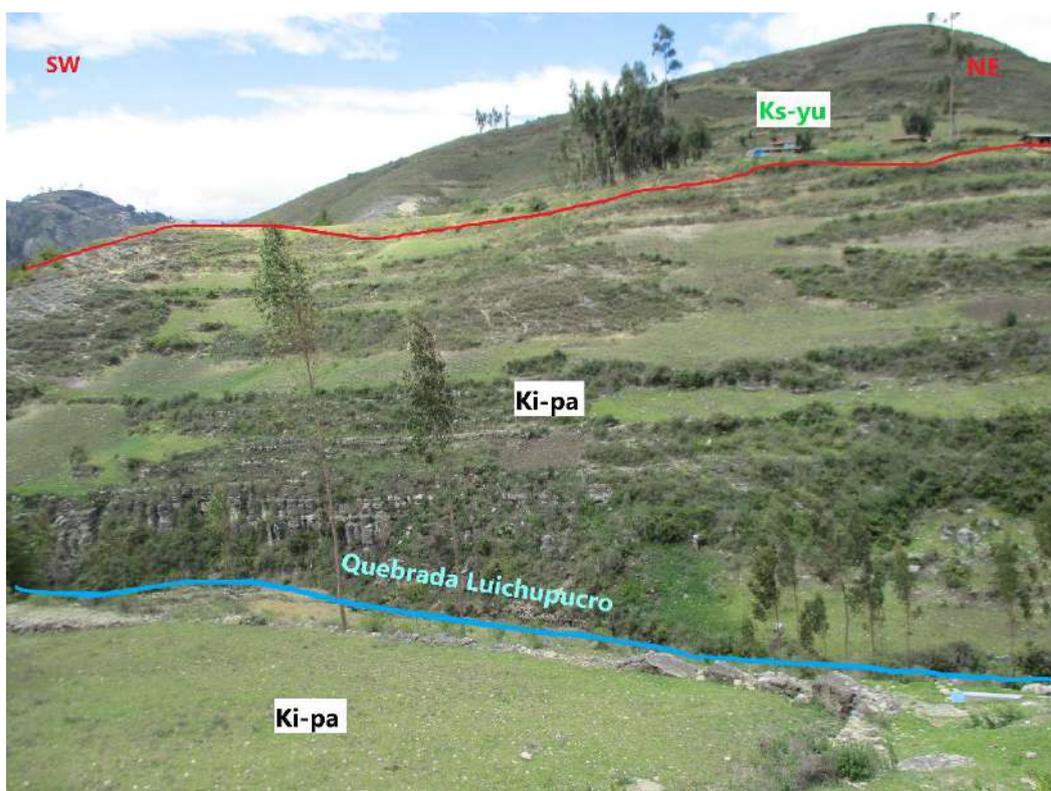
Fotografía 22: Clasificación macroscópica de la muestra 11, según Dunham y Folk. Muestra de mano de una caliza Wackestone donde se observan pequeños fósiles de bivalvos y pequeños nódulos calcáreos. Muestra perteneciente al Miembro Superior.

3.4.3.2. Estratigrafía

La Formación Pariatambo aflora entre los Centros Poblados de Carahuanga y Luichupucro, debido a la acción erosiva de las aguas de la quebrada Luichupucro y el Río Chonta.

3.4.3.2.1. Litoestratigrafía

La Formación Pariatambo se divide en tres unidades litoestratigráficas: Miembro Inferior, Miembro Medio y Miembro Superior.



Fotografía 23: Vista panorámica de la Formación Pariatambo en la margen izquierda de la quebrada Luichupucro, en el centro poblado de Carahuanga.

Unidades Litoestratigráficas

A. MIEMBRO INFERIOR

✓ Espesor

El espesor del miembro inferior en la zona de estudio es de 28m para lo cual se elaboró una columna estratigráfica que se puede ver en los anexos – Columna lito-bioestratigráfica 01.

Tabla 6: Cotas de la base y techo del miembro inferior

| MIEMBRO INFERIOR | | | |
|------------------|---------|--------|---------|
| BASE | | TECHO | |
| ESTE | NORTE | ESTE | NORTE |
| 784802 | 9214127 | 785792 | 9213782 |

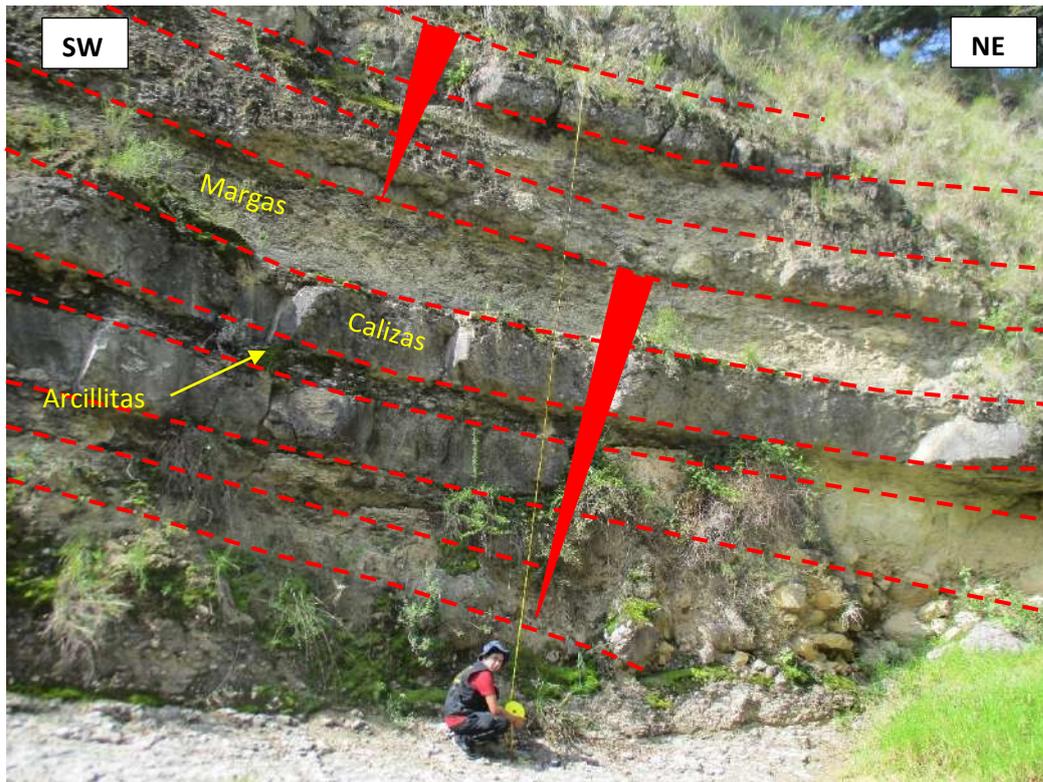
✓ Litología

El Miembro Inferior de la Formación Pariatambo consta en la base de estratos de calizas de 1 a 3 m de espesor intercalado con secuencias rítmicas de calizas nodulares mudstone de 15 a 20cm de espesor intercaladas con arcillitas de 20 a 25cm de espesor.



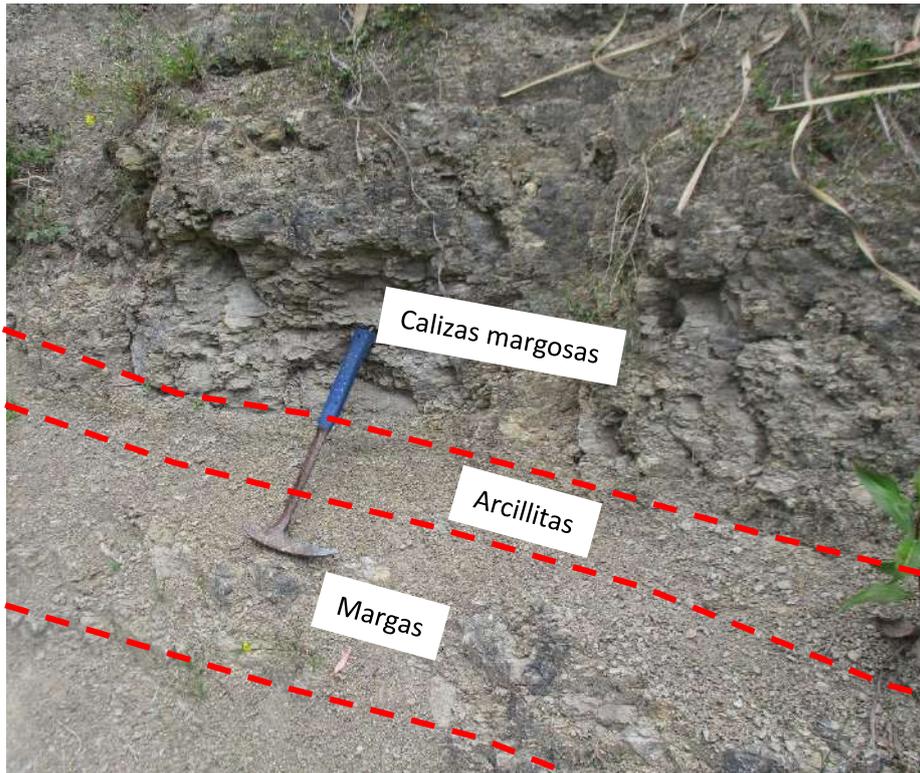
Fotografía 24: Secuencia rítmica de calizas intercaladas con arcillitas en la base del miembro inferior de la Formación Pariatambo en la quebrada Luichupucro. Coordenadas, N:9213640, E:786415 y Cota: 3074 msnm.

Esta unidad litoestratigráfica consta de una secuencia de calizas mudstone bituminosas y laminadas con olor fétido al fracturarla, con presencia de pequeños fósiles de ammonites, intercaladas con arcillitas grises, seguidas de una intercalación rítmica creciente de margas con calizas mudstone.



Fotografía 25: Secuencia rítmica creciente de calizas Mudstone bituminosas intercaladas con margas del miembro inferior de la Formación Pariatambo
Coordenadas, N:9213587, E:786724 y Cota: 3125 msnm.

La parte superior de esta unidad litoestratigráfica, consta de una secuencia rítmica creciente de intercalación de calizas margosas y arcillitas con sedimentos de limo y arcilla compactados de 20 a 30 cm de espesor.



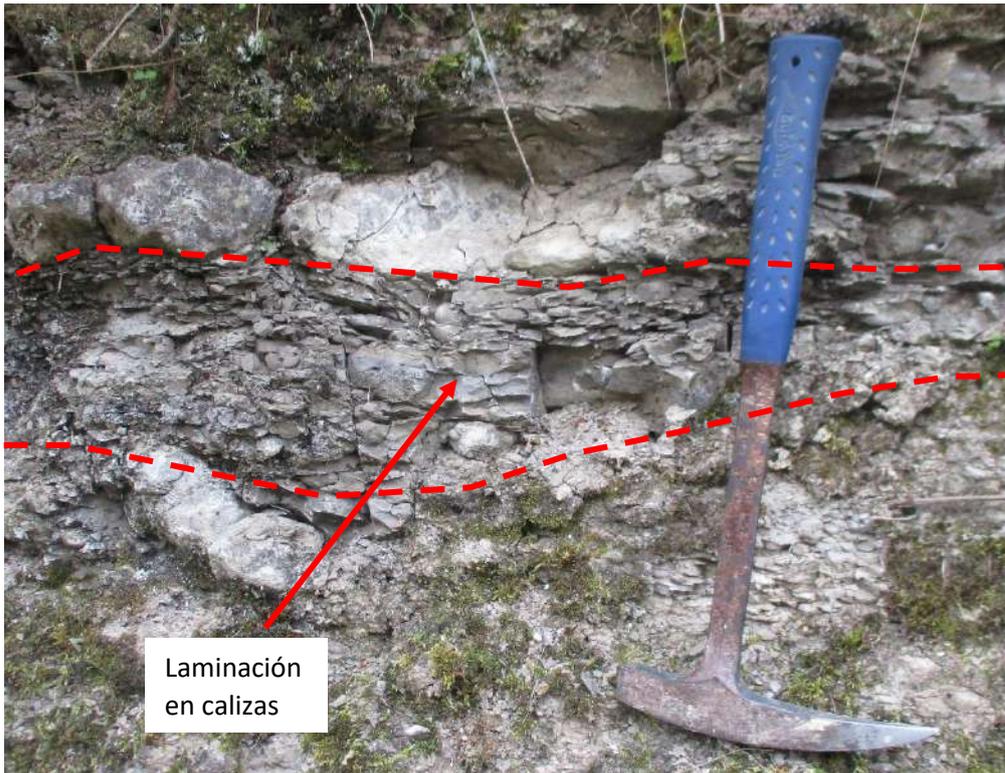
Fotografía 26: Afloramiento rocoso del miembro inferior de la Formación Pariatambo donde se observa una intercalación de calizas margosas y arcillitas. Coordenadas, N:9213582, E:786243 y Cota: 3049 msnm.

✓ **Estructuras sedimentarias sindeposicional**

En el miembro inferior se identificaron estructuras primarias principalmente:

La laminación

Consiste con superficies delgadas de 0.5 a 1 cm de espesor presentes en las calizas bituminosas, ubicadas en la base de la Formación Pariatambo.



Fotografía 27: Laminación en calizas bituminosas de la Formación Pariatambo en la quebrada Luichupucro. Coordenadas, N:9213587, E:786724 y Cota: 3125 msnm.

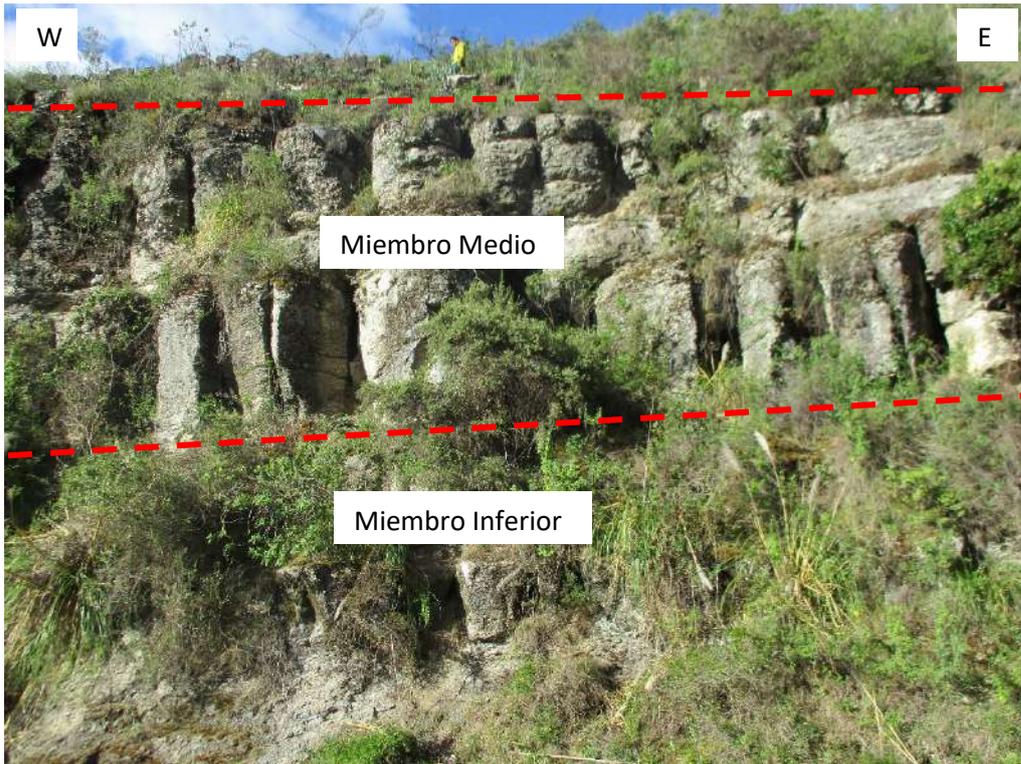
B. MIEMBRO MEDIO

▪ Espesor

El espesor del miembro medio es de 58m para lo cual se elaboró una columna estratigráfica que se puede ver en los anexos – Columna lito-bioestratigráfica 02.

Tabla 7: Cotas de la base y techo estudiado del miembro medio

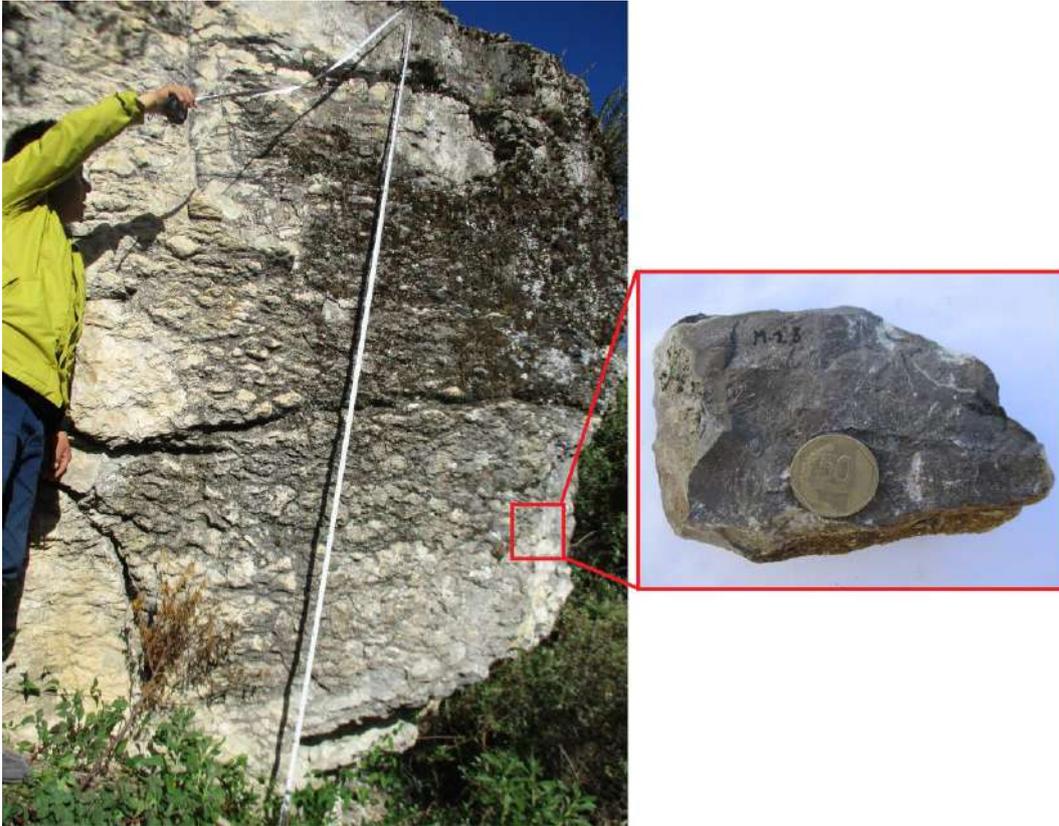
| MIEMBRO MEDIO | | | |
|---------------|---------|--------|---------|
| BASE | | TECHO | |
| ESTE | NORTE | ESTE | NORTE |
| 785792 | 9213782 | 786787 | 9213602 |



Fotografía 28: Vista del Miembro medio de la Formación Pariatambo en el margen derecho de la Quebrada Luichupucro, Centro Poblado de Luichupucro.

▪ **Litología**

El miembro medio, está formada por un estrato de caliza nodular de 2 a 3 m de espesor en la base, seguida por una secuencia rítmica de calizas de 12 a 80 cm de espesor intercaladas con arcillitas de 15 cm a 1.2 m de espesor, observándose en algunos estratos de caliza que alcanzan un espesor de 2 metros, tiene un color blanquecino por la meteorización en la zona.



Fotografía 29: Afloramiento de calizas nodulares en la base del miembro medio de la Formación Pariatambo en la quebrada Luichupucro. Coordenadas, N:9213578, E:786935 y Cota: 3139 msnm.

En la parte superior del miembro medio, está compuesto por una secuencia rítmica de intercalaciones de calizas mudstone bituminosas nodulares y arcillitas de espesores de 10 cm a 1m de espesor.



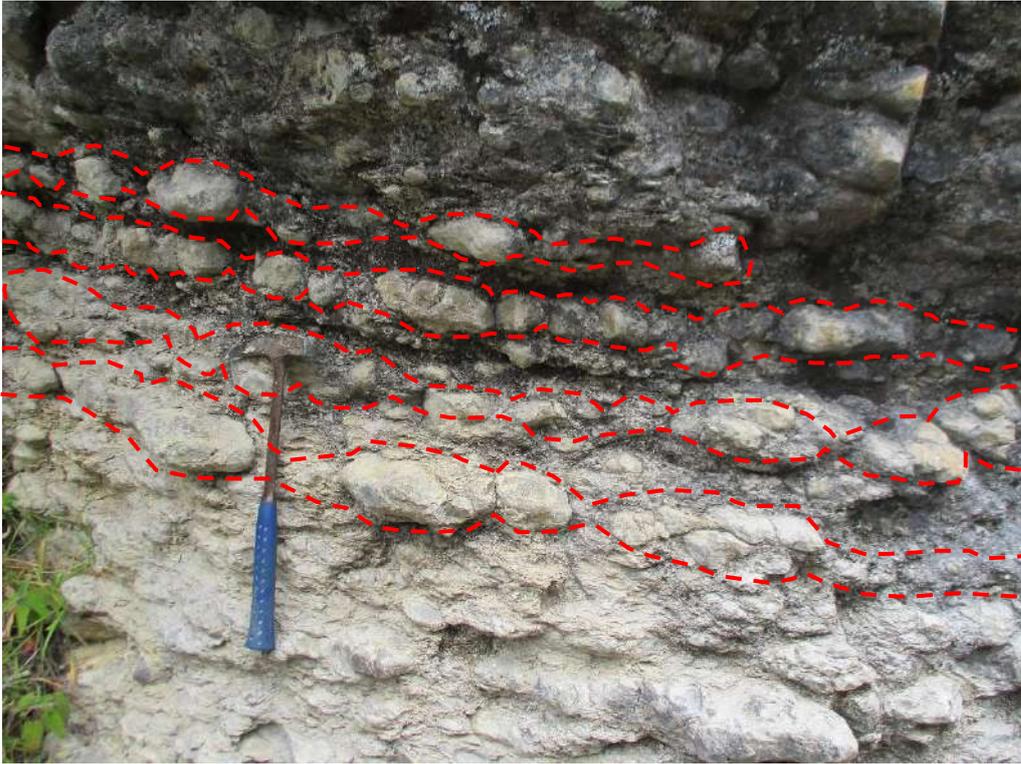
Fotografía 30: Secuencia rítmica de calizas nodulares y arcillitas, del miembro medio de la Formación Pariatambo.

- **Estructuras sedimentarias post depositacional**

En el miembro medio se identificaron las siguientes estructuras sedimentaria:

Estratificación lenticular

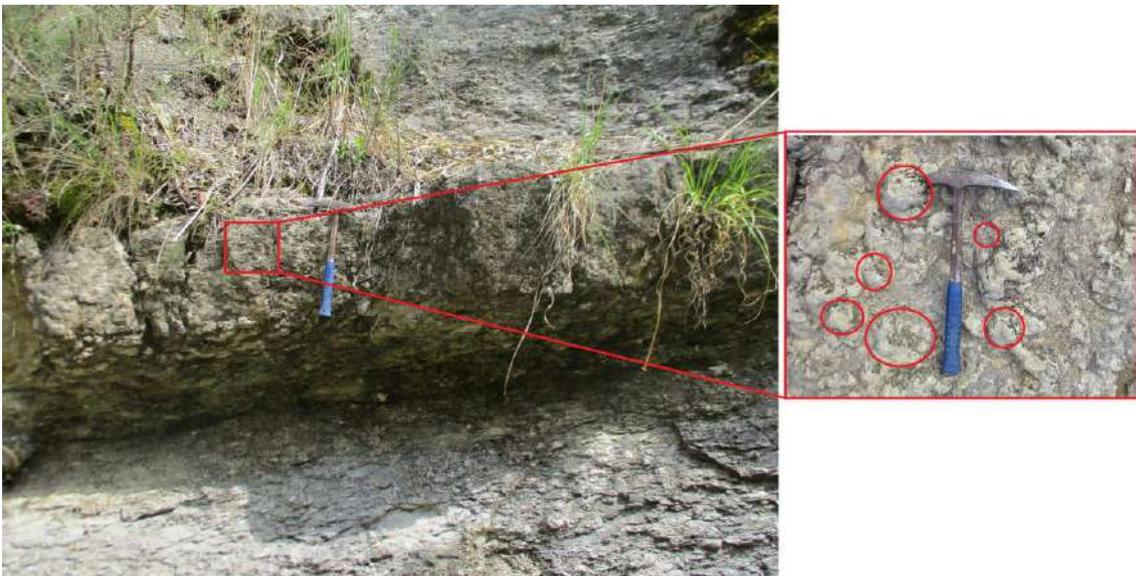
Esta estructura sin-sedimentaria se presenta en estratos de caliza intercalada con estratos de arcillitas.



Fotografía 31: Estratificación lenticular en calizas mudstone nodulares en el miembro medio de la Formación Pariatambo.

Nódulos carbonatados

Están presentes en las calizas del miembro medio, estos cuerpos esféricos a subsféricos son de origen postdepositacionales.



Fotografía 32: Secuencia de calizas nodulares del miembro medio de la Formación Pariatambo en la quebrada Luichupucro. Coordenadas, N:9213632, E:786356 y Cota: 3067 msnm.

Bioturbaciones

Se forman por biodegradación de un componente carbonático (sedimento o roca) por actividad orgánica, se produce por la destrucción parcial o total de las texturas originales, creando así una porosidad secundaria denominada burrows, y al producirse la disolución de las rocas carbonatadas estas bioturbaciones son rellenadas por carbonato de calcio formando una estructura tipo vetillas.



Fotografía 33: Bioturbación en calizas nodulares del Miembro Medio de la Formación Pariatambo. Coordenadas, N:9213632, E:786356 y Cota: 3067 msnm.

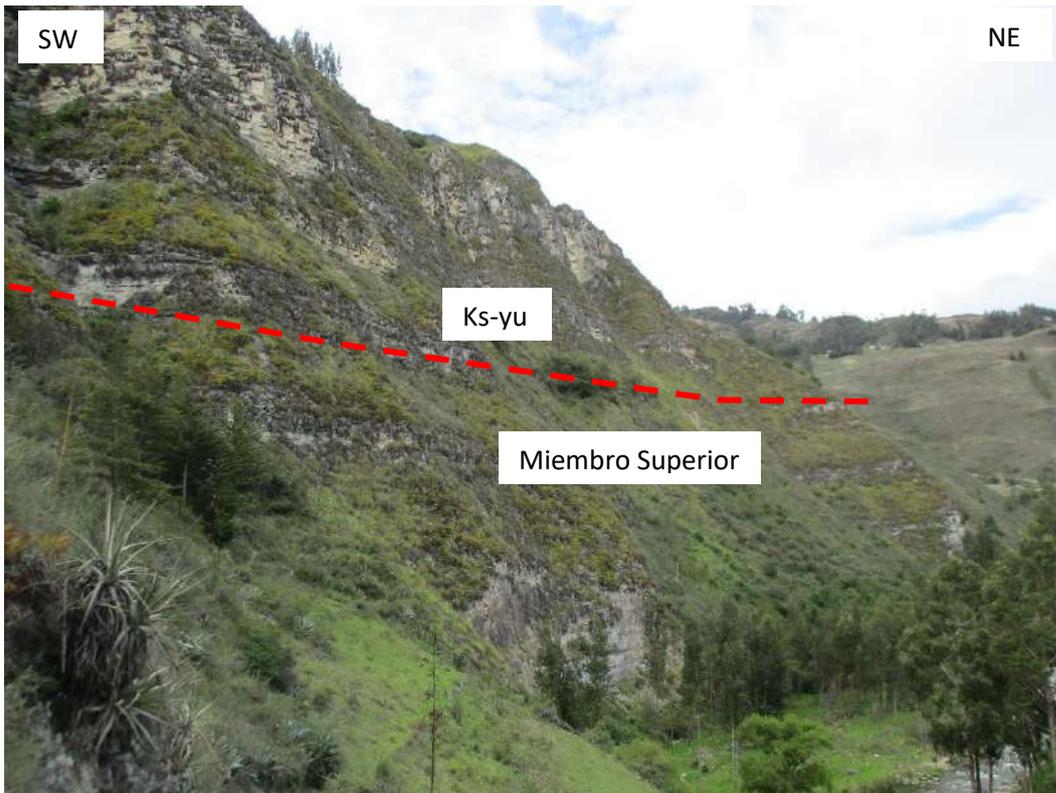
C. MIEMBRO SUPERIOR

➤ Espesor

El espesor del miembro superior en la zona de estudio es de 62m para lo cual se elaboró una columna estratigráfica que se puede ver en los anexos Columna – litobioestratigráfica 03.

Tabla 8: Cotas de la base y techo estudiado del miembro medio

| MIEMBRO SUPERIOR | | | |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|
| BASE | | TECHO | |
| ESTE | NORTE | ESTE | NORTE |
| 786787 | 9213602 | 787100 | 9213304 |



Fotografía 34: Vista panorámica del miembro superior de la Formación Pariatambo, en el Centro Poblado de Carahuanga.

➤ Litología

El miembro superior de la Formación Pariatambo comienza con una secuencia rítmica de calizas wackestone nodulares bituminosas y arcillitas negruzcas de 5 a 15 cm de espesor.



Fotografía 35: Calizas bituminosas wackestone de color gris oscuro del miembro superior de la Formación Pariatambo. Coordenadas, N:9214056, E:784651 y Cota: 2832 msnm.

En la parte superior consta de una secuencia de calizas silicificadas mudstone, también se pudo observar secuencias de calizas con horizontes de chert como efecto de un proceso químico que intercambia el carbonato por sílice.



Fotografía 36: Afloramiento rocoso del miembro superior de la Formación Pariatambo, donde se observa un horizonte de chert. Coordenadas, N:9213265, E:787921 y Cota: 3262 msnm.

➤ Estructuras sedimentarias

Estratificación lenticular

Esta estructura sin-sedimentaria se presenta en estratos de caliza intercalada con estratos de arcillitas.



Fotografía 37: Afloramiento rocoso donde se observa una estratificación lenticular de las calizas intercalada con arcillitas en el Miembro Superior de la Formación Pariatambo.

3.4.3.2.2. Bioestratigrafía

La formación Pariatambo evidencia un ambiente anóxico (aguas restringidas y sin presencia de buena oxigenación) del Cretáceo en el Perú, caracterizada por el alto contenido orgánico y de ambiente de plataforma somera, favoreciendo la presencia de Ammonites principalmente, teniendo al Oxytropidoceras como fósil guía, sabiendo que la concha de este molusco era aplanada y mejor adaptada hidrodinámicamente, podemos interpretar su ambiente de vida como aguas anóxicas pero de grandes extensiones que le permitía moverse con facilidad. Este tipo de fósil es común en todos los miembros de esta Formación, pero en el miembro superior aparecen fósiles de Bivalvos que nos darían la idea de un cambio de paleoambiente, de un ambiente euxínico y reductor a uno más oxidante, todos estos criterios fósiles son de gran ayuda para la Estratigrafía y serán utilizados en el capítulo correspondiente para la interpretación y reconstrucción del ambiente de sedimentación de la Formación Pariatambo.

Los fósiles estudiados han sido descritos siguiendo la clasificación biológica de (Linneo, 1953), es decir, estudiando la morfología de cada Phylum presente a lo

largo de toda la Formación Pariatambo y en distintas áreas correspondientes a una misma zona; no obstante, la datación ha sido asignada por comparación a especies tipo, datadas en ambientes análogos.

La Formación Pariatambo consta de una variedad importante de fósiles, a continuación, se hace una descripción de los Phylums, según (Benavides, 1956).

➤ Miembro Inferior

En este miembro, se encontró fósiles de amonites principalmente Oxytropidoceras.

| | | | |
|--|----------------------------------|--------------|-------------|
|  | COORDENADAS | | |
| | ESTE | NORTE | COTA |
| | 786994 | 9213313 | 3196 |
| | UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA | | |
| | Miembro Inferior | | |
| | Reino | Animalia | |
| | Phillum | Mollusca | |
| | Clase | Cephalopoda | |
| | Orden | Ammonoidea | |
| | DESCRIPCIÓN | | |
| Fósil de oxytropidoceras sp., típico en rocas calizas del miembro Inferior de la Formación Pariatambo. | | | |
| Familia | Brancoceratidae | | |
| Género | Oxytropidoceras | | |
| Especie | Oxytropidoceras sp. | | |

Fotografía 38: Muestra de mano de caliza, en la que se observa un fósil Oxytropidoceras, característico del miembro inferior de la Formación Pariatambo.

Fuente: Modificado de Bazán (2016).

Miembro Medio

En este miembro, se encontró fósiles de amonites (Oxytropidoceras) y bivalvos (Seyphax Coquand).

| | | | |
|---|----------------------------------|-------------------|-------------|
|  | COORDENADAS | | |
| | ESTE | NORTE | COTA |
| | 787162 | 9213123 | 3230 |
| | UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA | | |
| | Miembro Medio | | |
| | Reino | Animalia | |
| | Phillum | Mollusca | |
| | Clase | Lamellibranchiata | |
| | Orden | Pterioida | |
| | Familia | Ostreidae | |
| DESCRIPCIÓN | | | |
| Molde interno de un fósil de Seyphax Coquand, típico en rocas calizas del miembro medio de la Formación Pariatambo. | | | |
| Género | Lopha | | |
| Especie | Seyphax Coquand | | |

Fotografía 39: Molde interno de un bivalvo, del miembro medio de la Formación Pariatambo.
Fuente: Benavides (1956).

| | | | |
|---|----------------------------------|-------------------|-------------|
|  | COORDENADAS | | |
| | ESTE | NORTE | COTA |
| | 785770 | 9214013 | 3007 |
| | UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA | | |
| | Miembro Medio | | |
| | Reino | Animalia | |
| | Phillum | Mollusca | |
| | Clase | Lamellibranchiata | |
| | Orden | Pterioida | |
| | Familia | Ostreidae | |
| DESCRIPCIÓN | | | |
| Molde externo de un fósil de Seyphax Coquand, típico en rocas calizas del miembro medio de la Formación Pariatambo. | | | |
| Género | Lopha | | |
| Especie | Seyphax Coquand | | |

Fotografía 40: Molde externo de un bivalvo, en calizas del miembro medio de la Formación Pariatambo.
Fuente: Benavides (1956).

| | | | |
|---|----------------------------------|-------------------|-------------|
|  | COORDENADAS | | |
| | ESTE | NORTE | COTA |
| | 785772 | 9214010 | 3007 |
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA | | |
| | Miembro Medio | | |
| Fósil de Seyphax Coquand, típico en rocas calizas del miembro medio de la Formación Pariatambo. | Reino | Animalia | |
| | Phillum | Mollusca | |
| | Clase | Lamellibranchiata | |
| | Orden | Pterioida | |
| | Familia | Ostreidae | |
| | Género | Lopha | |
| | Especie | Seyphax Coquand | |

Fotografía 41: Fósil bivalvo (Seyphax Coquand) del miembro medio de la Formación Pariatambo.

Fuente: Benavides (1956).

| | | | |
|---|----------------------------------|---------------------|-------------|
|  | COORDENADAS | | |
| | ESTE | NORTE | COTA |
| | 786842 | 9213497 | 3156 |
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA | | |
| | Miembro Medio | | |
| Fósil de oxytropidoceras sp., típico en rocas calizas del miembro medio de la Formación Pariatambo. | Reino | Animalia | |
| | Phillum | Mollusca | |
| | Clase | Cephalopoda | |
| | Orden | Ammonoidea | |
| | Familia | Brancoceratidae | |
| | Género | Oxytropidoceras | |
| | Especie | Oxytropidoceras sp. | |

Fotografía 42: Fósil amonite (Oxytropidoceras) del miembro medio de la Formación Pariatambo.

Fuente: Modificado de López (2021).

Miembro Superior

Esta unidad litoestratigrafica está caracterizada principalmente por la presencia de fósiles bivalvos, a los que se nombró por comparación y nombrándolo como Nucula.

| | | | |
|---|--|-------------------|-------------|
|  | COORDENADAS | | |
| | ESTE | NORTE | COTA |
| | 787962 | 9213318 | 3249 |
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA | | |
| | Miembro Superior | | |
| | Reino | Animalía | |
| | Phillum | Mollusca | |
| | Clase | Lamellibranchiata | |
| | Orden | Nuculoidea | |
| | Familia | Nuculidae | |
| | Género | Nucula | |
| | Especie | Nucula | |
| | Fósil nucula, típico en rocas calizas del miembro superior de la Formación Pariatambo. | | |

Fotografía 43: Fósil Nucula, encontrándose en abundancia en calizas del miembro superior de la Formación Pariatambo.
Fuente: Benavides (1956).

| | | | |
|---|--|-------------------|-------------|
|  | COORDENADAS | | |
| | ESTE | NORTE | COTA |
| | 785770 | 9214013 | 3007 |
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA | | |
| | Miembro Superior | | |
| | Reino | Animalía | |
| | Phillum | Mollusca | |
| | Clase | Lamellibranchiata | |
| | Orden | Nuculoidea | |
| | Familia | Nuculidae | |
| | Género | Nucula | |
| | Especie | Nucula | |
| | Fósil nucula, típico en rocas calizas bituminosas del miembro superior de la Formación Pariatambo. | | |

Fotografía 44: Fósil Nucula, encontrándose en abundancia en calizas del miembro superior de la Formación Pariatambo.
Fuente: Benavides (1956).

3.4.3.2.3. Facies

Litofacies

Las principales Litofacies reconocidas en la zona de estudio son las siguientes:

- ✓ Litofacies de Calizas bituminosas (Mudstone y Wackestone).
- ✓ Litofacies de Arcillitas Bituminosas.
- ✓ Litofacies de Margas.
- ✓ Litofacies de Calizas Margosas.
- ✓ Litofacies silíceas (Chert).

La columna estratigráfica en este sector comienza en el miembro inferior con facies de Calizas Mudstone intercaladas con facies de Arcillitas Negras, estas facies indicaban periodos de transgresiones y regresiones, hundimientos y levantamientos respectivamente, pasando a una gran facies de Lutita negra de 2 m de espesor que marca el final del miembro inferior. Pasando al miembro medio las facies de calizas negras continúan intercalándose con las de arcillitas bituminosas, pero además aparecen las facies de Margas que también se intercalan con las facies de Calizas wackestone, reemplazando a las facies de Arcillitas en algunos sectores, en este miembro se hace característica la mayor potencia de las facies de calizas negras como de las arcillitas bituminosas dando a entender mayores periodos de regresiones y transgresiones. Al comenzar el miembro superior con facies de calizas margosas nodulares intercalándose con facies de Lutita bituminosa, llegando finalmente a las facies de Calizas pardas – rojizas para dar paso a la depositación de la facie silíceas de la Formación Pariatambo, terminando nuevamente con una intercalación de facies de calizas negras con arcillitas bituminosas hasta llegar a la Formación Yumagual.



Fotografía 45: Litofacies de margas que se observan en el miembro inferior de la Formación Pariatambo.



Fotografía 46: Muestra de mano que pertenece a la litofacie de calizas wackestone del Miembro Medio de la Formación Pariatambo. Coordenadas: Este: 786793, N: 9213633 y Cota: 3136 msnm.



Fotografía 47: Muestra de mano que pertenece a la litofacie de calizas mudstone que se observan el Miembro Inferior de la Formación Pariatambo. Coordenadas: Este: 786799, N: 9273612 y Cota: 3135 msnm.



Fotografía 48: Vista de la litofacie de arcillitas bituminosas, pertenecientes al Miembro Superior de la Formación Pariatambo. Coordenadas: Este: 787133, N: 9213714 y Cota: 3179 msnm.

Biofacies

En la zona de estudio se pueden diferenciar 2 Biofacies:

Biofacies de Ammonites

Biofacies de Bivalvos y Ammonites.

Las biofacies de Ammonites se encuentran distribuidas en toda la columna estratigráfica, siendo el Ammonites guía el Oxytropidoceras que de acuerdo a la descripción Paleontológica de estos cefalópodos nos hace suponer cuencas anóxicas pero de grandes extensiones, pero al llegar al miembro superior esta biofacies cambia a la facies de bivalvos que nos dan otra idea de paleoambiente, uno más oxigenado y de más somero que podría ser interpretado por una circulación de aguas que permitía la oxigenación de la cuenca y un levantamiento de la misma. Finalmente pasa a la biofacies de Ammonites terminando así las biofacies en la Formación Pariatambo.



Fotografía 49: Vista de la biofacies de ammonites en el miembro inferior de la Formación Pariatambo.



Fotografía 50: Biofacies de ammonites y bivalvos en el miembro medio de la Formación Pariatambo

3.4.3.3. Correlación lito-bioestratigráfica

Para realizar la correlación estratigráfica se ha tomado las columnas estratigráficas de (Bazan, 2015) del Sector Ronquillo y de (Escobedo, 2017) del Sector Puyllucana por lo que se ha llegado a determinar que los tres sectores se correlacionan en 6 secuencias, como se puede ver en los anexos – Correlación estratigráfica 01:

- **Secuencia 1**

La base de la Formación Pariatambo, tanto en el sector Ronquillo, Puyllucana y Carahuanga, está conformada por una intercalación de calizas de estructura tabular y arcillitas de 8 a 12 cm de espesor en una secuencia rítmica degradacional, con la presencia de huellas y marcas de fósiles como Ammonites, y Ostreas.

- **Secuencia 2**

Consiste en una secuencia rítmica creciente de una intercalación de calizas de estructura tabular y arcillitas con presencia de estructuras sedimentarias, como son las bioturbaciones, rellenas de carbonato de calcio y con presencia de fósiles como ammonites.

- **Secuencia 3**

Esta secuencia se caracteriza por la aparición de las margas intercaladas con calizas de estructuras lenticular y tabular, y arcillitas de espesores de 2 cm a 25 cm con presencia de fauna fósil, como ammonites y bivalvos.

- **Secuencia 4**

En esta secuencia se encuentran calizas nodulares intercaladas con arcillitas de espesores que varían de 10 a 20 cm.

- **Secuencia 5**

Presenta calizas silicificadas, producto del reemplazamiento químico del carbonato por sílice, seguido de un horizonte de Chert de espesores de 1 a 3 cm.

- **Secuencia 6**

La parte superior de la Formación Pariatambo está compuesta por una secuencia rítmica creciente de calizas de tabulares intercaladas con estratos de arcillita.

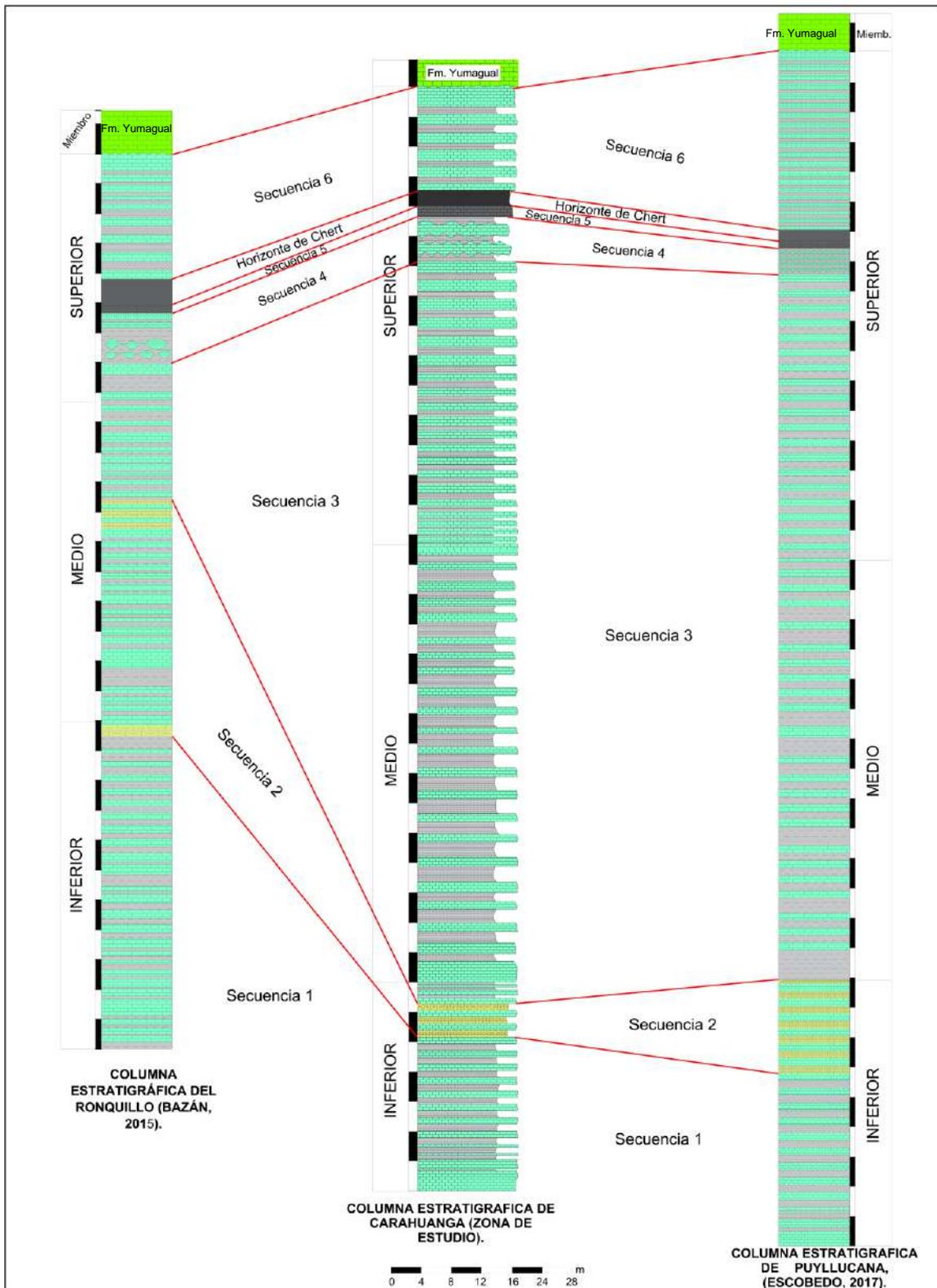


Figura 29: Correlación estratigráfica de las columnas estratigráficas de (Bazan, 2015) del Sector Ronquillo y de (Escobedo, 2017) del Sector Puyllucana y de Carahuanga.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis y discusión

4.1.1. La Formación Pariatambo en el norte del Perú

Esta unidad fue inicialmente estudiada por MC LAUGHLIN (1925); en el área consiste de una alternancia de arcillitas con lechos delgados de calizas bituminosas negras, estratos calcáreos con nódulos silíceos (chert) y dolomíticos.

Generalmente, su espesor oscila entre los 150 a 200 m. La Formación Pariatambo yace concordantemente sobre la Formación Chúlec e infrayace, con suave discordancia a la Formación Yumagual; relación observable en la cuenca de Pulluicana, en la carretera Cajamarca-La Encañada, al este de los Baños del Inca. En el sector oriental se hace algo masiva y cambia lateralmente a la facies del valle del Marañón. Las mejores exposiciones de esta unidad se hallan en los alrededores de Cajamarca, La Encañada, San Marcos y hacienda Tambería (Reyes, 1980).

Edad y Correlación

La Formación Pariatambo contiene generalmente restos de moluscos, entre los que predominan *Oxitropidoceras carbonarium* (GABB), *Venezoliceras*, cf. *Lyelliceras* sp. Ind., cf. *Lyelliceras* sp. *Dipoloceras*, *Mojsisoviczia*, y *Ostrea* (*Lopha*), sp.; además otros *Acanthocerataceae* y *Brancoceratidae* (Reyes, 1990).

Estas especies son típicamente pelágicas, siendo la especie *Oxitropidoceras carbonarium* la que se distribuye más extensamente en la región; y a su vez representa el fósil guía del Albiano medio (BENAVIDES, 1956). En consecuencia, la Formación Pariatambo tendría su tope en la base del Albiano superior, siendo correlacionable con la parte superior de la Formación Crisnejas

y con la Formación Yacu Ushco. Se extiende ampliamente en los Andes centrales del Perú.

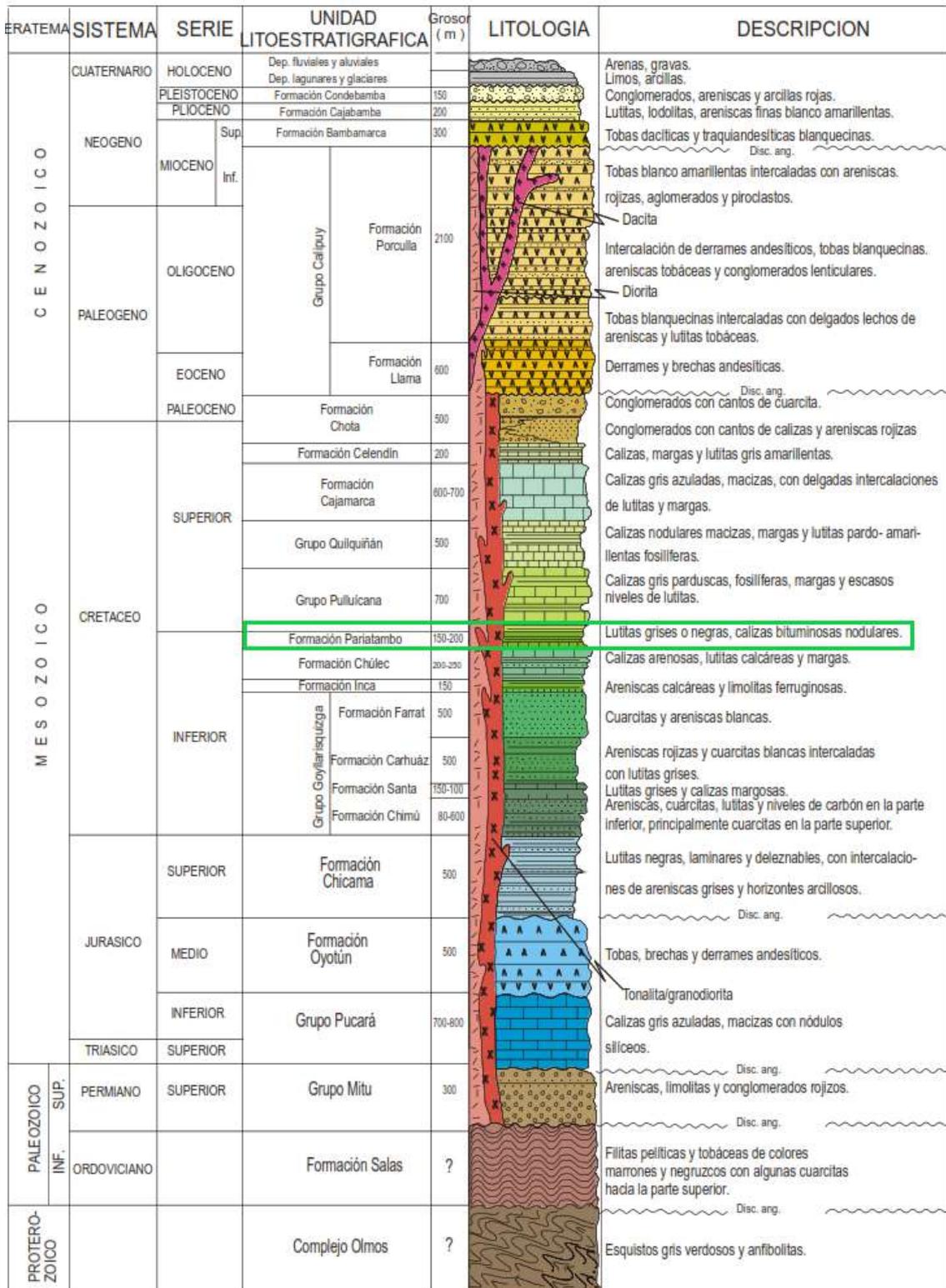


Figura 30: Formación Pariatambo en la columna estratigráfica de la región Cajamarca (Herrera, 2012).

4.1.2. La Formación Pariatambo en el caserío de Carahuanga – Baños del Inca

La Formación Pariatambo se divide en 3 unidades lito-estratigráficas (Miembro inferior, Medio y Superior). El miembro inferior consta de una secuencia de calizas mudstone bituminosas y laminadas, se observa presencia de fósiles de bivalvos, intercaladas con arcillitas grises, seguidas de una intercalación rítmica de margas con calizas mudstone.

El miembro medio, está formada por estratos de caliza nodular mudstone y wackestone, seguida por una secuencia rítmica de calizas intercaladas con arcillitas grises.

El miembro superior de la Formación Pariatambo comienza con una secuencia rítmica de calizas wackestone nodulares bituminosas y arcillitas negruzcas. En la parte superior consta de una secuencia de calizas silicificadas mudstone, también se pudo observar secuencias de calizas con horizontes de chert.

La bioestratigrafía consiste de fósiles de moluscos predominando básicamente oxitropidoceras sp y ostreas (Lopha), coincidiendo de esa manera con lo señalado por Reyes (1990), en Geología de los Cuadrangulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba.

También se encontró otro mollusco que fue clasificado por comparación como Nucula, (Mayr, 1987).

Se distinguieron las siguientes litofacies:

- ✓ Litofacies de Calizas bituminosas (Mudstone y Wackestone): En el Miembro Medio.
- ✓ Litofacies de Arcillitas Bituminosas: En el Miembro Inferior.
- ✓ Litofacies de Margas: En el Miembro Medio.
- ✓ Litofacies de Calizas Margosas: En el Miembro Medio.
- ✓ Litofacies sílicea (Chert): En el Miembro Superior.

Y las siguientes biofacies:

- ◆ Biofacies de Ammonites
- ◆ Biofacies de Bivalvos y Ammonites.

4.1.3. Lito - Biocorrelación estratigráfica

Los resultados lito-bioestratigráficos, descritos en el capítulo de presentación de resultados nos permitió realizar una lito - biocorrelación estratigráfica con las columnas estratigráficas de (Bazan, 2015) del Sector Ronquillo y de (Escobedo, 2017) del Sector Puyllucana por lo que se ha llegado a determinar que los tres sectores se correlacionan en 6 secuencias, tal como fueron descritas.

4.2. Contrastación de la hipótesis

De las variables determinadas y analizadas los factores influyentes en las características lito-bioestratigráficas de la Formación Pariatambo en el caserío de Carahuanga se determina que la disposición de los estratos, estructuras, textura, contenido fosilífero, litofacies y biofacies evidencian la existencia de etapas de transgresión y regresión durante la depositación; todos ellos son los factores más influyentes en la disposición estratigráfica actual de las facies de sedimentación como Margas, calizas nodulares, lutitas, calizas silicificadas, calizas de estructuras lenticulares y un horizonte de Chert, de las unidades Inferior, medio y superior.

Este análisis se realizó a partir del levantamiento de la columna estratigráficas para la Formación Pariatambo, y el análisis de muestras de mano de calizas, es allí donde se pudo determinar el tipo de litología, litofacies, biofacies y con ello el ambiente de sedimentación y la presencia de diferentes estructuras sedimentarias.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

En la columna estratigráfica de la Formación Pariatambo en el Caserío de Carahuanga, se distinguen tres unidades litoestratigráficas: Miembro inferior, medio y superior. El miembro inferior consta de secuencia rítmica de arcillitas y calizas bituminosas nodulares seguidas de una secuencia rítmica creciente de margas intercaladas con calizas, el miembro medio está formado por una secuencia rítmica de calizas mudstone y arcillitas y el miembro superior consta de secuencia rítmica de calizas wackestone nodulares intercaladas con arcillitas negruzcas y en la parte superior consta de un horizonte de calizas silicificadas mudstone y una capa de chert.

La lito-bioestratigrafía de la Formación Paritambo se caracteriza por la presencia de facies de calizas mudstone, wackestone y arcillitas en las que se evidenció estructuras sedimentarias como Laminaciones, estratificación lenticular, bioturbación y nódulos carbonatados y también una variedad importante de fósiles, en el miembro inferior por fósiles de amonites principalmente Oxytropidoceras, en el miembro medio se encontró fósiles de amonites (Oxytropidoceras) y bivalvos (Seyphax Coquand) y en el miembro superior se encontraron principalmente fósiles de bivalvos (Nucula).

En el análisis macroscópico se distinguió Litofacies de Calizas bituminosas (Mudstone y Wackestone), Litofacies de Arcillitas Bituminosas, Litofacies de Margas, Litofacies de Calizas Margosas y Litofacies silícea (Chert). Biofacies de Ammonites, Biofacies de Bivalvos y Ammonites.

Las columnas Litoestratigráficas de Ronquillo, Puyllucana y Carahuanga se correlacionan , ya que presentan 6 secuencias comparables.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda a los estudiantes o tesisistas de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Cajamarca realizar una investigación que incluya un análisis petrográfico microscópico para determinar una clasificación más precisa de las litofacies en la formación Pariatambo.

Se recomienda a los estudiantes o tesisistas de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Cajamarca o entidades públicas como el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) realizar una investigación sobre dataciones geo-cronológicas para conocer con más exactitud la edad de la Formación Pariatambo.

Se recomienda a los estudiantes o tesisistas de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Cajamarca realizar una investigación micropaleontológicos en secciones delgadas para la flora y fauna microfósil presente en la Formación Pariatambo para una clasificación más precisa y detallada de biofacies.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, A. & MacKenzie, W. 1997.** Atlas de Rocas Sedimentarias. Editorial Masson. Barcelona, España.
- Arche, A. 2010.** Sedimentología. Del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, España.
- Arribas, M. et. al. 2010.** Atlas de Petrología Sedimentaria. Madrid, España.
- Bazán, J. C. 2015.** La Formación Pariatambo en los alrededores de Cajamarca y su relación con el evento anóxico oceánico del albiano en el Perú mediante el análisis de secciones delgadas.
- Benavidez, V. 1956.** Cretaceous system of northern Perú. Bulletin American Museum, Natural History. New York, Vol. 108.
- Bogs, S. 2006.** Principles of sedimentology and stratigraphy. Editorial Prentice Hall. New Jersey, USA.
- Chirif, H. 2009.** Las calizas. Ingemmet. Lima, Perú.
- Dávila, J. 2011.** Diccionario Geológico. Ingemmet. Lima, Perú.
- Dunham, R. J. 1962.** Clasificación de rocas carbonatadas de acuerdo con la textura depositacional. Tulsa. Oklahoma.
- Escobedo, F. D. 2017.** Estratigrafía secuencial de la Formación Pariatambo en el centro poblado Puylucana, distrito de Baños del Inca, Cajamarca.
- Folk, R. L. 1962.** Subdivisión espectral de tipos de calizas. Tulsa.
- Herrera, E. 2012.** Estudio estratigráfico del cretáceo superior en los alrededores de la ciudad de Cajamarca.
- Hollis, D. 1980.** Guía Estratigráfica Internacional. Editorial Reversé. Barcelona, España.
- Krumbein, W & Sloss, L. 1963.** Sedimentología y estratigrafía. Universidad Northwestern.

- Lagos, M. A. 2006.** Aportes al Análisis de Cuencas Sedimentarias en los alrededores de las localidades de los Baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco, distrito de Cajamarca. Boletín del XIII Congreso Peruano de Geología. Publicación Especial N° 7. Lima- Perú.
- Linneo, C. 1953.** Sistema Naturae. Editorio Decina. Estocolmo.
- Mayr, H. 1987.** Guía Práctica de Fósiles. Editorial Omega. Barcelona, España.
- Mejía, W. 2012.** Estudio Sedimentológico y Estratigráfico Del Caserío De Puyllucana – Otuzco – Cajamarca.
- Nichols, G. 2009.** Sedimentology and Stratigraphy (Vol. Segunda Edición). Editorial Garsington Road. Oxford, Inglaterra.
- Ponce, J., Carmona, N., & Montagna, A. 2018.** Atlas de estructuras sedimentarias inorgánicas y Biogénicas. Editorial Talleres Trama. Buenos Aires, Argentina.
- Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 2018.** Madrid, España.
- Reyes, L. 1990.** Geología De Los Cuadrángulos De Cajamarca, San Marcos y Cajabamba (Boletín Serie A – N°31) Estudio realizado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) Cajamarca.
- Vera, J. 1994.** Estratigrafía – Principios y Métodos. Editorial Rueda. Madrid, España.
- Weller, J. M. 1960.** Stratigraphic Principles and Practice. Harper & Row. New York.

ANEXOS

1.1. Planos

Plano 01: Ubicación

Plano 02: Accesibilidad

Plano 03: Topográfico

Plano 04: Unidades Morfogenéticas

Plano 05: Geológico

1.2. Columnas Lito-estratigráfica

Columna Lito-bioestratigráfica 01: Miembro Inferior de la Formación Pariatambo

Columna Lito-bioestratigráfica 02: Miembro Medio de la Formación Pariatambo

Columna Lito-bioestratigráfica 03: Miembro Superior de la Formación

Pariatambo

Columna Lito-bioestratigráfica 04: Formación Pariatambo

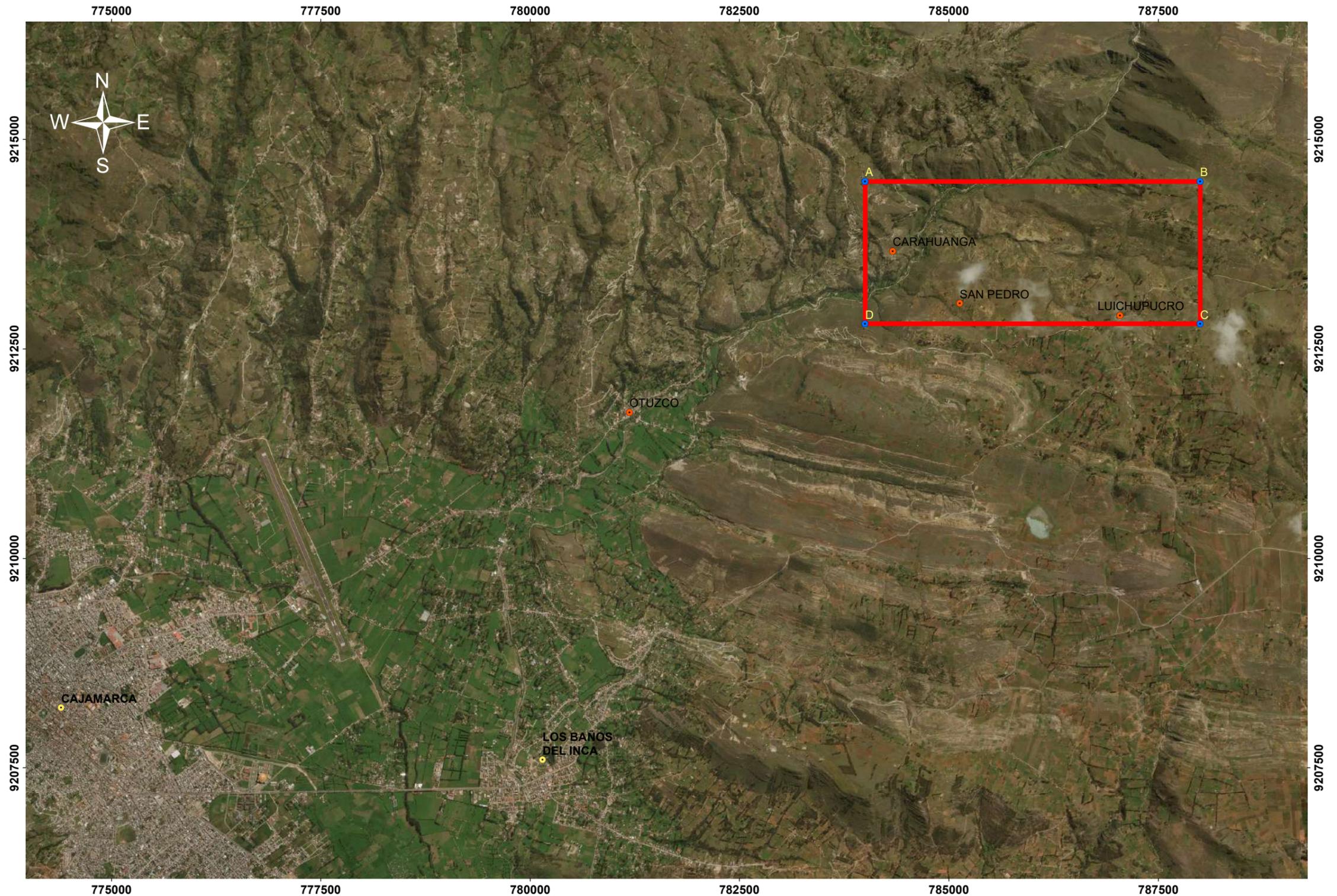
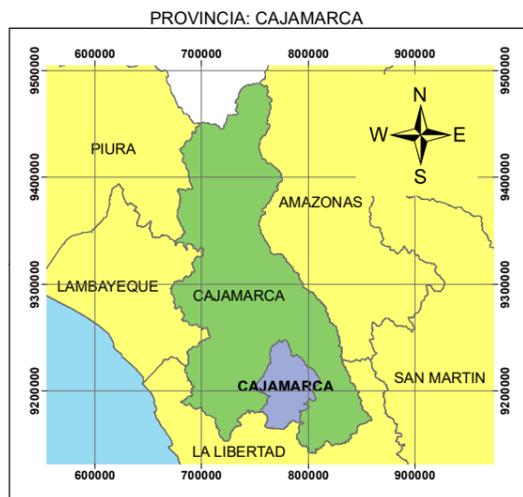
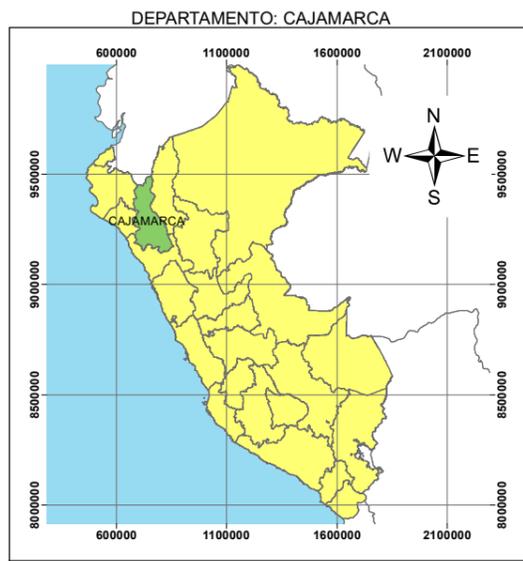
1.3. Correlación estratigráfica

Correlación estratigráfica 01: Correlación estratigráficas de columnas de Puyllucana, Ronquillo y Carahuanga.

1.4. Formatos de campo

Formato 01: Elaboración de columnas estratigráficas

Formato 02: Cartografiado geológico

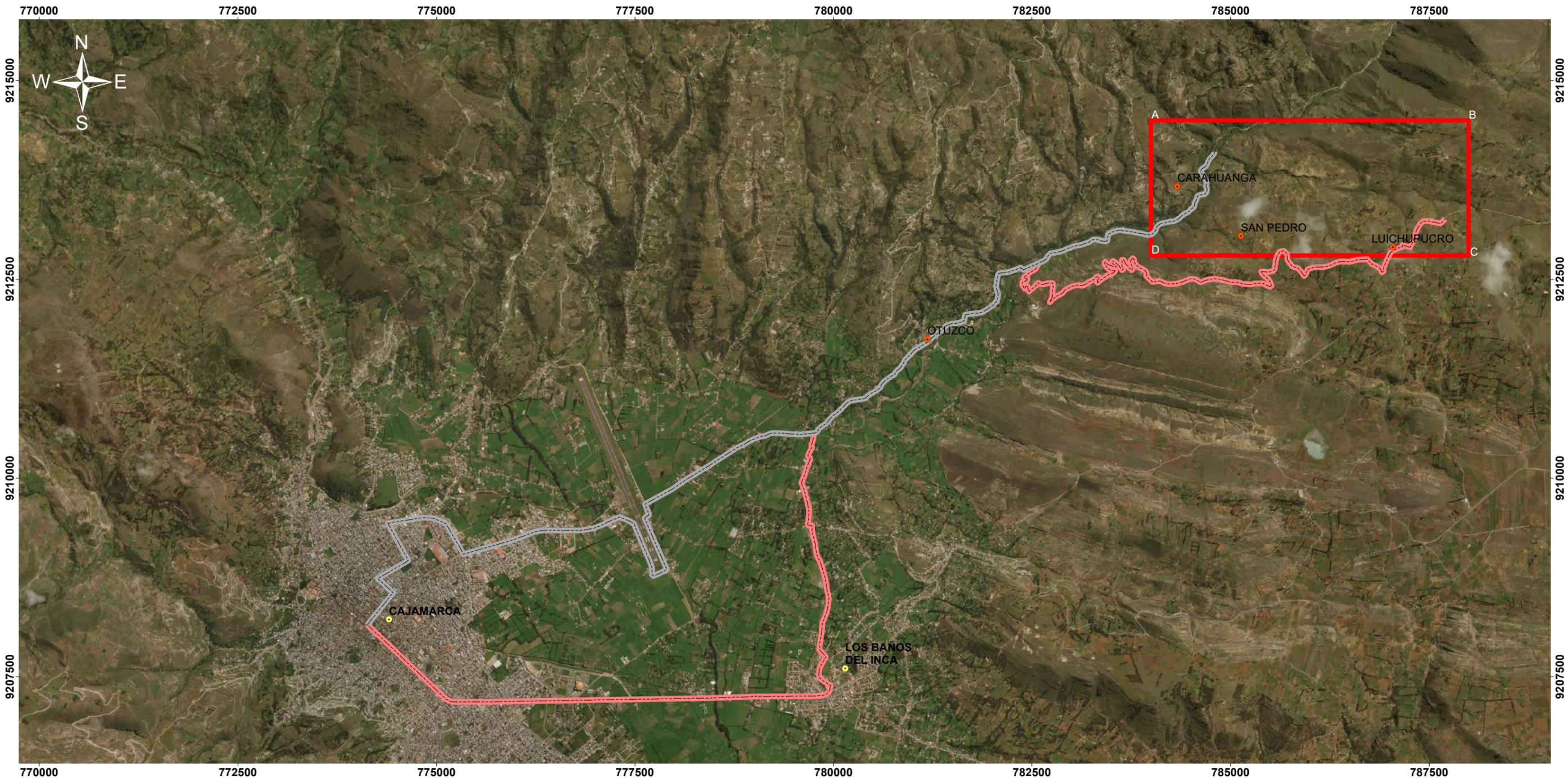


LEYENDA

- AREA DE ESTUDIO
- VERTICES
- DISTRITO
- CENTRO POBLADO

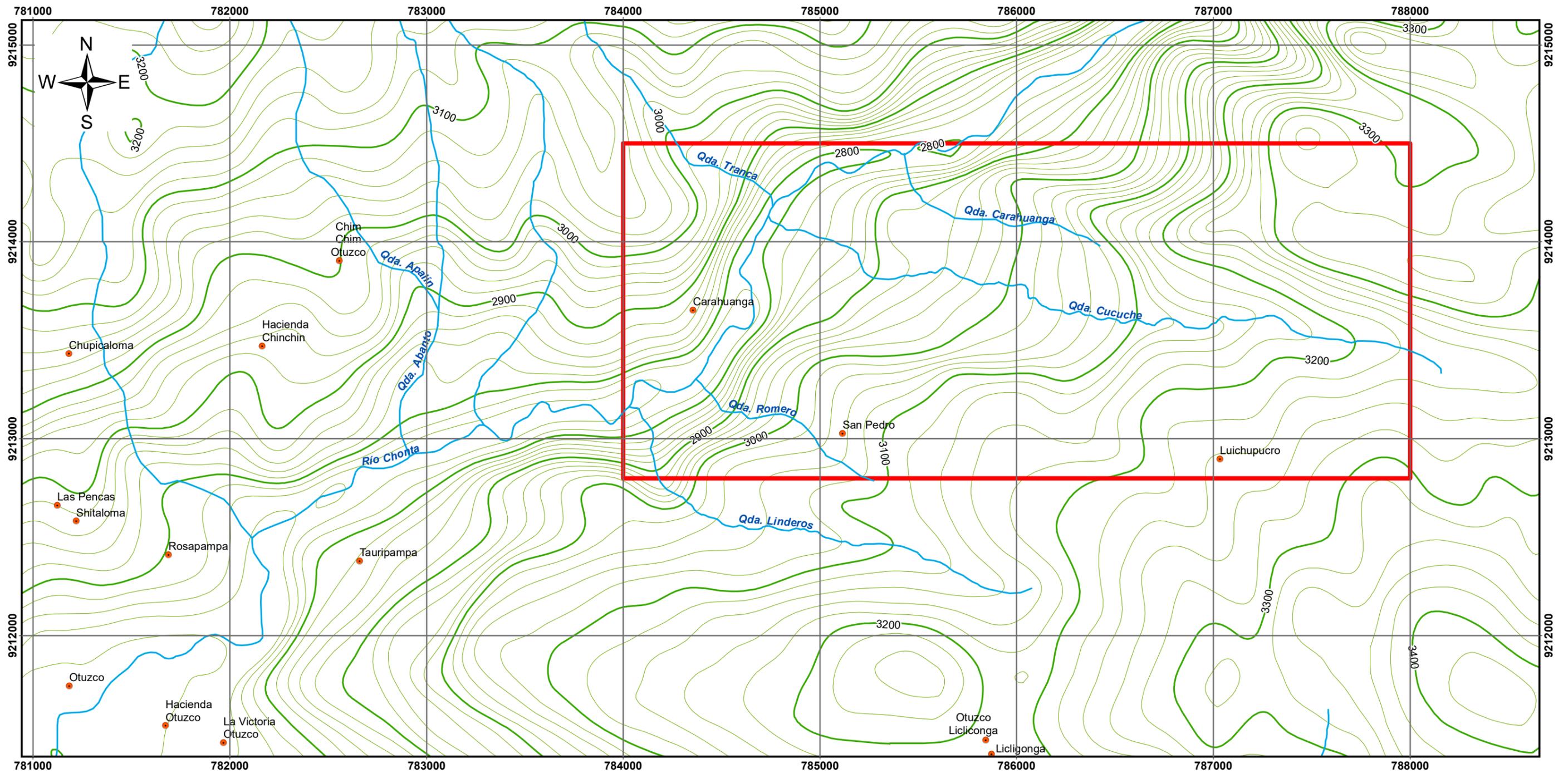
| COORDENADAS DEL ÁREA DE ESTUDIO | | |
|---------------------------------|--------|---------|
| VÉRTICE | ESTE | NORTE |
| A | 784000 | 9214500 |
| B | 788000 | 9214500 |
| C | 788000 | 9212800 |
| D | 784000 | 9212800 |

| | | | | |
|---|---|------------------|---------------------|--|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica | | | |
| | TESIS PROFESIONAL: CARACTERIZACIÓN LITO-BIOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN PARIATAMBO EN EL CASERÍO DE CARAHUANGA DEL DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA | | | |
| | PLANO: UBICACIÓN | | | |
| | ELABORADO POR: BACH. VIDAL JULCA SÁNCHEZ | | | |
| ASESOR: Dr. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI | | | PLANO N°: 01 | |
| DATUM | ESCALA | FECHA | | |
| WGS84_UTM_Zone_17s | 1:50000 | FEBRERO DEL 2022 | | |



| LEYENDA | | | | | |
|---|-----------------|---|----------------|---|----------|
|  | AREA DE ESTUDIO |  | ACCESO A |  | ACCESO B |
|  | DISTRITO |  | CENTRO POBLADO | | |

| | | | | |
|---|---|------------------|---------------------|---|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica | | |  |
| | TESIS PROFESIONAL: CARACTERIZACIÓN LITO-BIOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN PARIATAMBO EN EL CASERÍO DE CARAHUANGA DEL DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA | | | |
| | PLANO: ACCESIBILIDAD | | | |
| | ELABORADO POR: BACH. VIDAL JULCA SÁNCHEZ | | | |
| | ASESOR: Dr. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI | | | |
| DATUM | ESCALA | FECHA | PLANO N°: 02 | |
| WGS84_UTM_Zone_17s | 1:50000 | FEBRERO DEL 2022 | | |



LEYENDA

ÁREA DE ESTUDIO

 CN PRINCIPALES

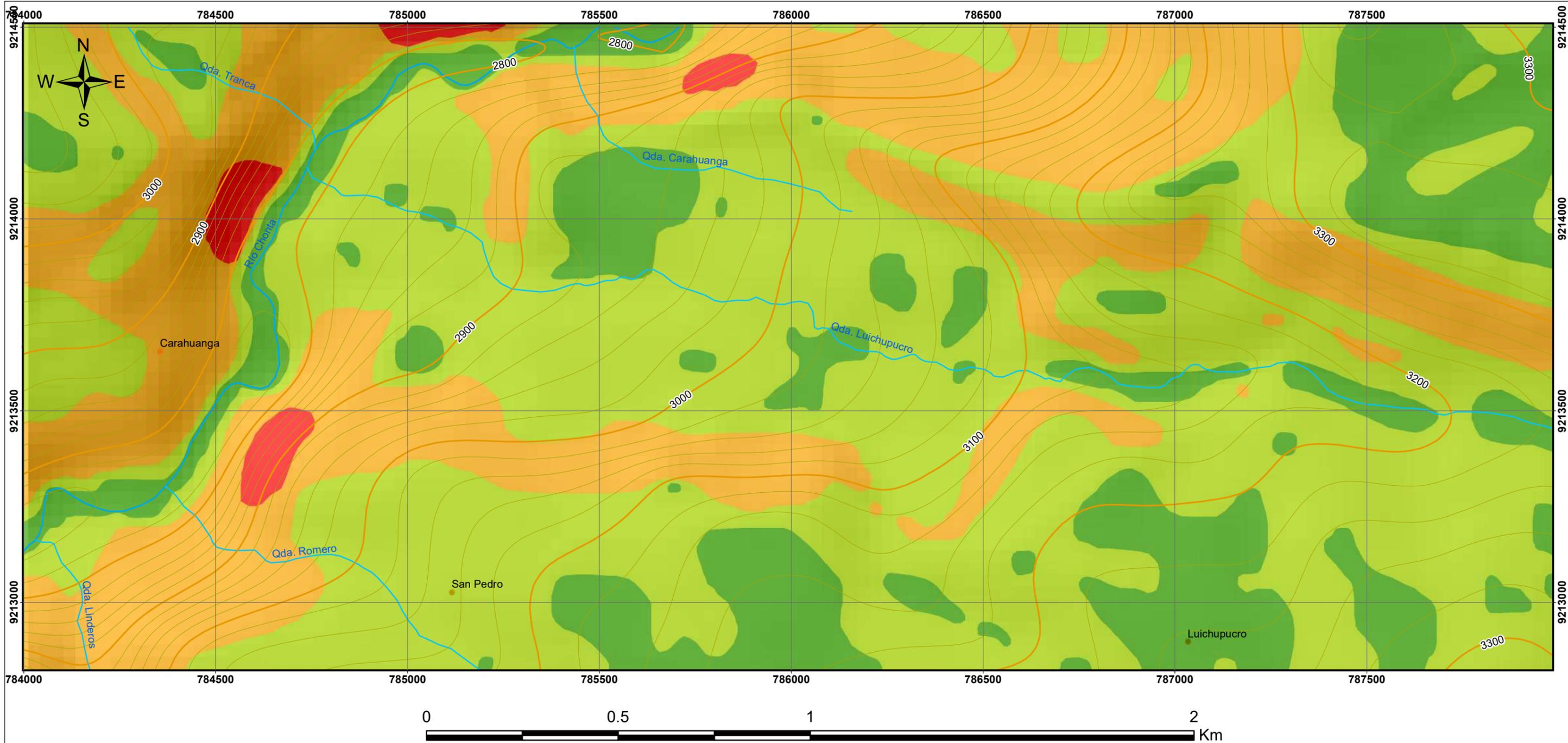
 CN SECUNDARIAS

 DRENAJE

 DISTRITO

 CENTRO POBLADO

| | | | | |
|---|---|------------------|---------------------|---|
|  | UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica | | |  |
| | TESIS PROFESIONAL: CARACTERIZACIÓN LITO-BIOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN PARIATAMBO EN EL CASERÍO DE CARAHUANGA DEL DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA | | | |
| | PLANO: TOPOGRÁFICO | | | |
| | ELABORADO POR: BACH. VIDAL JULCA SÁNCHEZ | | | |
| | ASESOR: Dr. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI | | | |
| DATUM | ESCALA | FECHA | PLANO N°: 03 | |
| WGS84_UTM_Zone_17s | 1:20000 | FEBRERO DEL 2022 | | |



LEYENDA

CURVAS DE NIVEL

-  CN PRINCIPALES
-  CN SECUNDARIAS

DRENAJE

-  RIO
-  QUEBRADA

UNIDADES MORFOGENÉTICAS

-  PLANICIES 0° - 8°
-  LOMADAS 8° - 20°
-  LADERAS 20° - 50°
-  ESCARPES > 50°



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica

TESIS PROFESIONAL: CARACTERIZACIÓN LITO-BIOESTRATIGRÁFICA
DE LA FORMACIÓN PARIATAMBO EN EL CASERÍO DE CARAHUANGA
DEL DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA

PLANO: **UNIDADES MORFOGENÉTICAS**

ELABORADO POR: BACH. VIDAL JULCA SÁNCHEZ

ASESOR: Dr. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI

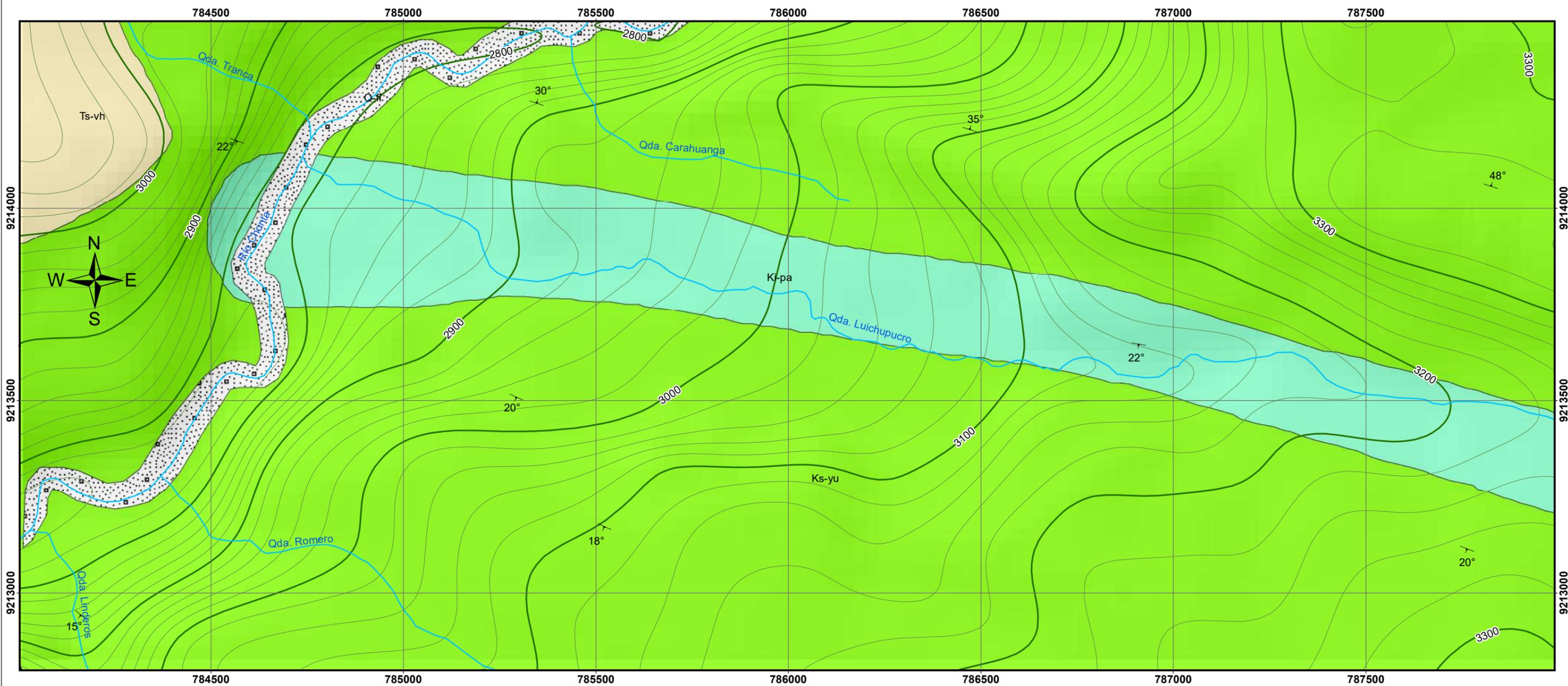
DATUM
WGS84_UTM_Zone_17s

ESCALA
1:10000

FECHA
FEBRERO DEL 2022



PLANO N°: **04**



| GEOLOGÍA | | | |
|-----------|-------------|----------|--|
| ERA | PERIODO | ÉPOCA | UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA |
| CENOZOICO | CUATERNARIO | HOLOCENO | Depósitos Fluviales  |
| | NEÓGENO | MIOCENO | Volcánico Huambos  |
| MESOZOICO | CRETÁCEO | SUPERIOR | Formación Yumagual  |
| | | INFERIOR | Formación Pariatambo  |

LEYENDA

-  BUZAMIENTOS
-  DRENAJE
- CURVAS DE NIVEL**
-  CN PRINCIPALES
-  CN SECUNDARIAS



| | | | |
|---|---------|---|---------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica | | | |
| TESIS PROFESIONAL: CARACTERIZACIÓN LITO-BIOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN PARIATAMBO EN EL CASERÍO DE CARAHUANGA DEL DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA | | | |
| PLANO: GEOLÓGICO | |  | |
| ELABORADO POR: BACH. VIDAL JULCA SÁNCHEZ | | | |
| ASESOR: Dr. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI | | | |
| DATUM | ESCALA | FECHA | PLANO N°: 05 |
| WGS84_UTM_Zone_17s | 1:10000 | FEBRERO DEL 2022 | |

| ERA | PERIO. | ÉPOCA | EDAD | UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA | MIEMBRO | ESPESOR (m) | LITOLOGÍA | ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS | CONTENIDO FÓSIL | DESCRIPCIÓN |
|-----------|-----------|----------|---------|---------------------------|----------|-------------|-----------|---------------------------|-----------------|---|
| MESOZOICO | CRETÁCICO | INFERIOR | ALBIANO | FORMACIÓN PARIATAMBO | INFERIOR | 28 | | | | Hacia la parte superior consta de una intercalación rítmica de margas con calizas mudstone. |
| | | | | | | 24 | | | | 20 |

LEYENDA

| | | | | | |
|--|----------------------------|--|------------|--|--------|
| | Estructura Tabular | | Calizas | | Margas |
| | Amonites (Oxitropydoceras) | | Arcillitas | | |

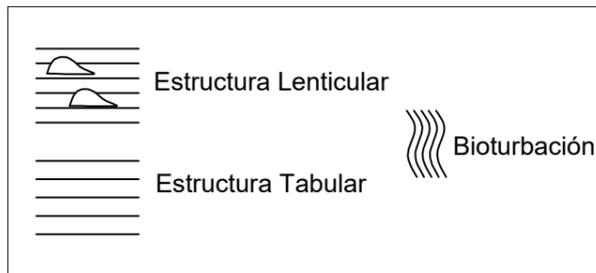
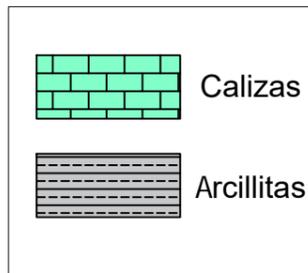
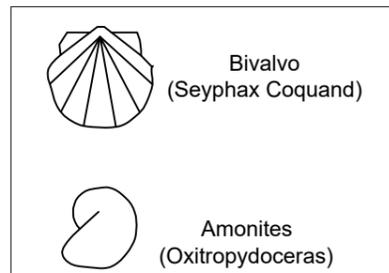


| | | |
|---|--------|------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica | | |
| TESIS PROFESIONAL: CARACTERIZACIÓN LITO-BIOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN PARIATAMBO EN EL CASERÍO DE CARAHUANGA DEL DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA | | |
| COLUMNA LITO-BIOESTRATIGRÁFICA DEL MIEMBRO INFERIOR DE LA FORMACIÓN PARIATAMBO | | |
| ELABORADO POR: BACH. VIDAL JULCA SÁNCHEZ | | |
| ASESOR: Dr. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI | | |
| DATUM | ESCALA | FECHA |
| WGS84_UTM_Zone_17s | 1:150 | FEBRERO DEL 2022 |
| C. L. - N°: | | 01 |



| ERA | PERIO. | ÉPOCA | EDAD | UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA | MIEMBRO | ESPESOR (m) | LITOLOGÍA | ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS | CONTENIDO FÓSIL | DESCRIPCIÓN |
|-----------|-----------|----------|---------|---------------------------|---------|--|-----------|---------------------------|-----------------|---|
| MESOZOICO | CRETÁCICO | INFERIOR | ALBIANO | FORMACIÓN PARIATAMBO | MEDIO | 84 80 76 72 68 64 60 56 52 48 44 40 36 32 | | | | <p>En la parte superior del miembro medio, está compuesto por una secuencia rítmica de intercalaciones de calizas mudstone bituminosas nodulares y arcillitas de espesores de 10 cm a 1m de espesor.</p> <p>La base está formada por un estrato de caliza nodular de 2 a 3m de espesor en la base, seguida por una secuencia rítmica de calizas de 12 a 80 cm de espesor intercaladas con arcillitas de 15 cm a 1.2 m de espesor.</p> |

LEYENDA



| | | |
|---|--------|------------------|
| UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica | | |
| TESIS PROFESIONAL: CARACTERIZACIÓN LITO-BIOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN PARIATAMBO EN EL CASERÍO DE CARAHUANGA DEL DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA | | |
| COLUMNA LITO-BIOESTRATIGRÁFICA DEL MIEMBRO MEDIO DE LA FORMACIÓN PARIATAMBO | | |
| ELABORADO POR: BACH. VIDAL JULCA SÁNCHEZ | | |
| ASESOR: Dr. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI | | |
| DATUM | ESCALA | FECHA |
| WGS84_UTM_Zone_17s | 1:300 | FEBRERO DEL 2022 |
| C. L. - N°: | | 02 |

| ERA | PERIO. | ÉPOCA | EDAD | UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA | MIEMBRO | ESPESOR (m) | LITOLOGÍA | ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS | CONTENIDO FÓSIL | DESCRIPCIÓN |
|-----------|-----------|----------|---------|---------------------------|----------|-------------|--------------|---------------------------|-----------------|--|
| | | | | | | | Fm. Yumagual | | | |
| MESOZOICO | CRETÁCICO | INFERIOR | ALBIANO | FORMACIÓN PARIATAMBO | SUPERIOR | 146 | | | | Secuencia rítmica de calizas wackestone nodulares bituminosas y arcillitas negruzcas |
| | | | | | | 142 | | | | |
| | | | | | | 138 | | | | |
| | | | | | | 134 | | | | Secuencia de calizas silicificadas mudstone, también se pudo observar secuencias de calizas con horizontes de chert. |
| | | | | | | 130 | | | | |
| | | | | | | 126 | | | | |
| | | | | | | 122 | | | | |
| | | | | | | 118 | | | | Secuencia rítmica de calizas wackestone nodulares bituminosas y arcillitas negruzcas |
| | | | | | | 114 | | | | |
| | | | | | | 110 | | | | |
| | | | | | | 106 | | | | |
| | | | | | | 102 | | | | |
| | | | | | | 98 | | | | Secuencia rítmica de calizas wackestone nodulares bituminosas y arcillitas negruzcas. |
| | | | | | | 94 | | | | |
| | | | | | | 90 | | | | |

LEYENDA

| | | | | | |
|--|-----------------------|--|-------------------|--|-----------------------|
| | Bivalvo (Nucula) | | Calizas nodulares | | Calizas silicificadas |
| | Estructura Lenticular | | Calizas | | Horizonte de chert |
| | | | Arcillitas | | |



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica

TESIS PROFESIONAL: CARACTERIZACIÓN LITO-BIOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN PARIATAMBO EN EL CASERÍO DE CARAHUANGA DEL DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA

COLUMNA LITO-BIOESTRATIGRÁFICA DEL MIEMBRO SUPERIOR DE LA FORMACIÓN PARIATAMBO

ELABORADO POR: BACH. VIDAL JULCA SÁNCHEZ

ASESOR: Dr. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI

| | | |
|--------------------|--------|------------------|
| DATUM | ESCALA | FECHA |
| WGS84_UTM_Zone_17s | 1:350 | FEBRERO DEL 2022 |

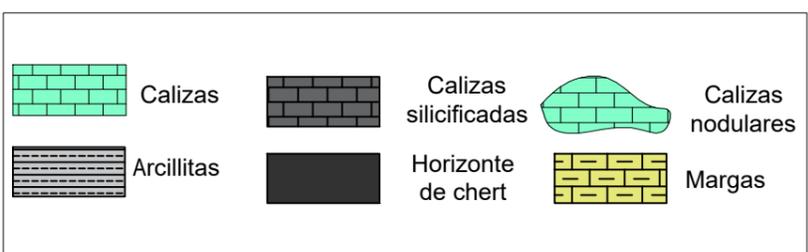
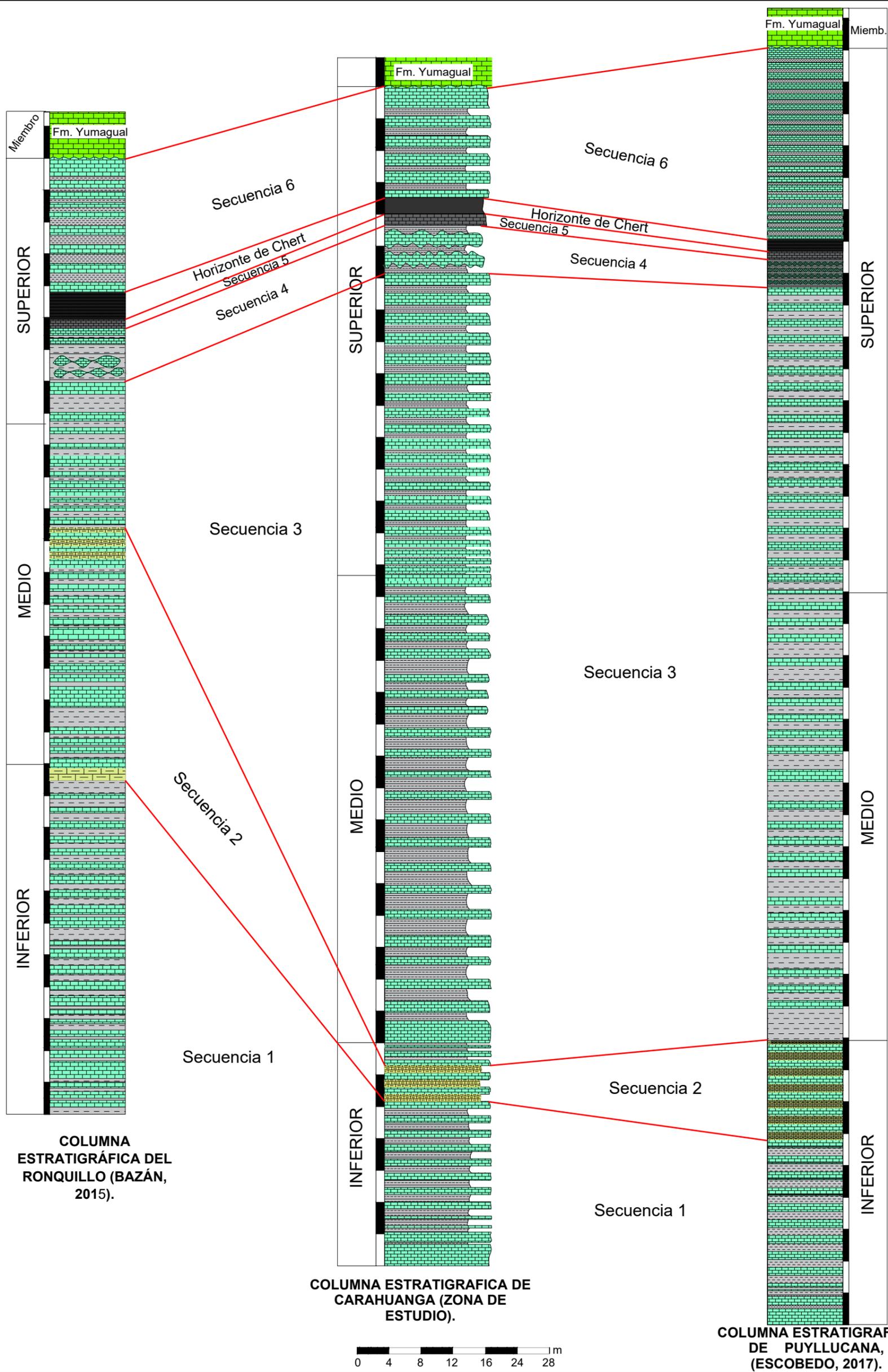
C. L. - N°: 03

| ERA | PERIO. | ÉPOCA | EDAD | UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA | MIEMBRO | ESPESOR (m) | LITOLÓGIA | ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS | CONTENIDO FÓSIL | DESCRIPCIÓN | |
|-----------|-----------|----------|---------|--------------------------|----------|-------------|--------------|---------------------------|-----------------|--|--|
| MESOZOICO | CRETÁCICO | INFERIOR | ALBIANO | FORMACIÓN PARIATAMBO | MIEDIO | 148 | Fm. Yumagual | | | | |
| | | | | | | 144 | | | | Secuencia rítmica de calizas wackestone nodulares bituminosas y arcillitas negruzcas | |
| | | | | | | 136 | | | | Secuencia de calizas silicificadas mudstone, también se pudo observar secuencias de calizas con horizontes de chert. | |
| | | | | | | 128 | | | | | |
| | | | | | | 120 | | | | Secuencia rítmica de calizas wackestone nodulares bituminosas y arcillitas negruzcas | |
| | | | | | | 112 | | | | | |
| | | | | | | 104 | | | | | |
| | | | | | | 96 | | | | Secuencia rítmica de calizas wackestone nodulares bituminosas y arcillitas negruzcas | |
| | | | | | | 88 | | | | | |
| | | | | | | 80 | | | | En la parte superior del miembro medio, está compuesto por una secuencia rítmica de intercalaciones de calizas mudstone bituminosas nodulares y arcillitas de espesores de 10 cm a 1m de espesor. | |
| | | | | | | 72 | | | | | |
| | | | | | | 64 | | | | | |
| | | | | | | 56 | | | | | |
| | | | | | | 48 | | | | La base está formada por un estrato de caliza nodular de 2 a 3 m de espesor en la base, seguida por una secuencia rítmica de calizas de 12 a 80 cm de espesor intercaladas con arcillitas de 15 cm a 1.2 m de espesor. | |
| | | | | | | 40 | | | | | |
| | | | | | | 32 | | | | | |
| | | | | | | 24 | | | | Hacia la parte superior consta de una intercalación rítmica de margas con calizas mudstone. | |
| | | | | | | 16 | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | |
| | | | | FORMACIÓN PARIATAMBO | INFERIOR | | | | | Consta de una secuencia de calizas mudstone bituminosas y laminadas con olor fétido al fracturarla, con presencia de pequeños fósiles de bivalvos, intercaladas con arcillitas grises | |
| | | | | FORMACIÓN PARIATAMBO | INFERIOR | | | | | El Miembro Inferior de la Formación Pariatambo consta en la base de estratos de 1 a 3 m de espesor intercalado con secuencias rítmicas de calizas nodulares intercalado con arcillitas. | |

LEYENDA

| | | | | | | | |
|--|----------|--|------------|--|-----------------------|--|-----------------------|
| | Amonites | | Margas | | Calizas nodulares | | Estructura Tabular |
| | Bivalvos | | Calizas | | Calizas silicificadas | | Estructura Lenticular |
| | | | Arcillitas | | Horizonte de chert | | Bioturbación |

| | | | | |
|--|---|-----------------|---------------------------|--|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica | | | |
| | TESIS PROFESIONAL: CARACTERIZACIÓN LITO-BIOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN PARIATAMBO EN EL CASERÍO DE CARAHUANGA DEL DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA | | | |
| | COLUMNA LITO-BIOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN PARIATAMBO | | | |
| | ELABORADO POR: BACH. VIDAL JULCA SÁNCHEZ | | | |
| | ASESOR: Dr. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI | | | |
| | DATUM WGS84_UTM_Zone_17s | ESCALA 1:500 | FECHA FEBRERO DEL 2022 | |



| | | | |
|-----------------------------|---|---------------------------|-------------------------|
| | UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica | | |
| | TESIS PROFESIONAL: CARACTERIZACIÓN LITO-BIOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN PARIATAMBO EN EL CASERÍO DE CARAHUANGA DEL DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA | | |
| | CRRELACIÓN DE COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS | | |
| | ELABORADO POR: BACH. VIDAL JULCA SÁNCHEZ ASESOR: Dr. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI | | |
| DATUM WGS84_UTM_Zone_17s | ESCALA 1:500 | FECHA FEBRERO DEL 2022 | C. E. -N°: 01 |

FORMATO PARA LA ELABORACIÓN DE COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS

LUGAR:

COORDENADAS UTM

HORA:

N:

E:

Cota:

| ESPESOR (m) | LITOLOGIA | UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA | FÓSILES | ESTRUCTURA SEDIMENTARIA | FACIE | DESCRIPCIÓN |
|----------------|-----------|------------------------------|---------|----------------------------|-------|-------------|
| 19 | | | | | | |
| 18 | | | | | | |
| 17 | | | | | | |
| 16 | | | | | | |
| 15 | | | | | | |
| 14 | | | | | | |
| 13 | | | | | | |
| 12 | | | | | | |
| 11 | | | | | | |
| 10 | | | | | | |
| 9 | | | | | | |
| 8 | | | | | | |
| 7 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 1 | | | | | | |

