

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



TESIS PROFESIONAL

**ESTRATIGRAFÍA DE LAS FORMACIONES SANTA, CARHUÁZ Y FARRAT EN
EL CASERÍO DE SHAULLO CHICO DEL DISTRITO BAÑOS DEL INCA**

Para Optar Título Profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Presentado por:

Bach. JOEY MARVIN SAAVEDRA VÁSQUEZ

Asesor:

M. Cs. Ing. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI

Cajamarca - Perú 2019

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Nacional de Cajamarca, a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica por haberme permitido formarme en ella y poder realizar el presente trabajo de investigación, a los docentes por compartir sus conocimientos en los años de estudio.

A mi asesor Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani por su valorable ayuda y aporte en el desarrollo de esta tesis.

A mi familia, amigos por el apoyo y motivación para poder culminar este proyecto.

DEDICATORIA

A mí querida madre: por su sacrificio, apoyo y amor que me dio en cada etapa de mi vida para lograr mis metas.

A mi hermana por el apoyo incondicional que siempre me ha brindado.

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	ix
ÍNDICE DE FOTOS.....	x
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.2. BASES TEÓRICAS.....	6
2.2.1. LA ESTRATIGRAFÍA.....	6
2.2.2. ESTRATO.....	6
2.2.3. LA ESTRATIFICACIÓN.....	7
2.2.4. TIPOS DE SUPERFICIES DE ESTRATIFICACIÓN.....	7
2.2.5. MEDIDAS DE LA ESTRATIFICACIÓN.....	8
2.2.6. TIPOS DE ESTRATIFICACIÓN.....	10
2.2.7. UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS GENÉTICAS.....	13
2.2.8. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS CLÁSTICAS.....	29
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	31
CAPÍTULO III	32
MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	32
3.1.1. UBICACIÓN.....	32
3.1.2. ACCESIBILIDAD	32

	Pág.
3.2. GEOMORFOLOGÍA.....	33
3.3. FISIOGRAFÍA	35
3.4. CLIMA	37
3.5. VEGETACIÓN	38
3.6. HIDROLOGÍA	39
3.7. GEOLOGÍA LOCAL.....	39
3.7.1. FORMACIÓN SANTA.....	39
3.7.2. FORMACIÓN CARHUÁZ	40
3.7.3. FORMACIÓN FARRAT	41
3.8. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	42
3.8.1. PLEGAMIENTOS	42
3.8.2. FALLAS	43
3.9. PROCEDIMIENTO.....	44
3.9.1. METODOLOGÍA.....	44
3.9.2. TIPO, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.	44
3.10. ESTRATIGRAFÍA.....	45
3.10.1. ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN SANTA	45
3.10.2. ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN CARHUAZ.....	49
3.10.3. ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN FARRAT	55
3.11. PETROLOGÍA.....	63
3.11.1. PETROLOGÍA FORMACIÓN SANTA	63
3.11.2. PETROLOGÍA FORMACIÓN CARHUAZ	67
3.11.3. PETROLOGÍA FORMACIÓN FARRAT	73
CAPÍTULO IV	77
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	77
4.1. ELABORACIÓN DE COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS.	77
4.1.1. FORMACIÓN SANTA.....	77
4.1.2. FORMACIÓN CARHUÁZ	77
4.1.3. FORMACIÓN FARRAT	78
4.2. DESCOMPACTACIÓN DE COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS.....	79
4.2.1. DESCOMPACTACIÓN FORMACIÓN SANTA	79
4.2.2. DESCOMPACTACIÓN FORMACIÓN CARHUAZ.....	85
4.2.3. DESCOMPACTACIÓN FORMACIÓN FARRAT	91

	Pág.
CAPÍTULO V	98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
5.1. CONCLUSIONES	98
5.2. RECOMENDACIONES	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXOS	102

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Vértices para la delimitación.....	32
Tabla 2: Accesos al área de investigación.	33
Tabla 3: Clasificación de pendientes.....	35
Tabla 4: Temperatura y precipitación en el área de estudio por meses.	38
Tabla 5: Coordenadas del punto de inicio en el Centro Poblado Shaullo.....	49
Tabla 6: Coordenadas del punto de inicio en el Centro Poblado Huayrapongo	56
Tabla 7: Resumen de resultados.....	82
Tabla 8: Resumen de resultados.....	87
Tabla 9: Resumen de resultados.....	93
Tabla 10: Cuadro resumen de descompactación de las Formaciones.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Rasgos de los estratos y medidas de la estratificación.	7
Figura 2. Tipos de superficies de estratificación que se pueden observar	8
Figura 3. Medida de espesores con la vara de Jacob. (Vera, 1994)	9
Figura 4. Medida de espesor de estratos: 1. Espesor de estrato; 2. Espesor.	9
Figura 5. Tipos más simples de geometrías de estratos	11
Figura 6. Tipos de asociaciones de estratos de acuerdo con la distribución.....	13
Figura 7. Gráfico en el que se muestran los rangos de unidades..	15
Figura 8. Formas de las unidades litoestratigráficas.	19
Figura 9: Agradación y progradación frontal hacia el interior de la cuenca.....	20
Figura 10. Gráfico elaborado a partir de dos figuras de Bosellini.	21
Figura 11. Sección estratigráfica local elaborada mediante el principio.	24
Figura 12. a, Medida horizontal (x,y,z: unidades litoestratigráficas)	25
Figura 13. c: Medida de espesores de estratos inclinados mediante medidas	26
Figura 14. d: Medida con vara de Jacob en capas inclinadas.....	26
Figura 15. e: Medida de espesor teniendo como dato el buzamiento	27
Figura 16. Graneo en el que se muestra un bloque diagrama	28
Figura 17. Clasificación rocas clásticas según Pettijhon (1973).....	29
Figura 18. Clasificación de rocas clásticas (Folk et al. 1970)	30
Figura 19. Clasificación granulométrica de las rocas sedimentarias	30
Figura 20: Clasificación roca Limolita por el contenido de matriz Pettijhón.....	63
Figura 21. Clasificación de la roca Lutita por el contenido de matriz Pettijhón.....	65
Figura 22: Clasificación de la roca arenisca cuarzosa según Pettijhón.....	69
Figura 23. Clasificación de la roca Lutita según Pettijhón.	71
Figura 24: Clasificación de la Limolita, que contiene matriz superior al 70 %.	72
Figura 25: Clasificación de Arenisca cuarzosa de grano muy grueso	74
Figura 26: Clasificación de la roca Arenisca cuarzosa según Pettijhón.	75
Figura 27. Clasificación de la roca Limolita según Pettijhón.	76

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1: Tablas dadas para el cálculo de la porosidad.....	79
Gráfico 2: Cálculo de la porosidad actual para la litología.....	80
Gráfico 3: Variación de la porosidad en la litología de la Formación Santa	82
Gráfico 4: Variación de la porosidad en la Formación Santa.....	83
Gráfico 5: Variación del espesor en la litología de la Formación Santa	84
Gráfico 6: Variación del espesor de la Formación Santa	85
Gráfico 7: Cálculo de la porosidad actual para la litología.....	86
Gráfico 8: Variación de la porosidad en la litología de la Formación Carhuaz .	88
Gráfico 9: Variación de la porosidad en la Formación Carhuaz	89
Gráfico 10: Variación del espesor en la litología de la Formación Carhuaz	90
Gráfico 11: Variación del espesor de la Formación Farrat	91
Gráfico 12: Cálculo de la porosidad actual para la litología.....	92
Gráfico 13: Variación de la porosidad en la litología de la Formación Farrat	94
Gráfico 14: Variación de la porosidad en la Formación Farrat	95
Gráfico 15: Variación del espesor en la litología de la Formación Farrat	96
Gráfico 16: Variación del espesor de la Formación Farrat	97

ÍNDICE FOTOS

	Pág.
Fotografía 1: Se observan superficies subredondeadas en la zona de estudio.	33
Fotografía 2: Se observa la forma de U, característico de un valle maduro.....	34
Fotografía 3: Cárcavas originadas por el flujo de la lluvia.	34
Fotografía 4: Se observa pendiente baja de 0° a 15°.....	35
Fotografía 5: Se aprecia una pendiente inclinada de 15° a 30 °.	36
Fotografía 6: Se observa pendiente moderada con 30° a 45°.....	36
Fotografía 7: Pendiente alta con 45° a 60°.	37
Fotografía 8: Vegetación típica de la zona de investigación.	38
Fotografía 9. Quebrada Shaullo Chico se aprecia la dirección del flujo.	39
Fotografía 10: Vista panorámica de la Formación Santa.	40
Fotografía 11: Vista panorámica de la Formación Carhuaz en la zona de estudio.	41
Fotografía 12: Vista panorámica de la Formación Farrat en la zona de estudio.	41
Fotografía 13.Vista panorámica del anticlinal de baños del inca.....	43
Fotografía 14: Falla Baños del Inca.....	43
Fotografía 15: Punto de inicio Shaullo Chico, las mediciones respectivas se hizo desde el Piso hasta el techo de la Fm. Santa.	45
Fotografía 16: Coordenadas: 9206372N, 782814E, Cota: 2786 msnm. Limolita de 20 cm de espesor con presencia de minerales ferruginosos como la goethita.	46
Fotografía 17: Intercalación de lutitas de diversas tonalidades con limolitas blanquecinas.....	47
Fotografía 18: Limolita rojizas en el techo de la formación Santa.	47
Fotografía 19: Coordenadas: 9206372N, 782814E, Cota: 2786 msnm, estratificación lenticular en limolitas de la Formación Santa.	48
Fotografía 20: Coordenadas: 9206372N, 782814E, Cota: 2786 msnm. Nódulos en lutitas de la Formación Santa.....	49
Fotografía 21: Coordenadas: 9206328N, 782929E, Cota: 2816msnm. Arenisca cuarzosa blanquecina en la base de la Formación Carhuaz.....	50
Fotografía 22: Coordenadas: 9206323N, 783504E, Cota: 2843 msnm. Intercalación de limolitas rojizas y lutitas grises.	51

	Pág.
Fotografía 23: Coordenadas: 9206260N, 782998E, Cota: 2843 msnm. Intercalación de areniscas ferruginosas y lutitas grises.	51
Fotografía 24: Coordenadas: 9206275N, 783075E, Cota: 2850 msnm. Intercalación de areniscas y lutitas de diversas tonalidades.....	52
Fotografía 25: Coordenadas: 9207082N, 783447E, Cota: 2972msnm. Lutitas grises hacia el techo de la Formación Carhuaz	53
Fotografía 26: Coordenadas: 9206328N, 782929E, Cota: 2816msnm. Estratificación sesgada en la Formación Carhuaz.	54
Fotografía 27: Laminación paralela en lutitas cercano al contacto con la Formación Farrat.	54
Fotografía 28: Estratificación lenticular en estratos de lutitas de la Formación Carhuaz	55
Fotografía 29: Vista panorámica de la Formación Farrat en la zona de investigación.	56
Fotografía 30: Estratificación de areniscas de la Formación Farrat de color blanquecino de grano grueso.....	57
Fotografía 31: Areniscas cuarzosas de color blanquecino de grano fino a medio con presencia de óxidos.	57
Fotografía 32: Estratos de arenisca blanquecina de grano fino de espesores variables.....	58
Fotografía 33: Arenisca cuarzosa de grano grueso con granos entre 1 – 2mm.	59
Fotografía 34: Coordenadas: 9205594N, 783702E, Cota: 2980msnm. Laminación sesgada en areniscas cuarzosa de la Formación Farrat.....	60
Fotografía 35: Coordenadas: 9205718N, 782677E, Cota: 2980msnm. Laminación paralela en areniscas cuarzosas de la Formación Farrat.....	60
Fotografía 36: Coordenadas: 9205510N, 783718E, Cota: 2992msnm. Estructuras de carga en areniscas y limolitas de la Formación Farrat.	61
Fotografía 37: Laminación paralela oblicua en areniscas cuarzosa de la Formación Farrat.	61
Fotografía 38: Coordenadas: 9207890N, 782167E, Cota: 2956msnm. Rizaduras de oleaje en areniscas de grano fino.	62
Fotografía 39: Coordenadas: 9207558N, 782666 E, Cota: 3025msnm. Limolita gris rojiza de la Formación Farrat con presencia de improntas.	62

	Pág.
Fotografía 40: Coordenadas: 9206377N, 782892E, Cota: 2792msnm. Limolita amarillenta, perteneciente a la Formación Santa.....	64
Fotografía 41: Coordenadas: 9206371N, 782813E, Cota: 2786msnm. Limolita gris con gran contenido de restos fósiles.....	64
Fotografía 42: Coordenadas: 9206371N, 782813E, Cota: 2786msnm. Lutita rojiza, las que son de un ambiente oxidante.	66
Fotografía 43: Lutita gris de la formación Santa.....	66
Fotografía 44: Coordenadas: 9206377N, 782892E, Cota: 2792msnm. Arenisca de grano fino amarillenta, perteneciente a la Formación Santa.	67
Fotografía 45: Coordenadas: 9206370N, 782771E, Cota: 2800msnm, areniscas de grano fino de color blanquecino a rojizo.....	68
Fotografía 46: Coordenadas: 9206152N, 783082E, Cota: 2825msnm, areniscas blanquecinas.....	68
Fotografía 47: Coordenadas: 9206262N, 783015E, Cota: 2825msnm. Arenisca cuarzosa perteneciente a la Formación Carhuaz.....	70
Fotografía 48: Coordenadas: 9206316N, 783141E, Cota: 2837msnm. Arenisca de la Formación Carhuaz.....	70
Fotografía 49: Coordenadas: 9206332N, 783141E, Cota: 2845msnm. Arenisca cuarzosa blanquecina de la Formación Carhuaz.	71
Fotografía 50: Coordenadas: 9207082N, 783447E, Cota: 2972msnm. Lutitas grisáceas en el techo de la Formación Carhuaz.	72
Fotografía 51: Coordenadas: 9206327N, 783178E, Cota: 2842msnm. Limolita rojiza que evidencia un ambiente de formación oxidante.....	73
Fotografía 52: Coordenadas: 9207996N, 782167E, Cota: 2940msnm. Arenisca cuarzosa de grano medio a grueso.....	75
Fotografía 53: Coordenadas: 9207558N, 782666E, Cota: 3025msnm. Limolita gris verdosa con restos de plantas o improntas.....	76

RESUMEN

La investigación se realizó en el Centro Poblado el Shaullo Chico, distrito de Baños del Inca, provincia de Cajamarca. Enfocándose en las características litoestratigráficas que construyen eventos geológicos, depositación y litificación en estratos que a lo largo del tiempo geológico construyen una fuente de información valiosa de carácter estratigráfico, teniendo como objetivo la caracterización estratigráfica de las Formaciones Santa, Carhuaz y Farrat; que corresponden al Cretáceo inferior, para la cual se realizó trabajo de campo que consistió en la recopilación de la información necesaria procesando en los softwares Excel, ArcGIS, y AutoCAD; se elaboró las columnas estratigráficas de la Formación Farrat dos columnas estratigráficas, de la formación Carhuaz se realizó dos columnas estratigráficas una levantada en la base de la formación y otra en el techo, en la parte central se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios, y la formación Santa se realizó el levantamiento de la columna estratigráfica en el techo en 60m, la misma que está cubierta por depósitos cuaternarios el resto de afloramiento, se realizó la descompactación de las Formaciones determinando que la Formación Santa se redujo 47.93% de su espesor inicial, bajando su porosidad en 85.11% de porosidad inicial; la Formación Carhuaz redujo su espesor en 27.6% de su espesor inicial, bajando también su porosidad en 82.98% de su porosidad inicial; en la Formación Farrat se redujo su espesor en 27.06% de su espesor inicial, bajando también su porosidad 79.55% de su porosidad inicial.

Palabras Claves: Litoestratigrafía, descompactación, secuencia, columna estratigráfica.

ABSTRACT

The research was carried out in the Centro Poblado el Shaullo Chico, district of Baños del Inca, province of Cajamarca. Focusing on the lithostratigraphic characteristics that construct geological events, deposition and lithification in strata that, over geological time, construct a valuable source of information of a stratigraphic nature, having as objective the stratigraphic characterization of the Santa, Carhuaz and Farrat Formations; that correspond to the lower Cretaceous, for which field work was carried out, which consisted in the collection of the necessary information by processing Excel, ArcGIS, and AutoCAD softwares; the stratigraphic columns of the Farrat Formation were elaborated, two stratigraphic columns, of the Carhuaz formation, two stratigraphic columns were made, one raised at the base of the formation and the other on the roof, in the central part it is covered by Quaternary deposits, and the formation Santa was carried out the survey of the stratigraphic column in the roof in 60m, the same one that is covered by quaternary deposits the rest of outcrop, the decompaction of the Formations was made determining that the Santa Formation was reduced 47.93% of its initial thickness, going down its porosity at 85.11% initial porosity; the Carhuaz Formation reduced its thickness in 27.6% of its initial thickness, also decreasing its porosity in 82.98% of its initial porosity; in the Farrat Formation its thickness was reduced in 27.06% of its initial thickness, its porosity also decreasing 79.55% of its initial porosity.

Key Words: Lithostratigraphy, decompaction, sequence, stratigraphic column.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

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

Las Formaciones Santa, Carhuáz, y Farrat del Cretácico inferior, en el caserío el Shaullo Chico del Distrito de Baños del Inca, carecen de un estudio sedimentológico y estratigráfico a detalle a nivel local, por lo que es importante el estudio para conocer mejor las características sedimentológicas y estratigráficas, así como también las estructuras sedimentarias y sus características petrológicas, todos estos datos del estudio e interpretación servirán para realizar las columnas estratigráficas detallada de cada Formación interpretando los cambios de facies, identificando ambientes sedimentarios de formación, así como los procesos sedimentarios que han ocurrido.

El estudio servirá como fuente de información y conocimientos para investigaciones posteriores que se realicen con la finalidad de incrementar el conocimiento de la estratigrafía en el caserío de Shaullo Chico del distrito Baños del Inca, para la cual se ha formulado el siguiente problema de investigación; ¿Cuáles son las características estratigráficas de las Formaciones Santa, Carhuaz y Farrat en el Caserío Shaullo Chico del Distrito de Baños del Inca?

Definido el problema de investigación, formulado, delimitado y planteados los objetivos de investigación; se planteó la hipótesis del trabajo de investigación; Las características estratigráficas de las Formaciones Santa, Carhuaz y Farrat del Cretácico Inferior en el Caserío de Shaullo Chico, se encuentran relacionadas con

el ambiente de sedimentación marina y que se ha desarrollado a lo largo del tiempo geológico con la acumulación de los sedimentos silicoclásticos.

Para la investigación se identificaron como variable dependiente a la estratigrafía y como variables independientes a la litología, ambiente, estructuras y cronoestratigrafía

Este proyecto de investigación se desarrolló en V capítulos, en el Capítulo I se presenta la introducción a al desarrollo de la presente investigación, en el Capítulo II, se desarrolla el marco teórico considerando algunos antecedentes de la investigación entre ellos locales y nacionales, temas referentes al tema de investigación, así como también la definición de algunos términos básicos utilizados en la investigación; en el Capítulo III se han descrito algunas generalidades del proyecto, como la hidrología, geología, geología estructural, la metodología para la recopilación de información de campo, los materiales y métodos; en el Capítulo IV se procedió al análisis y discusión de los resultados de acuerdo al 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 proyecto de investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

Ortega (2018), en la tesis Petrografía y Estratigrafía de la Formación Lo Prado en la Cordillera de la Costa (Entre 33°27' - 33°30' S): Sector Cuesta Lo Prado, La Formación Lo Prado, que aflora en la vertiente este de la Cordillera de la Costa de Chile central presenta su desarrollo más típico en los cerros ubicados al sur de la Cuesta Lo Prado, lugar donde fue definida como una Formación integrada por areniscas oscuras, finas a gruesas, lutitas bien estratificadas, varias capas lentiformes de caliza y bancos de conglomerados, además estas capas se encuentran intercaladas con tobas arenosas, brechas tobíferas y lavas andesíticas algunas del tipo ocoíta. En base a registros fósiles de *Holocoptychites neuquenensis* recolectados en la zona sur de la Cuesta Lo Prado se le asigna una edad Cretácico Inferior a la Formación en primera instancia. Actualmente esta Formación cuenta con una edad Berriasiano – Valanginiano.

García (2016), en la tesis Estratigrafía de la parte superior de la Formación Lomas de la Virgen, sierra de los Filos del Treinta y Cinco, Baja California Sur, en el escarpe geomorfológico conocido como Cordón de la Virgen o sierra Los Filos del Treinta y Cinco, ubicado al Oeste de la ciudad de La Paz, Baja California Sur, aflora un paquete de rocas sedimentarias clásticas denominadas formación Lomas de la Virgen. El nombre refiere a la localidad Lomas de la Virgen cerca del km 34.5 en la carretera transpeninsular. Esta unidad, con un espesor total de aproximadamente 480 m, sobreyace concordantemente al Grupo Comondú del Mioceno inferior, producto del arco volcánico miocénico en el noroeste de México en aquel tiempo. La edad de la formación Lomas de la Virgen abarca desde finales del Mioceno inferior a Mioceno medio.

Torre (2015), en la tesis La cuenca Ene: Estratigrafía, dominios estructurales y su prospectiva como potencial hidrocarburífero, el estudio se basan en la interpretación sísmica 2d de 4 líneas en la parte central de la cuenca Ene, la interpretación de tres secciones balanceadas regionales definidas en la Cuenca Ene y Camisea, la reinterpretación gravimétrica de la cuenca Ene, datos bioestratigráficos y columnas sintéticas estratigráficas, datos geoquímicos, datos de termocronología de baja, los datos de campo recopilados en la parte central y sur de la cuenca Ene. Además, con la ayuda de las imágenes satelitales LANSAT, RADAR y DEM, permitió entender la geodinámica de la cuenca.

Cueva (2008), en la tesis Estratigrafía, Sedimentología y Tectónica De La Meseta De Bombón Cerro De Pasco, caracterizado por presentar dos dominios estructurales las cuales han controlado la evolución tectono – magmática y sedimentaria de la Meseta de Bombón. El Dominio Este está caracterizado por sucesiones sedimentarias cuyas edades van desde el Paleozoico hasta el Cenozoico (grupos Mitu, Pucará y Goyllarisquizga, formaciones Chayllacatana y Calera). El Dominio Oeste está caracterizado por sucesiones sedimentarias que van desde el Mesozoico hasta el Cenozoico (grupos Pucará y Goyllarisquizga, formaciones Chayllacatana, Chulec, Jumasha, Pocobamba y Huayllay), estas sucesiones sedimentarias se encuentran recubiertas por depósitos plio-cuaternarios.

Ayala (2015), en la tesis Sedimentología, estratigrafía y tectónica de la cuenca puquio, departamento de Ayacucho, la unidad estratigráfica miocena Puquio presenta diversos elementos sedimentológicos y estructurales que son útiles para el conocimiento de la evolución tectonosedimentaria neógena de esta parte de los Andes (Cordillera Occidental). Así, este trabajo está enfocado en establecer la existencia e implicancias geodinámicas de una cuenca intracontinental según el estudio de la Formación Puquio. Por medio del cartografiado geológico, levantamiento de columnas estratigráficas, medición de paleocorrientes, abundancia relativa de arcillas (PIMA) y medición de microestructuras en planos de falla.

Spelucín (2016), en la tesis, Estratigrafía y Paleontología de la Formación Santa en los Distritos de Cajamarca - Baños del Inca - Llacanora, estudio que tiene como objetivo de realizar una descripción detallada de la Formación Santa y correlacionar cada una de las columnas levantadas en dichas zonas. Lo cual nos permitirá conocer las características del paleoambiente en el cual se desarrollaron las diferentes secuencias estratigráficas, realizando una caracterización petrográfica de las muestras recolectadas. Así mismo, se ha logrado determinar un horizonte bioestratigráfico, el cual tipifica a la Formación Santa Paleontológicamente, fijando características paleambientales de extensión regional y permitiéndonos estimar la edad geológica de esta formación.

Bardales (2014), en la Tesis Análisis Estructural de las Secuencias Cretáceas de los Baños del Inca y Alrededores, Cajamarca – Perú, realiza un análisis de las estructuras tectónicas principales de la secuencia Cretácea en los Baños del Inca y alrededores, a dos escalas de observación a escala macroestructural (imágenes aéreas, satelitales, modelo digital del terreno y vistas en 3D; identificando lineamientos, fallas, relieves plegados.) y mesoestructural (datos tomados en campo; fallas, diaclasas, superficies de estratificación y estrías). Se calcula paleoesfuerzos; Tectonics FP, T-tecto, Tensor, análisis geométrico de los pliegues e interpretación de los mecanismos de plegamiento.

Mejía (2012), Estudio Sedimentológico y Estratigráfico Del Caserío De Puylucana, Otuzco – Cajamarca da énfasis a las Formaciones que se encuentran ubicados en la zona de estudio las que son desde el Grupo Goyllarisquizga, la Secuencia Transgresiva y Grupo Crisnejas, Grupo Puylucana, Grupo Quilquiñan y Formación Mujarrun que se han identificado en los miembro choro y culebra; la Formación Quilquiñan diferencian las Formaciones Romiron; Coñor; así mismo la Formación Cajamarca, presenta la secuencia calcarías de Cretácico Superior que más destaca topográficamente por su homogeneidad litológica y ocurrencia en bancos gruesos y masivos, que exhiben una topografía kárstica con fuertes pendientes y finalizando la secuencia marina aflora la Formación Celendín que cierra el Sistema Cretácico Superior se caracteriza por ser excepcionalmente fosilífera de cefalópodos, lamelibranquios entre otros.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. LA ESTRATIGRAFÍA

Weller (1960) definió la Estratigrafía como 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) definió 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.

Hederg (1980), precisa que la estratigrafía no solo trata de una sucesión y correlaciones 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.

2.2.2. ESTRATO

Steno, en el XVII, denomina al estrato como una capa de roca (o de sedimento) limitada por superficies horizontales con continuidad lateral y que equivalen a una unidad de tiempo de depósito.

Vera (1994), define el estrato como como un nivel (un cuerpo generalmente tabular) de roca o sedimento, con litología homogénea o gradacional, que se depositó durante un intervalo de tiempo definido, además estos pueden estar delimitados, con respecto a materiales infrayacentes y suprayacentes, tanto por superficies netas como graduales.

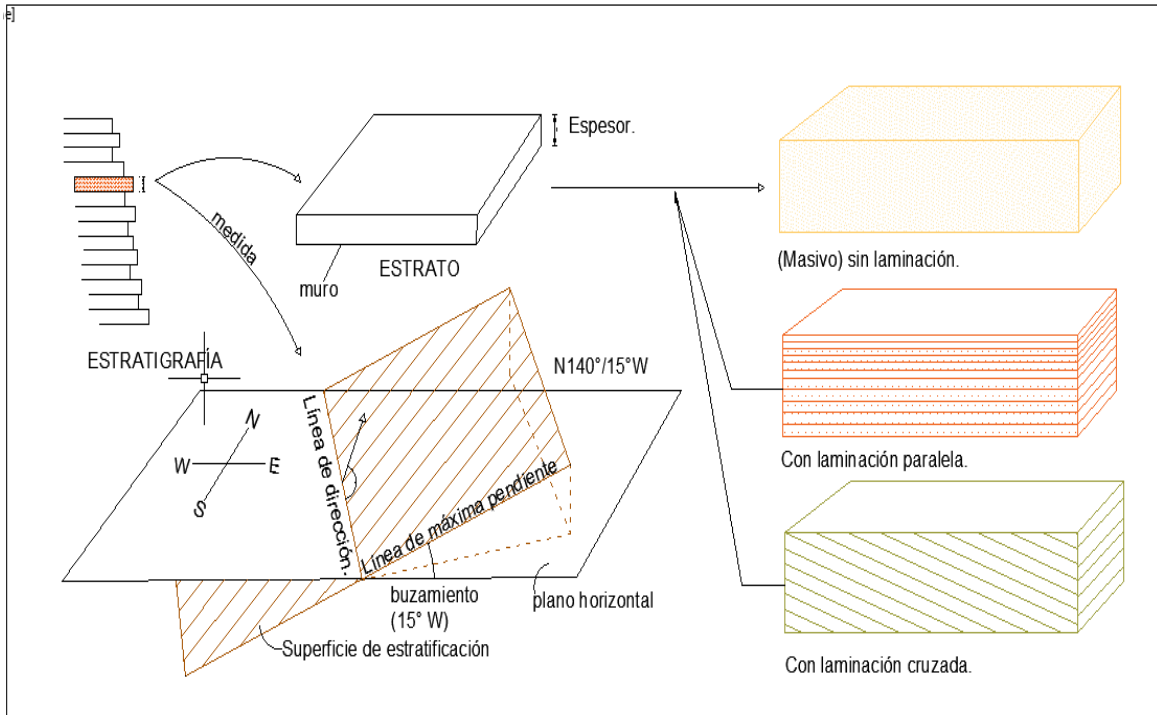


Figura 1. Rasgos de los estratos y medidas de la estratificación. Para un estrato concreto se marcan: el techo, el muro, el espesor, los posibles ordenamientos internos y la medida de su posición espacial. (Vera 1994).

2.2.3. LA ESTRATIFICACIÓN

Vera (1994). Define la estratificación como la disposición en estratos de los sedimentos, rocas sedimentarias y algunas rocas metamórficas, refiriéndose tanto al aspecto geométrico (disposición en capas sucesivas) como al genético (intervalos sucesivos de sedimentación).

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. (Vera, 1994).

2.2.4. TIPOS DE SUPERFICIES DE ESTRATIFICACIÓN.

Vera (1994). Desde un punto de vista geométrico diferencia, varios tipos de superficies de estratificación (fig. 2). Un primer tipo son las superficies planas y el segundo las superficies irregulares que muestran un marcado carácter erosivo. De acuerdo con los rasgos geométricos de detalle de la propia superficie se pueden reconocer:

- Superficies con estructuras de corrientes.
- Superficies con pistas de organismos.
- Superficies con estructuras de carga.
- Superficies onduladas como en el caso de techos de estratos con estructuras de rizaduras.
- Superficies bio-turbadas afectadas por la acción de organismos que destruyen parcialmente la estructura interna del estrato.
- Superficies nodulosas con una disposición en grumos o nódulos, especialmente visible en el techo de ciertos estratos (fig. 2).

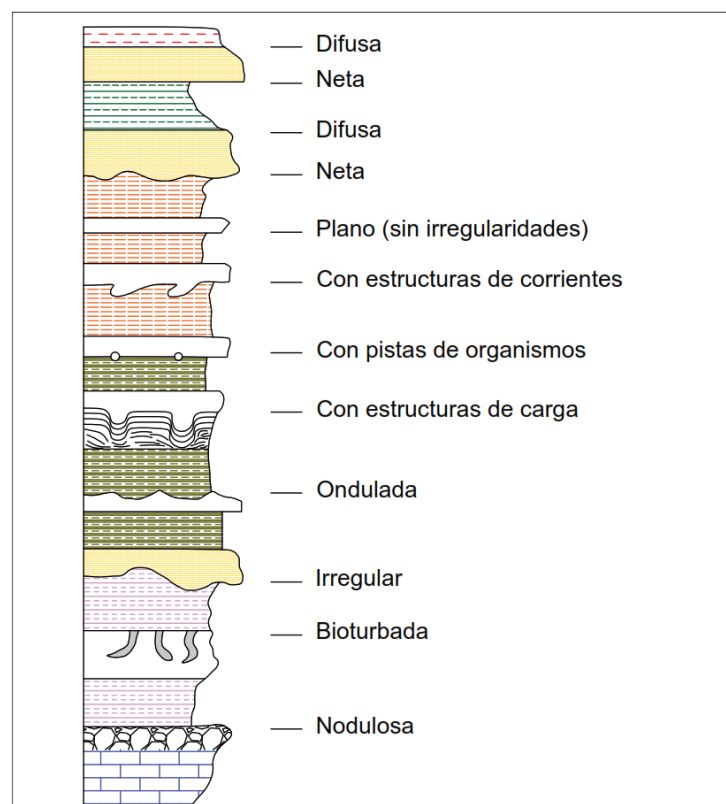


Figura 2. Tipos de superficies de estratificación que se pueden observar en el campo. (Vera 1994).

2.2.5. MEDIDAS DE LA ESTRATIFICACIÓN

El estudio de la estratificación, bajo su aspecto geométrico, permite realizar la medida de tres valores: dirección (ángulo que forma con el norte geográfico la línea de intersección de la superficie de estratificación con un plano horizontal); buzamiento (ángulo que forma la superficie de un estrato con la horizontal, medido en un plano perpendicular a la dirección); y espesor de un estrato (distancia entre los planos de estratificación que lo limitan, medida perpendicularmente a ellos).

En condiciones normales el espesor de un conjunto de estratos, será la distancia entre sus límites medida perpendicularmente a ellos y representa el espesor actual de los materiales sedimentados durante un determinado intervalo de tiempo. En el caso de la figura siguiente (A) el espesor del conjunto de estratos corresponde a la potencia de la unidad elegida. El problema se plantea cuando la sedimentación se realiza sobre una pendiente deposicional, sobre la que los estratos se apilan lateralmente (p.e. foreset de un delta); en este caso (ver figura 4, situación B) las dos medidas (2 y 3) no serán iguales y hay que diferenciarlas, pues si bien el espesor del conjunto de estratos valora el espesor real de los materiales sedimentados durante un lapso de tiempo, la potencia de la unidad distinguida corresponde a la altura actual que comprende dicha unidad, medida sobre la vertical del depósito en el momento de la sedimentación. (Vera 1994).

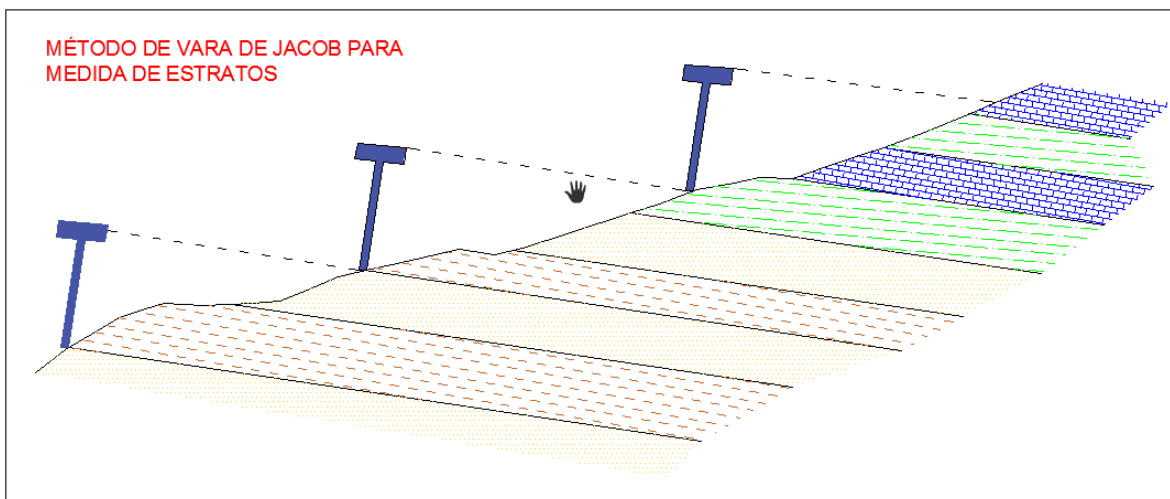


Figura 3. Medida de espesores con la vara de Jacob. (Vera, 1994)

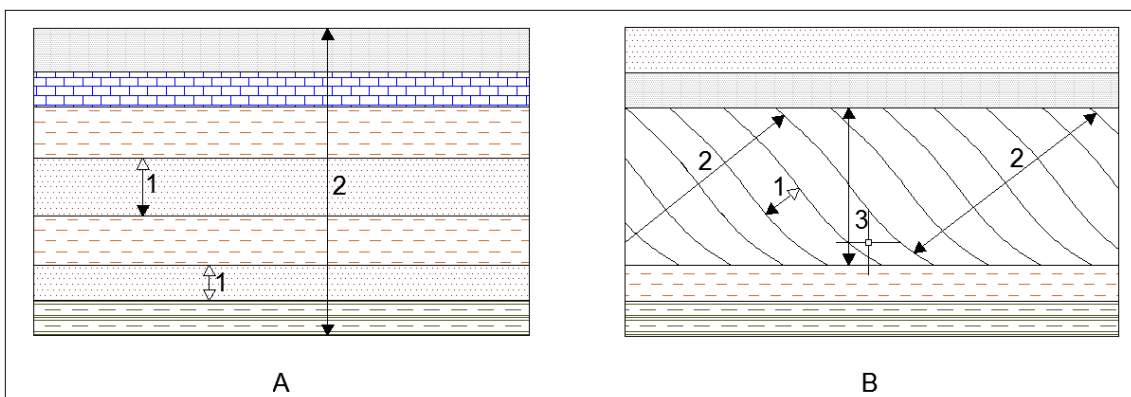


Figura 4. Medida de espesor de estratos: 1. Espesor de estrato; 2. Espesor de conjunto de estratos; 3. Espesor total de la unidad. (Vera, 1994).

2.2.6. TIPOS DE ESTRATIFICACIÓN

Vera (1994). Define los tipos de estratificación basándose en dos aspectos fundamentales: la geometría de los estratos individuales y los rasgos distintivos de las asociaciones de estratos sucesivos.

A. GEOMETRÍA DE LOS ESTRATOS.

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

- a) Estratos tabulares. Cuando las dos superficies de estratificación (techo y muro) son planas y paralelas entre sí.
- b) Estratos irregulares, con muro erosivo. Son estratos con gran extensión lateral, con un muro irregular y un techo plano, por lo que su espesor varía.
- c) Estratos acanalados. Con escasa extensión lateral y espesor muy variable, con una geometría interna semejante a la de la sección de un canal.
- d) Estratos en forma de cuña. Se trata de estratos limitados por superficies planas no paralelas entre sí, que terminan lateralmente por pérdida progresiva de espesor.
- e) Estratos lenticulares. Son discontinuos con el muro plano y el techo convexo. Una variante de estos son los estratos con forma biconvexa.
- f) Estratos ondulados. Se caracterizan por ser continuos con muro plano y techo ondulado, con estructuras de rizaduras de corrientes o de olas.

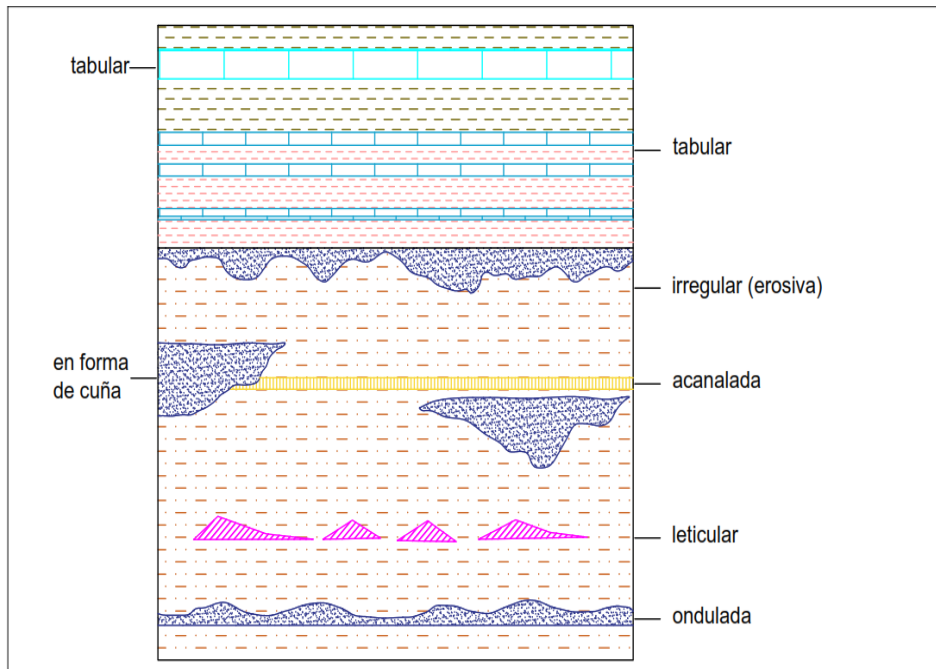


Figura 5. Tipos más simples de geometrías de estratos de acuerdo con su continuidad, forma de las superficies de estratificación y variación lateral de espesor.

B. ASOCIACIÓN DE ESTRATOS.

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

Un primer aspecto a considerar es la ordenación de espesores de los estratos individuales en los conjuntos de estratos sucesivos. En la figura 6 se esquematizan las diversas posibilidades de ordenación de espesores y se dan los siguientes nombres:

- **Uniforme.** Los espesores de los estratos sucesivos tienen todos ellos unos valores análogos, con un valor real muy cercano a la media estadística de todos los espesores.
- **Aleatoria o de espesor variable.** Los espesores de los diferentes estratos superpuestos son muy variables y no presentan ninguna ordenación definida.

- **Estratocreciente.** Los espesores tienen una ordenación en lotes de estratos con valores de espesores crecientes hacia el techo, dentro de cada lote. Este tipo de ordenamiento también se le conoce con el nombre de secuencia negativa (Lombard, 1956).
- **Estratodecreciente.** Es el contrario del anterior, o sea, con disminución de los espesores de los estratos hacia el techo en cada lote. Este tipo de ordenamiento también
- **En haces.** Los espesores de los estratos se distribuyen por lotes de estratos de espesores uniformes dentro de cada lote y diferentes entre lotes.

A estas modalidades de asociaciones geométricas de estratos hay que añadir la estratificación masiva, nombre que se utiliza para denominar intervalos de rocas sedimentarias en los que la estratificación no es distinguible a simple vista.

Además, considera una clasificación basada en la litología de los estratos que se superponen. Diferenciando los siguientes tipos: Homogénea cuando los estratos sucesivos tienen la misma naturaleza, heterogénea cuando estos cambian de manera desordenada, rítmica cuando alternan ordenadamente dos tipos de litología y cíclica cuando el módulo que se repite es de más de dos litologías.

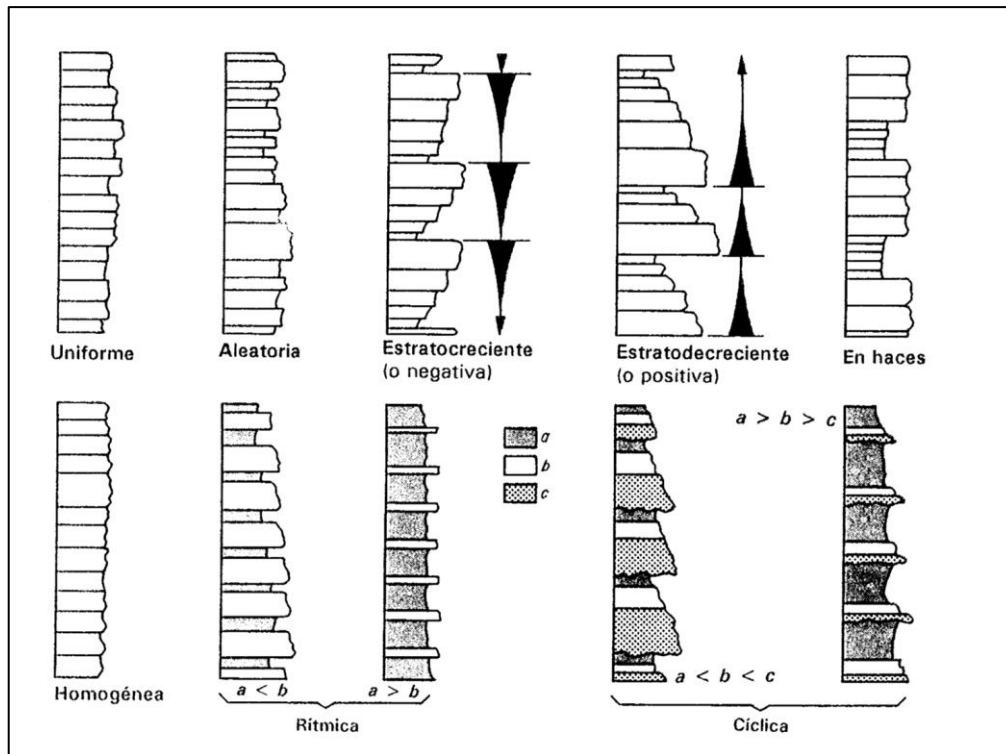


Figura 6. Tipos de asociaciones de estratos de acuerdo con la distribución de los espesores y de las litologías presentes (explicación en el texto). Los términos a, b y c corresponden a tres tipos litológicos, en los que a sería el término de mayor tamaño de grano (en rocas detríticas) o de mayor energía (en rocas carbonatadas).

2.2.7. UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS GENÉTICAS

Con el nombre genérico de unidades genéticas se denominan a los volúmenes de materiales que rellenan una cuenca sedimentaria separada por superficies que indiquen o reflejen acontecimientos representados en el conjunto de la cuenca. El rasgo estratigráfico más fácilmente constatable, tanto en observación de campo como en información de subsuelo (sísmica), son las discontinuidades estratigráficas reconocibles, esencialmente en el borde de las cuencas sedimentarias, que hacia el interior de las mismas pasan a superficies de continuidad correlativas. (Marocco, 2009).

A. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

Tras el establecimiento de las secuencias deposicionales, el análisis sedimentológico debe volver al estudio detallado de las estructuras sedimentarias para realizar las interpretaciones paleoambientales más detalladas, es decir hay que volver a las fuentes en un proceso de ajuste de las observaciones constante.

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 (Arche, 2010).

Las estructuras sedimentarias pueden dividirse en tres categorías: pre-sedimentarias, sin-sedimentarias y post-sedimentarias:

- **Estructuras Pre-sedimentarias**

Las estructuras pre-sedimentarias se forman en el basamento antes de que se depositen los sedimentos. Por tanto, son siempre erosivas, y no deben confundirse con procesos de 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).

- **Estructuras Sin-sedimentarias**

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. (Arche, 2010).

- **Estructuras Post-sedimentarias**

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 hundieron 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, causado por sacudidas bruscas debidas a terremotos u otras vibraciones. (Arche, 2010).

B. UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS

De acuerdo a la Guía Estratigráfica Internacional (GEI, 1980) define como unidad litoestratigráfica a un conjunto de estratos que constituyen una unidad, por estar compuesto predominantemente por una cierta litología 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 diferenciables de los volúmenes que lo rodean, por su litología. (GEI, 1980).

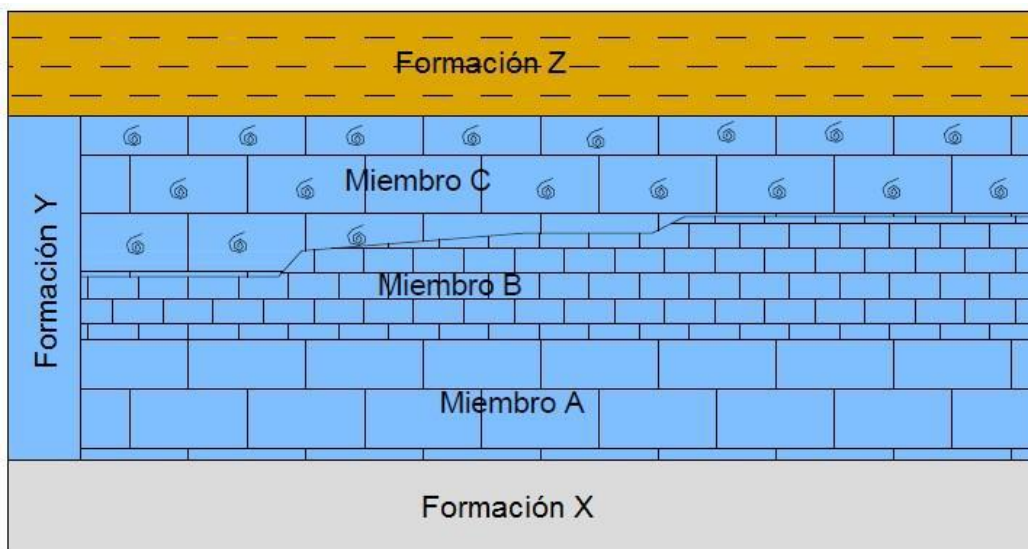


Figura 7. Gráfico en el que se muestran los rangos de unidades litoestratigráficas. Se representan tres Formaciones (X, Y, Z) y en una de ellas (Formación Y) se diferencian tres miembros (A, B, C). Se muestran dos ejemplos de capa: la capa 1 es una unidad litoestratigráfica de rango menor diferenciada directamente dentro de una formación, mientras que la capa 2 es una unidad, del menor rango, dentro de un miembro.

Unidades Litoestratigráficas Formales e Informales

La nomenclatura estratigráfica prevé la utilización de estas unidades con carácter formal e informal. Con carácter formal implican la definición de acuerdo con unas normativas (CNE, 1961; GEI, 1980; NASC, 1983) establecidas por organismos internacionales y que pretenden velar por la pureza de la nomenclatura, evitando errores graves cometidos en tiempos pasados en los que se llegó a utilizar una nomenclatura de difícil uso fuera de una región geográfica concreta.

Las unidades litoestratigráficas informales son los volúmenes de rocas que se delimitan en una región cuando se inicia su estudio, y en las que se agrupan conjuntos de estratos en función de sus litologías. Para definir o utilizar, en una región, unidades litoestratigráficas es necesario hacer un estudio detallado de la misma y delimitar los volúmenes de rocas (unidades informales) y después comparar con las unidades formales previamente definidas en sectores adyacentes para aplicar una nomenclatura correcta. Con el fin de diferenciar las unidades formales de las informales la guía (GEI, 1980) recomienda que el término que designa la unidad debe llevar mayúscula inicial en las formales y minúscula en las informales.

Forma de las Unidades Litoestratigráficas

Se refieren a todos los tipos de unidades litoestratigráficas, formales e informales, por tanto, a todos los volúmenes de rocas estratificadas delimitados por sus litofacies.

Geometrías Deducidas A Partir De Datos De Campo

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. (Vera, 1994).

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

- **Unidades con techo y muro planos y paralelos.** Este tipo geométrico caracteriza unidades que mantienen su espesor en casi toda su extensión (fig. 8A). 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. Las unidades laminares son aquellas en las que la relación de distancia mayor y espesor es superior a 1000, por lo que la unidad deberá tener al menos diez kilómetros de extensión (o longitud mayor) por cada diez metros de espesor. Las unidades tabulares son aquellas en las que la relación entre longitud y espesor es inferior a 1000 y superior a 50; así, una unidad de 10 m de espesor deberá tener una longitud superior a 500 m y menor a 10 km. Son características de medios sedimentarios extensos y de fondo uniforme, como las plataformas marinas y los medios pelágicos. (Vera, 1994).
- **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 (fig. 8B). 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. Para unidades de gran rango son especialmente abundantes en los primeros rellenos sedimentarios de una cuenca, en la que la sedimentación se inicia sobre un relieve irregular.
- **Unidades con techo plano y muro convexo.** Son las llamadas unidades lenticulares o semilenticulares que se caracterizan por tener una escasa continuidad lateral (fig. 8C). La relación entre la longitud y el espesor es inferior a 50. Son frecuentes en depósitos en medios sedimentarios muy reducidos como lagos pequeños o charcas. (Vera, 1994).

- **Unidades con variaciones laterales de espesor.** Bajo este epígrafe general se reúnen a 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 (fig. 8D); son frecuentes en los bordes de las cuencas sedimentarias donde los límites de la región subsidente quedan reflejados en depósitos que aumentan su espesor hacia el interior de la cuenca (sector subsidente) y disminuye hacia fuera (sector no subsidente). 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 (fig. 8E); son características de sectores de cuencas sedimentarias en las que la subsidencia ha sido diferente según los sectores y en los que la sedimentación tiene a compensar las desigualdades del fondo ocasionadas por esta subsidencia diferencial. (Vera, 1994).

- **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 (fig. 8F). Un segundo tipo son las unidades con forma de montículo, con muro plano y techo convexo (fig. 8G) propias de crecimientos orgánicos (arrecifales). Un tercer tipo son las unidades con forma de abanico (fig. 8H), 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).

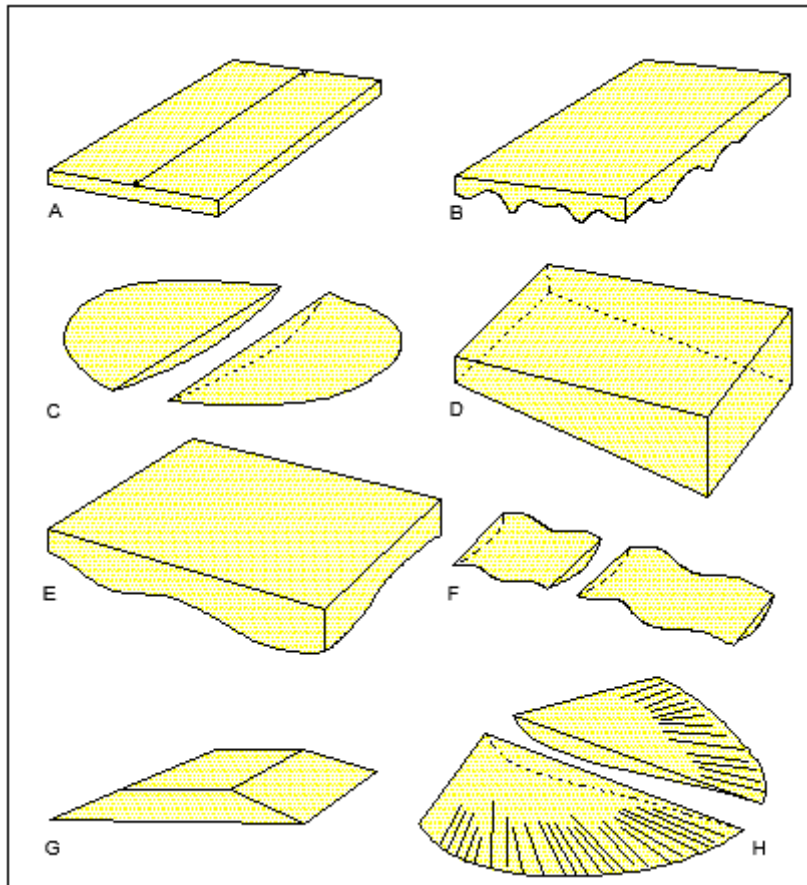


Figura 8. Formas de las unidades litoestratigráficas, deducidas a partir de datos de campo. (Vera, 1994).

Geometría de los Estratos Dentro de las Unidades Litoestratigráficas

Hasta ahora solamente se ha hablado de la geometría externa de las unidades litoestratigráficas, con unas breves y puntuales alusiones a las geometrías internas. Se aborda aquí, en detalle, el estudio de la geometría de los estratos dentro de las unidades litoestratigráficas y, más concretamente, de la relación de la estratificación con las geometrías del techo y muro de la unidad. Estas geometrías reflejan procesos muy interesantes en la sedimentación y en el crecimiento gradual de un cuerpo sedimentario, que se conocen genéricamente con el nombre de acreción. Se explican, a continuación, los distintos tipos de geometrías directamente en relación con los procesos que los regulan, insistiendo en los criterios de observación en el campo (o de interpretación de perfiles sísmicos) que permitan su reconocimiento. (Vera, 1994).

- **Acreción vertical o agradación**

La acreción vertical o agradación consiste en la superposición de capas horizontales (o subhorizontales) paralelas a las superficies límite (muro y techo) de las unidades litoestratigráficas. Se trata de la forma más usual de geometría interna de los estratos dentro de una unidad litoestratigráfica, en la que se cumplen los principios de la superposición y de la continuidad lateral y horizontalidad original. Tanto en observación de campo, como en perfiles sísmicos, se reconocen por presentar un conjunto de estratos, o de reflectores, paralelos entre si y paralelos al muro de la formación. (Vera, 1994).

- **Acreción frontal o progradación**

La acreción frontal o progradación es el proceso de crecimiento gradual de un cuerpo sedimentario en sentido frontal, hacia el interior de la cuenca, en el que se coloca una capa sobre otra dando un dispositivo sigmoidal u oblicuo (fig. 9), que no cumple el principio de la horizontalidad original. El avance de las capas que se van superponiendo se hace en el sentido del transporte. Se trata de una de las geometrías internas de unidades litoestratigráficas más interesantes para la interpretación de las mismas. Los dispositivos de progradación son visibles, especialmente, en perfiles sísmicos y, con menor frecuencia, en observación de campo, ya que la escala a los que se detectan mejor es la kilométrica. (Vera, 1994).

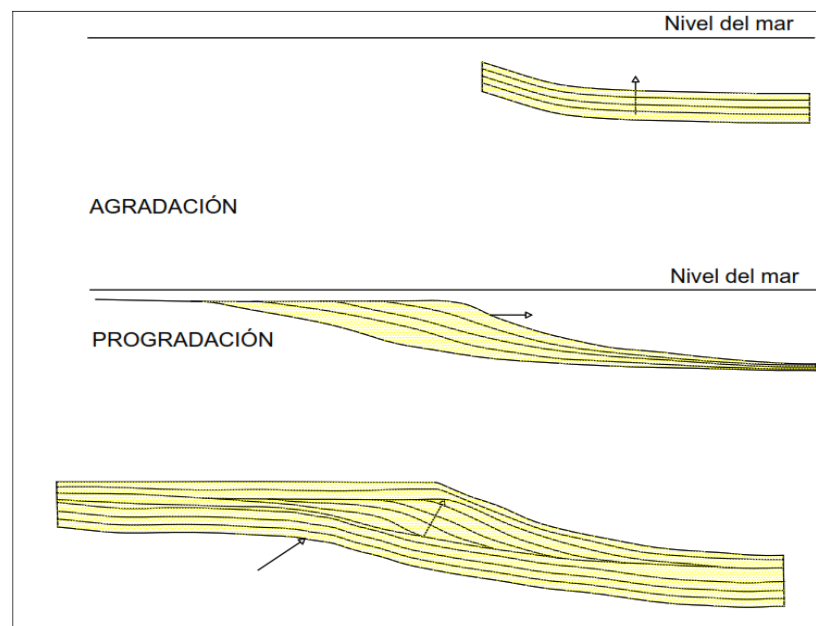


Figura 9: Agradación y progradación frontal hacia el interior de la cuenca. (Vera, 1994).

- **Acreción lateral**

Se llama acreción lateral al proceso de crecimiento de estratos en sentido perpendicular a la dirección de la corriente. Tiene lugar especialmente en relación con los desplazamientos laterales de los cauces meandriformes fluviales o deltaicos. Se trata de geometrías visibles especialmente en observación de campo, ya que su escala es decamétrica o hectométrica. (Vera, 1994).

- **Acreción Frontal**

Presenta una geometría de estratos convexa hacia el techo (fig. 10) con respecto a los de acreción lateral (cóncava hacia el techo). (Vera, 1994).

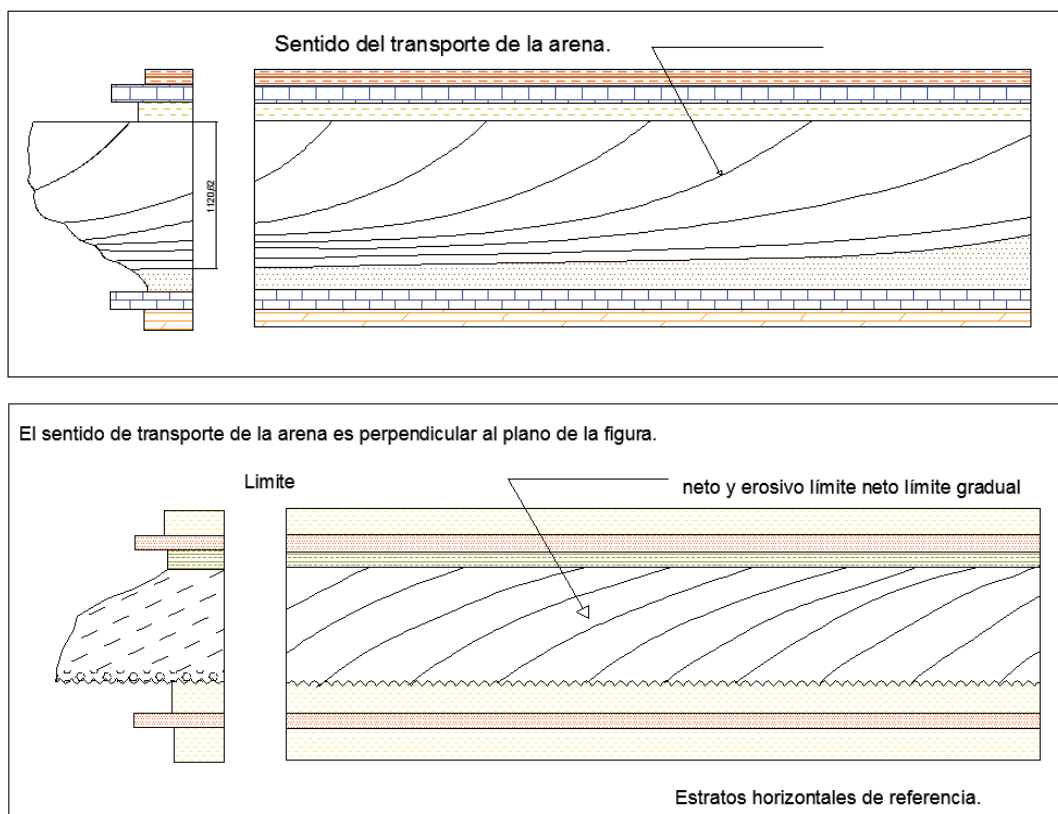


Figura 10. Gráfico elaborado a partir de dos figuras de Bosellini et al. (1988) en el que se muestra la diferencia entre las superficies de acreción frontal (o progradación) y las de acreción lateral.

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. En los demás casos, cuando no haya límites de fallas sin-sedimentarias, las relaciones laterales son geométricamente menos bruscas y en ellas se pueden diferenciar varios tipos que se describen a continuación. (Vera, 1994).

- **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 producen los bordes de un medio sedimentario que lateralmente cambia a un medio no deposicional. 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).

- **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).

- **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).

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).

- **Concordancia y discordancia**

Se llama concordancia a la relación vertical entre dos unidades lito-estratigráficas superpuestas, en la que tanto la unidad infrayacente como la suprayacente presentan superficies de estratificación paralelas a la superficie de separación entre ambas. Por el contrario, se llama discordancia a la relación entre dos unidades litoestratigráficas superpuestas en la que la superficie de separación entre ambas corta a las superficies de estratificación de la unidad infrayacente, indicando claramente una etapa de deformación (basculamiento y/o plegamiento) seguida de otra de erosión, entre el depósito de ambas unidades.

Los conceptos de concordancia y discordancia son puramente geométricos, relativos a la relación geométrica entre las superficies de estratificación de los materiales de dos unidades litoestratigráficas superpuestas, aunque lógicamente implican ciertas condiciones genéticas. Contrastan con los términos de continuidad y discontinuidad, que serán tratados en el capítulo 10 de este libro, los cuales aluden a la relación genética entre dichas unidades. (Vera, 1994).

C. SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA

Una sección estratigráfica es la sucesión cronológica de todas las unidades estratigráficas presentes en una región, ordenadas de más antigua a más moderna, esto es, en el orden en el que ocurrió su depósito. Por extensión se utiliza dicho término a la representación gráfica, a escala, de la totalidad de las unidades estratigráficas, ordenadas temporalmente. A esta sucesión (y a su representación), con frecuencia, se le ha denominado serie estratigráfica, aunque recientemente se tiende a evitar el uso del término serie con esta acepción, ya que éste se incluye como un término formal de la nomenclatura estratigráfica (GEI, 1980),

concretamente como unidad cronoestratigráfica de rango superior al piso e inferior al sistema. Algunos autores (p.ej. Bates y Jackson, 1987) utilizan el término secuencia estratigráfica como sinónimo de sección estratigráfica; sin embargo se aconseja evitar este uso ya que el término "secuencia" se utiliza con acepciones muy diferentes: se usó para la distribución vertical de la facies (secuencia de facies), en la interpretación de las secciones estratigráficas se usa el término secuencia elemental (sinónimo de secuencia de facies) y en la interpretación del relleno de una cuenca sedimentaria se utilizará el término secuencia deposicional, para denominar a unidades estratigráficas genéticas.

- **Sección Estratigráfica Local**

La sección estratigráfica local es la ordenación temporal de las diferentes unidades litoestratigráficas de un área concreta, se representa con un gráfico a escala en el que cada unidad litoestratigráfica se dibuja con los signos convencionales y al que con frecuencia se añade los datos relativos a texturas, estructuras sedimentarias y contenido fosilífero de manera que en la mínima extensión del dibujo se exprese al máximo de datos de las litologías, lo que facilita su posterior interpretación. (Vera,1994).

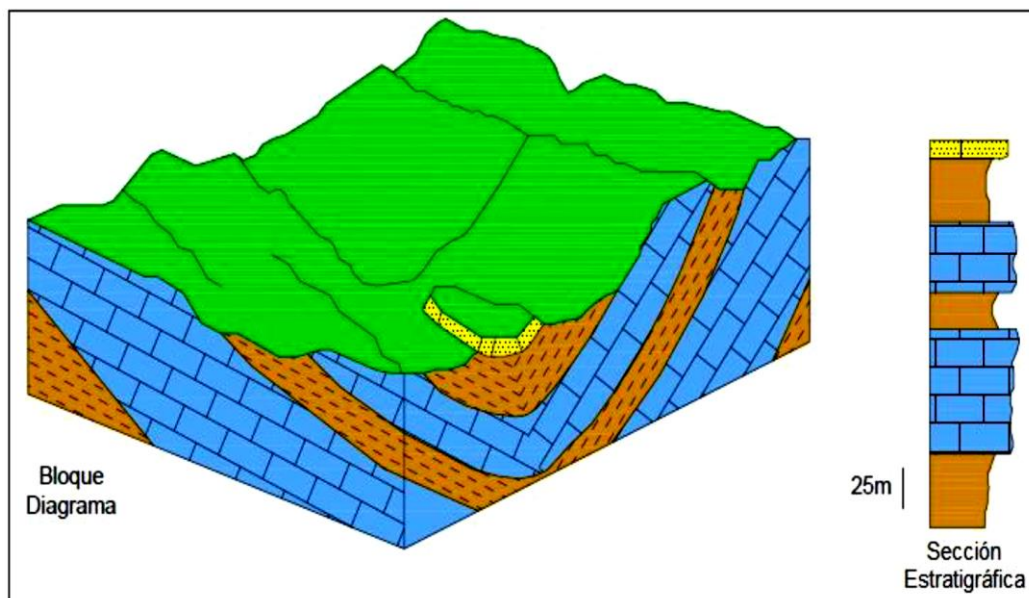


Figura 11. Sección estratigráfica local elaborada mediante el principio de superposición. (Vera 1994).

- **Medida de Espesores**

Se realiza usualmente mediante medidas parciales de los estratos y conjunto 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 que la forman para poder hacer estudios estadísticos de los mismos. Al mismo tiempo observa las características litológicas y dispositivos texturales granocrecientes o granodecrecientes.

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

A partir de ahí se inicia la elaboración y medida de espesores. Esta medida se puede realizar con un altímetro de precisión o con cinta métrica, en este último caso haciendo las medidas con una cinta completamente vertical llamada “Vara de Jacob” es un bastón de 1.5 metros de altura. (Vera, 1994).

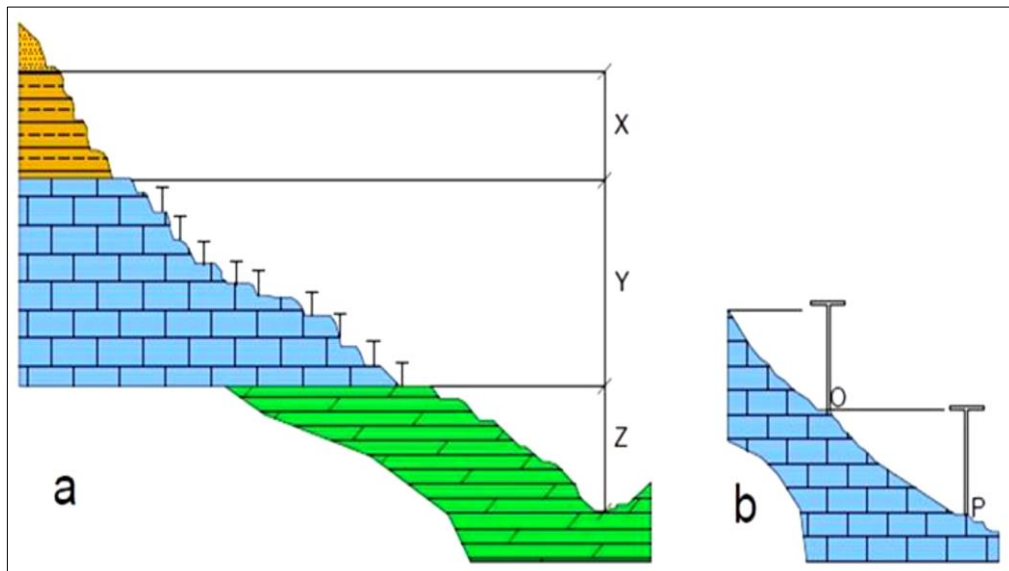


Figura 12. **a**, Medida horizontal (x,y,z: unidades litoestratigráficas), **b**, detalle de medida con la vara de Jacob en capas horizontales (P,Q, 1.5m que es la altura de la vara de Jacob) (vera 1994)

En la elaboración de secciones estratigráficas en áreas de capas plegadas la medida de espesores presenta más dificultad. La primera se resuelve colocando el instrumento de medida (cinta métrica o Vara de Jacob) perpendicularmente a las superficies de estratificación.

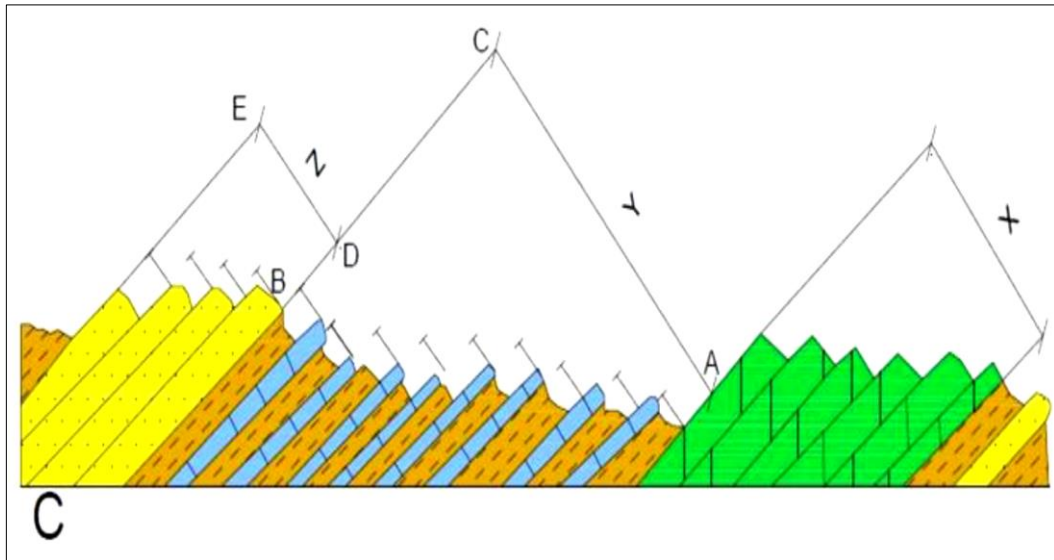


Figura 13. c: Medida de espesores de estratos inclinados mediante mediciones parciales sucesivas (x,y,z) (vera 1994)

Controlando la dirección y buzamiento con mediciones constantes y usando la Vara de Jacob.

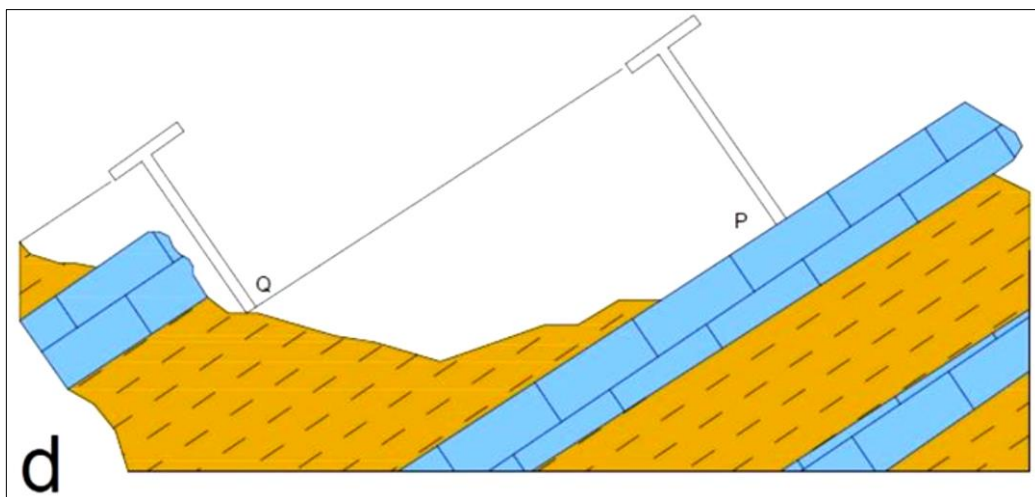


Figura 14. d: Medida con vara de Jacob en capas inclinadas. (vera 1994).

Para calcular el espesor (A – C) es necesario conocer el buzamiento (α) en la (figura 13) e inclinación de la línea A – B (β). La resolución se hace trigonométricamente:

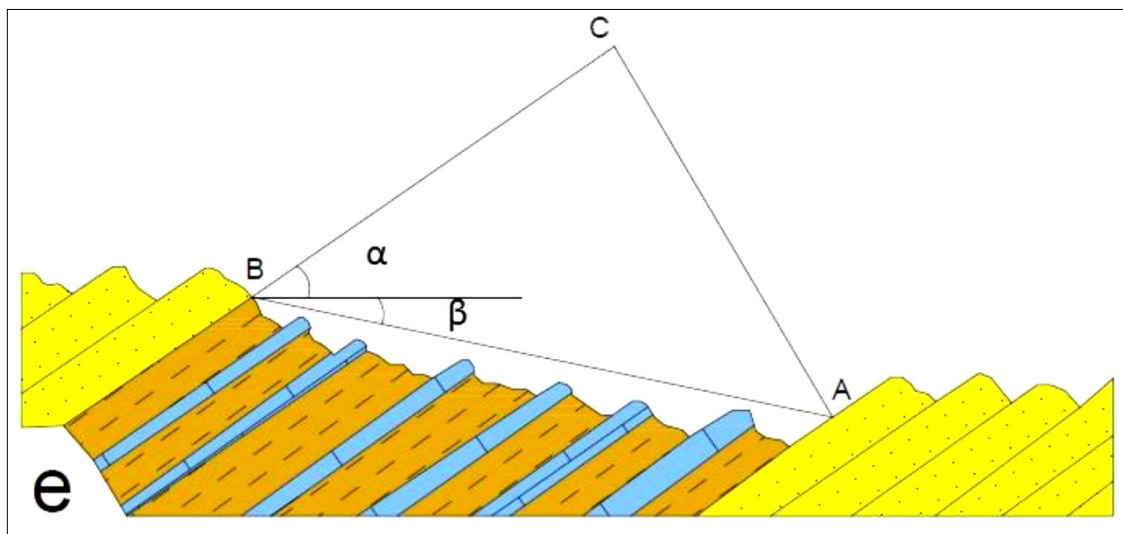


Figura 15. e: Medida de espesor teniendo como dato el buzamiento y pendiente (vera 1994)

- **Métodos de levantamiento**

Los métodos de levantamiento de secciones estratigráficas serán claramente diferentes cuando los materiales afloran en superficie que cuando se trate de materiales que no afloran y que solamente se conocen por datos de subsuelo (sísmica, sondeos y diagráfias).

Las unidades litoestratigráficas, que afloran en una región y se diferencian a partir de sus litofacies, pueden ser observadas, medidas y muestreadas directamente sobre el terreno. La extensión superficial que ocupa cada una de las unidades sobre el relieve actual se reconoce sobre una fotografía aérea y posteriormente se representa sobre un mapa topográfico, elaborando con ello un mapa geológico, en el cual cada unidad queda reflejada con un color o trama diferente con la indicación de la dirección y buzamiento de las capas. (Vera, 1994).

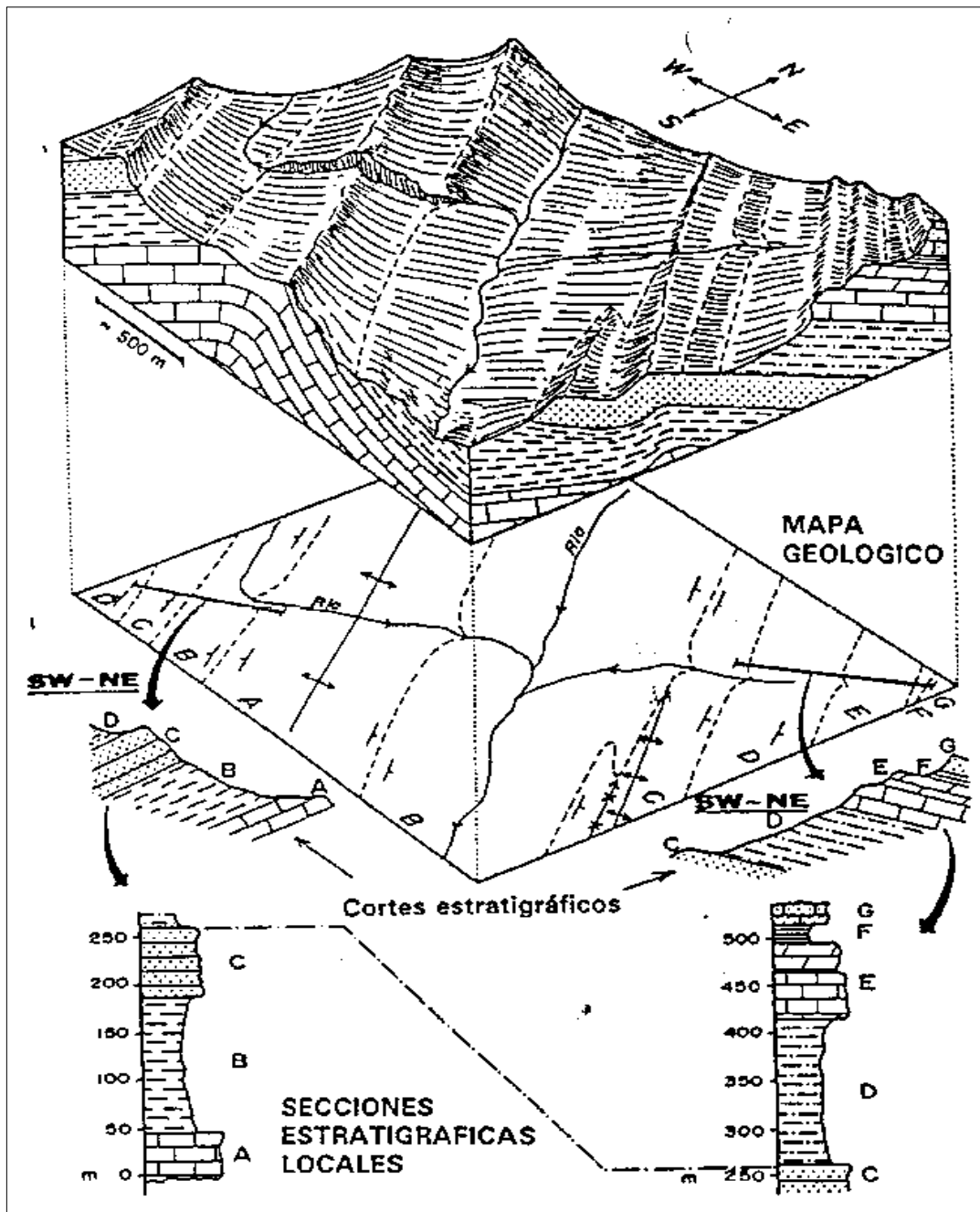


Figura 16. Graneo en el que se muestra un bloque diagrama, con la disposición tridimensional de las unidades litoestratigráficas de una región determinada, la representación de las mismas en un mapa geológico en el que se marca la posición de los cortes estratigráficos en los que mejor se pueden levantar las secciones estratigráficas y la representación gráfica de las mismas. Leyenda: A, B, C, D, E, F y G: unidades litoestratigráficas. (Vera 1994)

2.2.8. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS CLÁSTICAS

Las rocas sedimentarias clásticas se componen de partículas minerales producidas por la desintegración mecánica de otras rocas y transportadas. Están formadas a partir de la acumulación de arenas, gravas, bloques, cenizas volcánicas.

PETTIJHON: La matriz define el tipo de triángulo a utilizar, es decir, si la matriz es menor que 15 %, la roca que se está clasificando pertenece a la familia de las arenitas que conforman el primer triángulo; si la matriz está comprendida entre 15 % y 50 %, la roca pertenece a la familia de las grauvacas y, finalmente, si la matriz es mayor que 50 %, la roca pertenece a las lutitas, cuya clasificación se emplea de una manera diferente a las areniscas y no es tema de discusión en este estudio.

FOLK (1970): En relación a los anteriores, Folk cambia el alcance (proporciones relativas) con el que se utilizan esos criterios y la terminología a la que dan lugar.

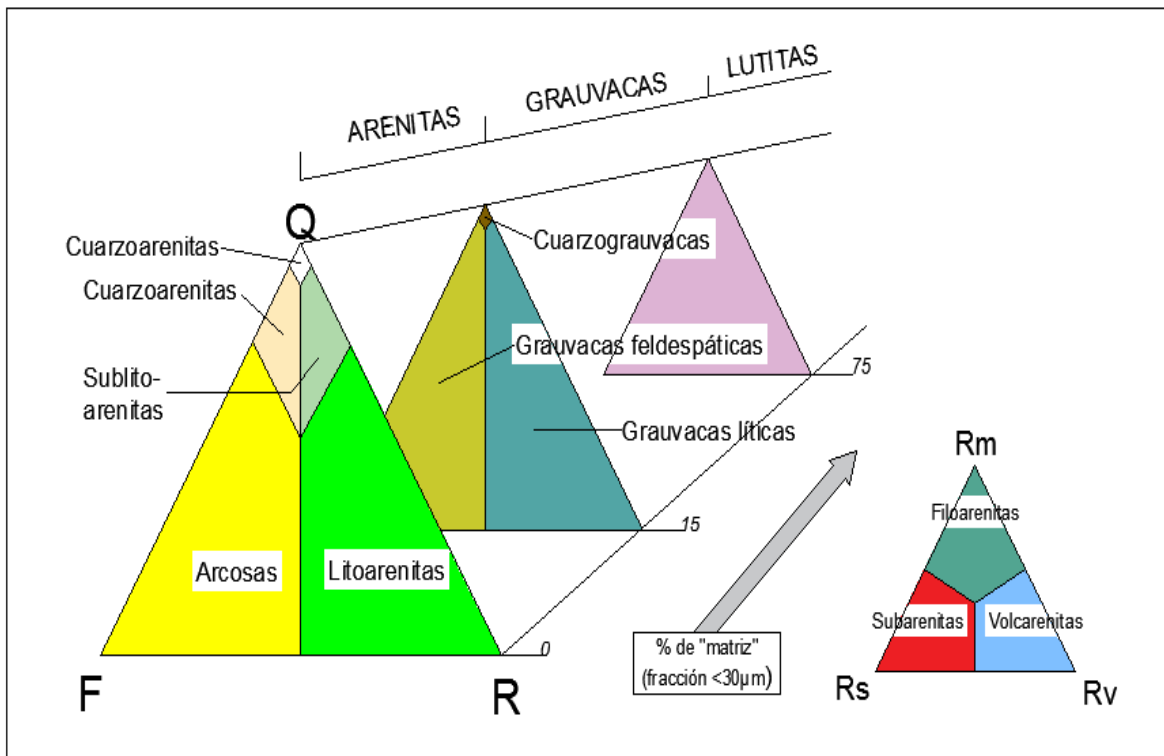


Figura 17. Clasificación rocas clásticas según Pettijhon (1973)

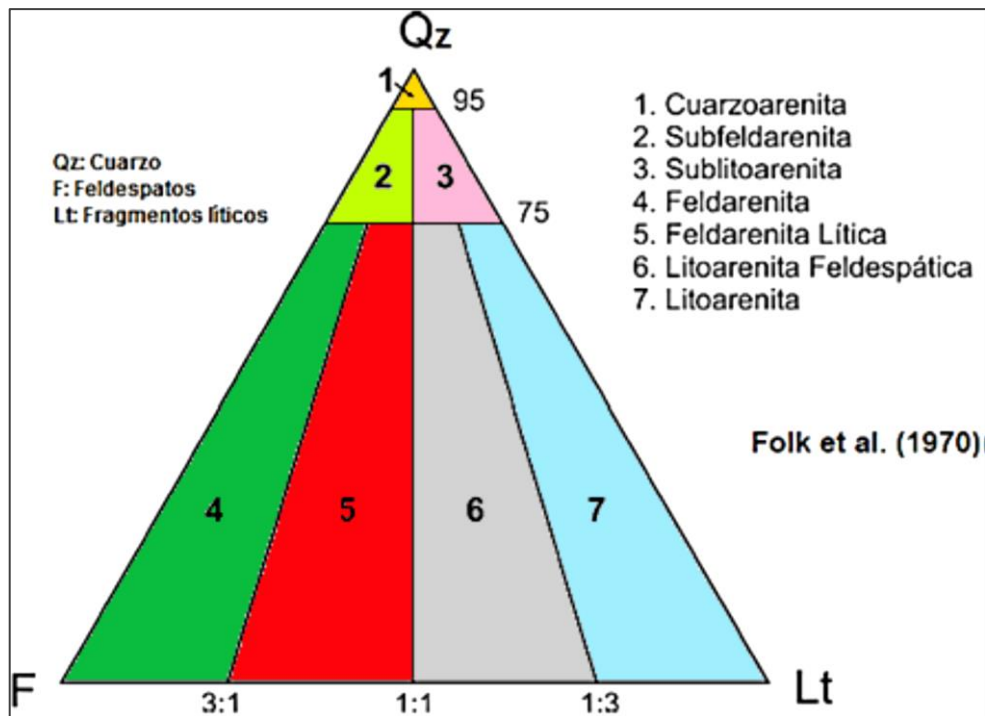


Figura 18. Clasificación de rocas clásticas (Folk et al. 1970)

J. UDDEN y C. WENTWRTH: Clasifican las rocas sedimentarias atendiendo a su granulometría.

Diámetro límite (en milímetros de la clase)	Denominación de la clase	Denominación de la roca según su granulometría	
256	bloque	rudita conglomerado brecha	
64	bloque pequeño		
4	canto		
2	canto pequeño		
1	arena muy gruesa	arenita arenisca arena	
0,5 ($1/2$)	arena gruesa		
0,25 ($1/4$)	arena		
0,125 ($1/8$)	arena fina		
0,0625 ($1/16$)	arena muy fina		
0,0312 ($1/32$)	limo grueso	limolita	argilita lutita pelita
0,0156 ($1/64$)	limo medio		
0,0078 ($1/128$)	limo fino		
0,0039 ($1/256$)	limo muy fino		
	arcilla	arcillita	

Figura 19. Clasificación granulométrica de las rocas sedimentarias y sedimentos detríticos. (J. UDDEN y C. WENTWRTH)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

CORRELACIÓN: Es la correspondencia estratigráfica entre dos o más secuencias sedimentarias formadas en cuencas diferentes. La correlación se basa esencialmente en la determinación de que las acumulaciones se realizaron en la misma época. (Dávila, 2011).

CUENCA SEDIMENTARIA: Región cóncava de la corteza terrestre limitada por arcos estructurales o cadenas montañosas, donde se produce la acumulación de materiales fragmentarios o la precipitación de sustancias disueltas en las aguas que cubre la mencionada región. (Dávila, 2011).

ESTRATIFICACIÓN: Disposición paralela o subparalela que toman las capas de las rocas sedimentarias, durante su sedimentación. La estratificación puede ser concordante, discordante y cruzada. (Dávila, 2011).

FACIE: Conjunto de caracteres y condiciones físicas, químicas, ambientales y paleontológicas, mediante las cuales se produjeron las deposiciones litológicas. Ej. Facies metamórfica, facies lacustre, facies marina, etc. (Dávila, 2011).

INTERVALO: Es un cuerpo de estratos, comprendido entre dos niveles estratigráficos guía. Un intervalo geocronológico es el lapso que media entre dos sucesos geológicos. (Hedberg, 1980).

NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA: Se refiere a los nombres propios dados a unidades estratigráficas determinadas; por ejemplo, Formación Chimú. (Hedberg, 1980).

SEDIMENTO: Material fragmentario originado por la erosión y/o alteración de las rocas preexistentes susceptible de ser transportado y depositado en los fondos marinos, fondos lacustres y depresiones continentales. (Dávila, 2011).

SUPERFICIE DE ESTRATIFICACIÓN: Superficie que separa dos estratos consecutivos de una secuencia sedimentaria. (Dávila, 2011).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

3.1.1. UBICACIÓN

El área de estudio se encuentra ubicada en el continente sudamericano, en el norte del Perú, departamento Cajamarca, al este de la ciudad de Cajamarca, en la provincia de Cajamarca, en el 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 WGS1984 UTM Zone_17S en el cuadrángulo de Cajamarca (15-g) ver anexo plano N° 03:

Tabla 1: Vértices para la delimitación

VERTICES DEL AREA DE ESTUDIO		
PTO	ESTE	NORTE
1	781434	9208452
2	784442	9207316
3	783456	9204703
4	780447	9205838

3.1.2. ACCESIBILIDAD

Existen tres accesos para acceder al área de estudio, que detallamos en la tabla 02, (ver anexo plano N° 03).

Tabla 2: Accesos al área de investigación.

ACCESO	TRAMO	TIPO DE VIA	DISTANCIA (Km)	TIEMPO (min)
ACCESO 1	Cajamarca – Baños del inca	Asfaltada	6	15
	Baños del Inca – Shaullo	Asfaltada	1.5	5
ACCESO 2	Cajamarca – Baños del Inca	Asfaltada	6	15
	Baños del Inca – Encañada (Km 6)	Asfaltada	6	15
	Km 6 – Zona de estudio	Trocha carrozable	1	5
ACCESO 3	Cajamarca – Baños del Inca	Asfaltada	6	15
	Baños del Inca – Zona de estudio (Por la carretera que va a Llacanora)	Asfaltada	3	6

3.2. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología del área de estudio encuentra en la etapa de madurez, por presentar valles en U, colinas subredondeadas y laderas convexo – cóncavas.

Colinas

Se aprecian en el área de estudio colinas subredondeadas producto de la erosión.



Fotografía 1: Se observan superficies subredondeadas en la zona de estudio.

Valles

Valle presenta un típico perfil transversal en U, por lo que se deduce que es un valle maduro. También en la zona encontramos valles jóvenes que están formados por quebradas, que son causantes de la erosión.



Fotografía 2: Se observa la forma de U, característico de un valle maduro.

Cárcavas

Producidos en los lugares con pendiente a causa de las avenidas de agua de lluvia. Estas producen el proceso de expansión de una cuenca hidrográfica mediante la erosión.



Fotografía 3: Cárcavas originadas por el flujo de la lluvia.

3.3. FISIOGRAFÍA

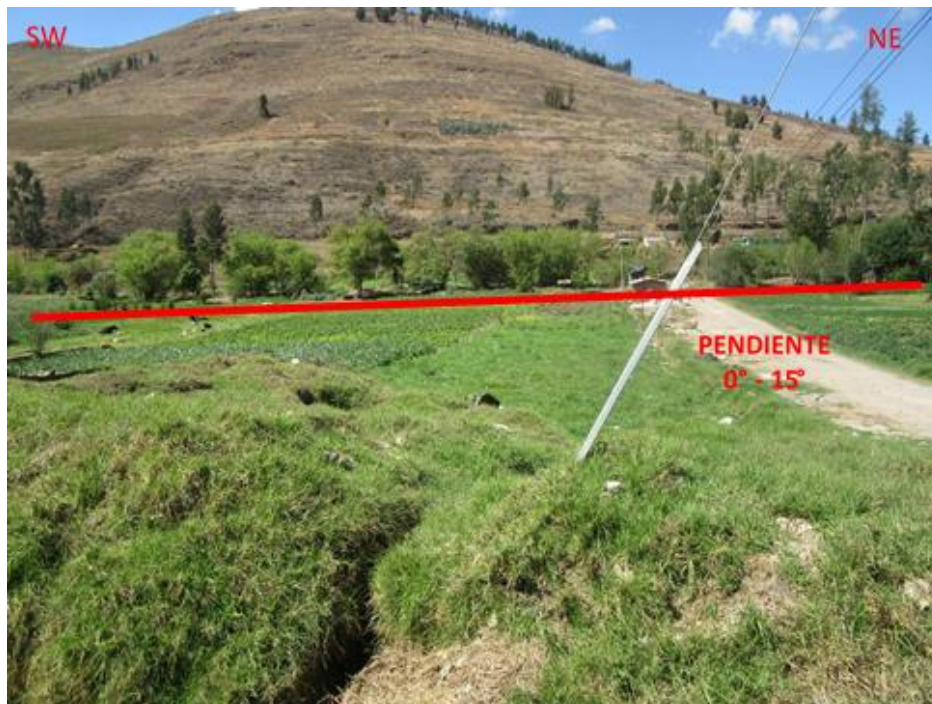
El relieve de la zona se caracteriza por ser muy accidentada, ya que se localiza entre una altura mínima de 2620 msnm y 3300 msnm. Se caracteriza por tener una topografía variada con pendiente que van desde muy bajas a pendientes altas. Estas pendientes están en relacionadas con las unidades geomorfológicas.

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

Pendiente Baja: Se puede apreciar zonas con pendiente de 0° a 15°, que son formas casi planas.



Fotografía 4: Se observa pendiente baja de 0° a 15°.

Pendiente Moderada: Estas zonas tienen una pendiente de 15° a 30° .



Fotografía 5: Se aprecia una pendiente inclinada de 15° a 30° .

Pendiente Moderada-Alta: Encontramos también en la zona de estudio lugares con pendiente moderada con 30° a 45° .



Fotografía 6: Se observa pendiente moderada con 30° a 45° .

Pendiente Alta: Son zonas de montaña que tienen pendiente alta de entre 45° a 60°.



Fotografía 7: Pendiente alta con 45° a 60°.

3.4. CLIMA

El clima en la región presenta dos estaciones características durante el año; una de diciembre a marzo que es lluviosa y otra de abril a noviembre que es seca, dichas estaciones varían en algunos transcurso de tiempo. Con una temperatura Máxima Promedio registrada de 13°C, y una temperatura mínima promedio de 0°C, teniendo una temperatura promedio 8° C.

Los datos del clima, fueron tomados de boletines meteorológicos de SENAMHI.

La Precipitación registrada en el área de estudio tenemos la precipitación Máxima Promedio 618.8 mm, y la precipitación promedio mensual: 51.6 mm, Al año.

Se presenta un Periodo Lluvioso en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril con la presenta de abundante neblina y con meses Más Lluvioso: febrero y marzo. (SENAMHI 2019).

Tabla 4: Temperatura y precipitación en el área de estudio por meses.

Mes	Temperatura Máxima °C	Temperatura Mínima °C	Precipitación (Lluvia) MI.
Enero	21.5	9.3	79
Febrero	21.2	9.7	106
Marzo	21.2	9.6	119
Abril	21.5	9	73
Mayo	21.9	7	28
Junio	21.9	5.6	10
Julio	21.7	4.9	6
Agosto	22.1	5.6	8
Setiembre	22.2	7.1	29
Octubre	22	8.2	66
Noviembre	22.1	8	67
Diciembre	21.9	8.9	78

Fuente: SENAMHI 2019

3.5. VEGETACIÓN

En la zona 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 8: Vegetación típica de la zona de investigación.

3.6. HIDROLOGÍA

Los principales ríos y quebradas que atraviesan la zona de estudio son los siguientes. (Ver anexo plano 02)

Quebrada Shaullo Chico: Tiene sus nacientes en el cerro Condorpuñuna, y va con una dirección de NE – SW.



Fotografía 9. Quebrada Shaullo Chico se aprecia la dirección del flujo.

3.7. GEOLOGÍA LOCAL

En la zona de investigación se ha considerado como geología local a las Formaciones Santa, Carhuaz, Farrat y depósitos cuaternarios que se encuentran en el área de investigación. (ver anexo plano N° 03).

3.7.1. FORMACIÓN SANTA.

En el área de estudio consiste en una intercalación de lutitas grises con limolitas rojizas y areniscas, con un grosor que oscila entre los 50 y 100m. Infrayace a la Formación Carhuaz, aparentemente con discordancia paralela.

La Formación Santa esta intemperizado generalmente con un tono gris marrón. Localmente contiene nódulos calcáreos y como sus afloramientos

topográficamente conforman depresiones, están cubiertos mayormente por suelo, razón por la que sólo son observables en los cortes de quebradas y carreteras.

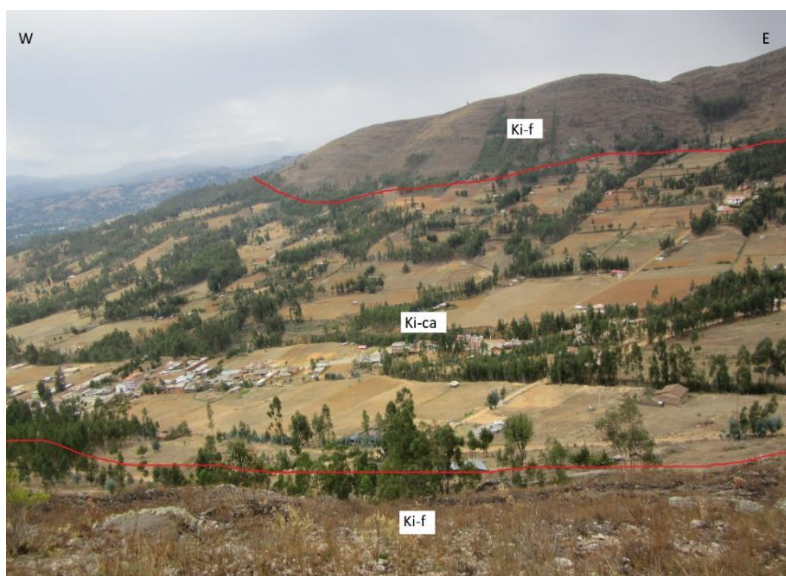


Fotografía 10: Vista panorámica de la Formación Santa.

3.7.2. FORMACIÓN CARHUÁZ

Consta de una alternancia de areniscas con lutitas grises, las primeras con matices rojizos y blanquecinas (características principales para diferenciarla en el campo). Hacia la parte superior contiene estratos de areniscas cuarzosas blancas que se intercalan con lutitas.

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



Fotografía 11: Vista panorámica de la Formación Carhuaz en la zona de estudio.

3.7.3. FORMACIÓN FARRAT

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

Esta formación consiste de areniscas cuarzosas blancas de grano medio a grueso, en la parte central con intercalaciones de limolitas, tiene un grosor promedio de 500 m. en algunos lugares se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje.



Fotografía 12: Vista panorámica de la Formación Farrat en la zona de estudio.

3.8. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Estructuralmente la zona de estudio evidencia movimientos epirogénicos y orogénicos de gran intensidad causando plegamientos, fallamientos, diaclazamientos de las unidades geológicas, la zona de estudio está controlada estructuralmente por el anticlinal de Baños del Inca.

A continuación, se detallan las principales estructuras geológicas presentes en la zona de estudio.

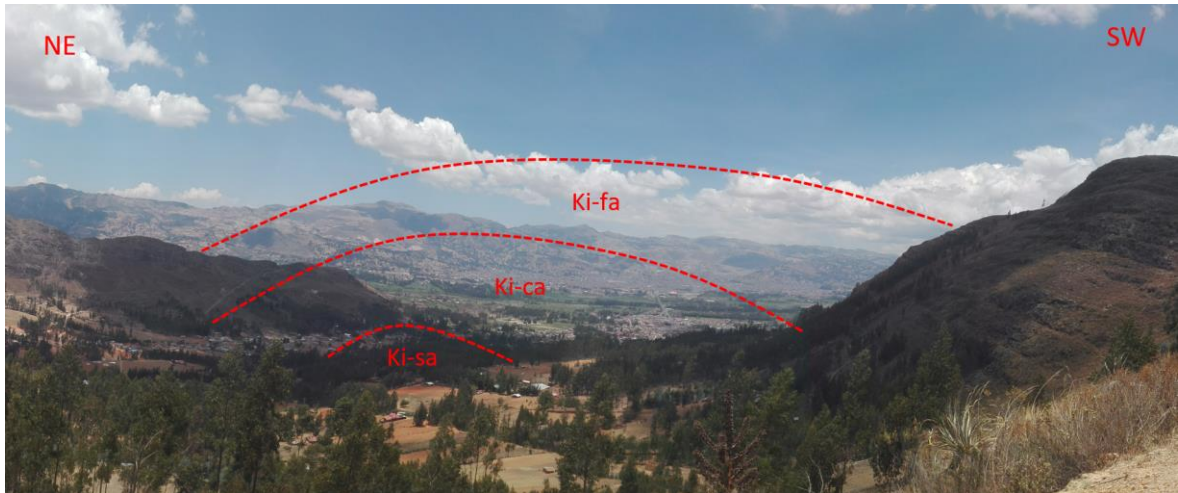
3.8.1. PLEGAMIENTOS

La zona de estudio está controlada por un plegamiento que deforman a las Formaciones del Cretáceo Inferior, el mismo que se presentan como anticlinal de Baños del Inca deformando los estratos de las Formaciones Santa, Carhuaz y Farrat, los mismos que presentan un rumbo andino (NW – SE). A continuación, detallamos los más importantes:

- **ANTICLINAL DE BAÑOS DEL INCA**

Ocupa la mayor parte del área de la zona de estudio, afecta estructuralmente a las Formaciones Santa, Carhuaz, y Farrat.

La charnela del anticlinal está totalmente erosionada, los flancos están formados por estratos gruesos de areniscas cuarzosas blancas de grano fino a medio que pertenecen a la Formación Farrat, el eje está formado por la Formación Carhuaz. El rumbo del eje del anticlinal es N286°, el buzamiento del flanco norte del anticlinal tiene ángulos entre 60 – 70° con una dirección de buzamiento NE y el flanco sur tiene buzamientos con ángulos más moderados que varían de 30 a 45° con dirección de buzamiento SW.



Fotografía 13. Vista panorámica del anticlinal de baños del inca

3.8.2. FALLAS

- **FALLA BAÑOS DEL INCA**

Es una falla del tipo inversa, presenta una orientación NW – SE, rumbo que varía entre N100 – N110°, buzamiento de 74°NE, con una longitud aproximada de 5.5 km. Esta falla ha sido determinada en análisis de imágenes satelitales y corroborada en campo en donde se logra determinar los escarpes producto de esta falla.



Fotografía 14: Falla Baños del Inca

- **FALLAS MENORES**

Dentro de la zona se ha encontrado otras fallas normales e inversas de menor envergadura se habrían formado como respuesta a los movimientos epirogenéticos que dieron lugar a la inmersión del anticlinal Baños del Inca.

3.9. PROCEDIMIENTO.

En esta investigación se dividió el trabajo en cuatro partes comenzando con la recopilación de información bibliográfica de diferentes fuentes investigaciones científicas como de trabajos anterior realizados sobre temas similares al que se ha realizado, la segunda parte consta de la obtención de data de campo mediante salidas organizadas según el cronograma establecido, donde se recopila información en diferentes formatos como columnas estratigráficas, tipos de estratificación y las diferentes estructuras encontradas en las unidades litoestratigráficas, registrando sus características y ubicación geográfica; la tercera parte consiste en el procesamiento de la información teniendo sus etapas por cada salida a campo, esta información se procesó mediante la utilización de softwares como Excel 2018, ArcGIS 10.5 y AutoCAD 2018 principalmente obteniendo los resultados necesarios para poder pasar a la cuarta etapa que consistió en el análisis e interpretación de la información.

3.9.1. METODOLOGÍA.

En esta sección se detalla la metodología científica utilizada para el desarrollo de la investigación, teniendo en cuenta la unidad de análisis, población de estudio, muestra y las técnicas e instrumentos para la recolección de datos.

3.9.2. TIPO, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.

- Tipo de Investigación.

Teniendo en cuenta el propósito de la investigación este estudio corresponde a una investigación analítica, descriptiva y correlacional en el tiempo.

- Diseño de Investigación.

Se estudiará y analizará recolectando datos a largo de la zona de estudio.

- Método de investigación.

Se empleará el método empírico, observación para explicar la formación de las unidades estratigráficas y la medición, así como el método estadístico y método teórico para llegar de lo inductivo a lo deductivo.

3.10. ESTRATIGRAFÍA

3.10.1. ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN SANTA

Para realizar la descripción estratigráfica de la formación Santa se inició a unos 400m en dirección NE del Centro Poblado de Shaullo Chico en la quebrada Shaullo. La medición se hizo de forma directa sobre los estratos de la Formación Santa para lo cual se utilizó un flexómetro de 5m, wincha de 30m y picota para obtener muestras de mano con superficies frescas que permitan observar las características de la roca como su granulometría y las diferentes estructuras sedimentarias.

Tabla 5: Coordenadas del punto de inicio en el Centro Poblado Shaullo Chico.

LUGAR	LONGITUD	LATITUD	COTA
Shaullo Chico	782814	9206372	2786msnm

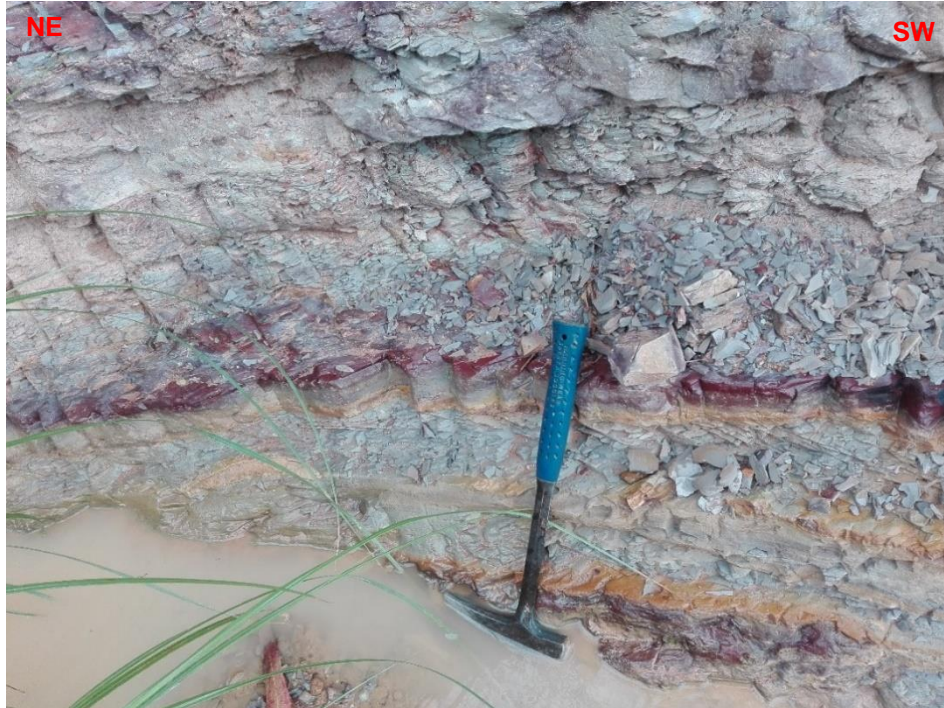


Fotografía 15: Punto de inicio Shaullo Chico, las mediciones respectivas se hizo desde el Piso hasta el techo de la Fm. Santa.

La columna estratigráfica que se determinó en este sector de la Formación Santa está formada litológicamente en la base por una intercalación de limolitas de tonalidades rojizas y blanquecinas de 20 a 30cm. con lutitas grises en un tramo de 10m, luego se observa un estrato de limolita con un espesor de 5m, seguido de 3 m. de arenisca de grano fino de color amarillenta, posteriormente se observa un tramo de 25 m. de una intercalación de areniscas blanquecinas de grano fino con limolitas blanquecinas y estratos de lutitas grises, blanquecinas, verdosas, rojizas y amarillentas; más hacia el techo se observa estratos delgados de lutita grisácea en un tramo de 5m.



Fotografía 16: Coordenadas: 9206372N, 782814E, Cota: 2786 msnm. Limolita de 20 cm de espesor con presencia de minerales ferruginos como la goethita.



Fotografía 17: Intercalación de lutitas de diversas tonalidades con limolitas blanquecinas.

Finalmente, hacia el contacto con la Formación Carhuaz se determinó la presencia de limolita rojiza con presencia de óxidos de hierro en un tramo de 10m de espesor en estratos de 20 a 40 cm.



Fotografía 18: Limolita rojizas en el techo de la formación Santa.

A. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS PRESENTES EN LA FORMACIÓN SANTA

- **Estratificación Lenticular**

Se debe a condiciones variables en forma cíclica tanto del régimen hidráulico como del aporte de los sedimentos arcillosos para formar las limolitas y lutitas.



Fotografía 19: Coordenadas: 9206372N, 782814E, Cota: 2786 msnm, estratificación lenticular en limolitas de la Formación Santa.

- **Nódulos**

Se presentan en esta formación como cuerpos irregulares o cuerpos concrecionarios. Se forman por la acumulación de materia alrededor de un núcleo o sobre una superficie, como se puede apreciar se presentan en diversas formas desde subesféricas a elipsoidal.



Fotografía 20: Coordenadas: 9206372N, 782814E, Cota: 2786 msnm. Nódulos en lutitas de la Formación Santa.

3.10.2. ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN CARHUAZ

Para realizar la descripción estratigráfica de la Formación Santa se inició a unos 500m en dirección este del Centro Poblado de Shaullo Chico.

La medición se hizo de forma directa sobre los estratos de la Formación Carhuaz para lo cual se utilizó flexómetros de 5m, wincha de 30m y picota para obtener muestras de mano con superficies frescas que permitan observar las características de la roca como su granulometría y las diferentes estructuras sedimentarias.

La medición de los estratos de la Formación Carhuaz se realizó desde el piso hacia el techo que es contacto con la Formación Farrat, para el presente trabajo de investigación se realizaron dos columnas estratigráficas, una la base y la otra en el techo de la Formación.

Tabla 5: Coordenadas del punto de inicio en el Centro Poblado Shaullo Chico.

LUGAR	LONGITUD	LATITUD	COTA
Shaullo Chico	782929	9206328	2816msnm

La litología de la Formación Carhuaz en este sector del área de investigación está formada en la base por areniscas cuarzosas blanquecinas estratos variables de 10 a 20cm, en un tramo de 5m.



Fotografía 21: Coordenadas: 9206328N, 782929E, Cota: 2816msnm. Arenisca cuarzosa blanquecina en la base de la Formación Carhuaz.

Luego se da una intercalación de lutitas grises en estratos de 50cm con limolitas blanquecinas en estratos de 50cm, en un tramo de 50m.



Fotografía 22: Coordenadas: 9206323N, 783504E, Cota: 2843 msnm. Intercalación de limolitas rojizas y lutitas grises.

Posteriormente se da una intercalación de areniscas rojizas ferruginosas de grano fino en estratos de 10 a 50cm con lutitas blanquecinas en un tramo de 50m.



Fotografía 23: Coordenadas: 9206260N, 782998E, Cota: 2843 msnm. Intercalación de areniscas ferruginosas y lutitas grises.

Se observa seguidamente una secuencia con espesor de 8m de arenisca ferruginosa de grano fino intercaladas de limolita, en estratos de 50 a 60cm. Posteriormente se da una intercalación de limolitas blanquecinas con lutitas blanquecinas a verdosas en un tramo de 5m.



Fotografía 24: Coordenadas: 9206275N, 783075E, Cota: 2850 msnm. Intercalación de areniscas y lutitas de diversas tonalidades.

Más hacia el techo se observa una secuencia de espesor 50m. de areniscas blanquecinas de grano fino en estratos delgados que oscilan entre 10 a 30cm; seguida de estratos delgados de limolitas rojizas en un tramo de 10m.

Hacia el contacto con la Formación Farrat está formada por estratos de lutitas blanquecinas en un tramo de 6m.



Fotografía 25: Coordenadas: 9207082N, 783447E, Cota: 2972msnm. Lutitas grises hacia el techo de la Formación Carhuaz

A. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS PRESENTE EN LA FORMACIÓN CARHUAZ

- **Estratificación Sesgada**

La estratificación Sesgada está formada por una serie de planos que guardan alguna relación con la dirección del flujo de la corriente por cambios en las direcciones del agua, con el ángulo de apoyo del sedimento y con la proporción de provisión del mismo.



Fotografía 26: Coordenadas: 9206328N, 782929E, Cota: 2816msnm. Estratificación sesgada en la Formación Carhuaz.

- **Laminación paralela**

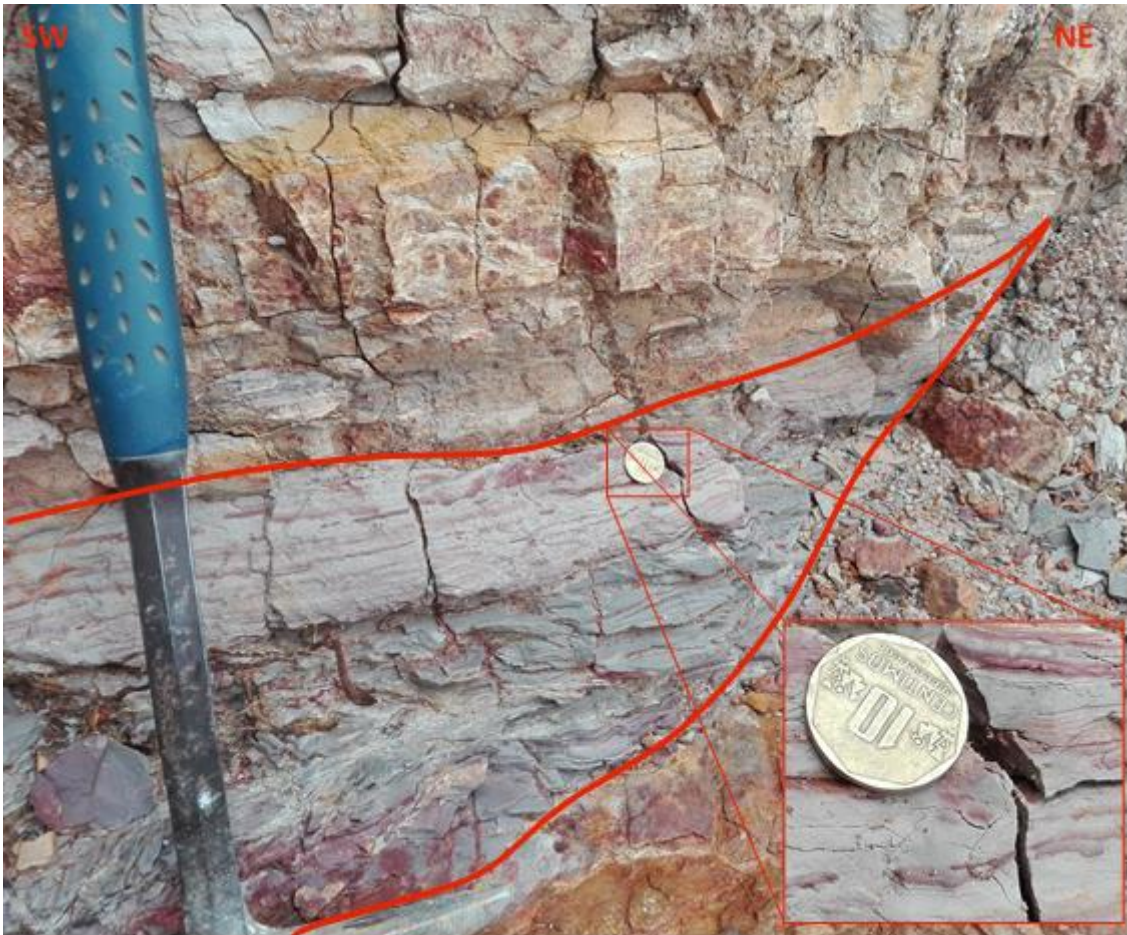
Se puede apreciar laminación paralela en lutitas grises, con tamaño de granos muy finos.



Fotografía 27: Laminación paralela en lutitas cercano al contacto con la Formación Farrat.

- **Estratificación lenticular**

Se forma por la existencia de arcilla de un aporte anterior. Ello puede cubrirse y fosilizarse por una posterior capa de arcilla. Si el proceso se repite varias veces, en un corte de estos materiales se obtendrá una típica estratificación lenticular, además indica que la depositación fue tranquila.



Fotografía 28: Estratificación lenticular en estratos de lutitas de la Formación Carhuaz

3.10.3. ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN FARRAT

Para realizar la descripción estratigráfica de la Formación Farrat se inició a unos 500m en dirección NE del Centro Poblado de Shaullo Chico.

La medición se hizo de forma directa sobre los estratos también se utilizó un flexómetro de 5m, wincha de 30m y picota para obtener muestras de mano con superficies frescas que permitan observar las características de la roca como su granulometría y las diferentes estructuras sedimentarias.

Tabla 6: Coordenadas del punto de inicio en el Centro Poblado Huayrapongo Grande.

LUGAR	LONGITUD	LATITUD	COTA
Shaullo Chico	782851	9205962	2772msnm



Fotografía 29: Vista panorámica de la Formación Farrat en la zona de investigación.

Para realizar la columna estratigráfica se inició la medición desde la base hasta el techo, la cual inicia con estratos variables en espesor de areniscas cuarzosas de grano grueso de color blanquecino, manteniéndose esta estratificación en un tramo de 60m aproximadamente. Luego se observaron areniscas blanquecinas de grano fino a medio intercaladas con areniscas de grano fino de coloración amarillenta, haciéndose constante esta litología en un tramo de 90m.



Fotografía 30: Estratificación de areniscas de la Formación Farrat de color blanquecino de grano grueso.

Posteriormente se determinó presencia de areniscas de grano fino a medio de coloración blanquecina, con areniscas rojizas con presencias de óxidos, dicha litología se hace constante en un tramo de 70m aproximadamente.



Fotografía 31: Areniscas cuarzosas de color blanquecino de grano fino a medio con presencia de óxidos.

Seguidamente se determinó la presencia de un estrato de 2.80m de limolita gris rojiza, se puede apreciar minerales ferruginosos; suprayacente se determinó un estrato de limolitas con un espesor aproximada de 5.40m de color gris verdosa con gran cantidad de materia orgánica evidenciándose la presencia de estructuras como las improntas que son detalladas más adelante.

Luego continua un estrato de arenisca blanquecina de grano fino en un tramo de 90m, continuando otro estrato de 0.5m de limolita de color blanquecino con presencia de óxidos de hierro.



Fotografía 32: Estratos de arenisca blanquecina de grano fino de espesores variables.

Continua una secuencia de arenisca blanquecina de grano medio a grueso en estratos de 30 a 35cm, en un tramo de 50m aproximadamente.

Hacia el techo de la Formación Farrat se evidencia la presencia de arenisca cuarzosa con clastos subredondeados de tamaño hasta 2mm, en un tramo de 15m.

En el contacto con la Formación Inca está formada por areniscas de grano grueso con clastos entre 1 – 2mm, por lo que es una arenisca cuarzosa de grano grueso con patinas de óxidos de hierro que le dan una coloración externa rojiza, en un tramo de 50m. también se hace visible una estratificación inversa en este sector en un tramo de 5m.



Fotografía 33: Arenisca cuarzosa de grano grueso con granos entre 1 – 2mm.

B. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS DE LA FORMACIÓN FARRAT

- **Laminación Sesgada**

Estructuras sedimentarias que está formado por planos con diferentes direcciones, las cuales indica la dirección de corriente.



Fotografía 34: Coordenadas: 9205594N, 783702E, Cota: 2980msnm. Laminación sesgada en areniscas cuarzosa de la Formación Farrat.

- **Laminación paralela**

Que se producen por las fluctuaciones de las corrientes o por los cambios climáticos que se presentaban en la zona, tienen un sepultamiento rápido que los protege.



Fotografía 35: Coordenadas: 9205718N, 782677E, Cota: 2980msnm. Laminación paralela en areniscas cuarzosas de la Formación Farrat.

- **Estructura de carga**

Se generan por la presión que causa la arenisca sobre la limolita y por la diferencia que tienen en granulometría.



Fotografía 36: Coordenadas: 9205510N, 783718E, Cota: 2992msnm. Estructuras de carga en areniscas y limolitas de la Formación Farrat.

- **Laminación paralela oblicua**



Fotografía 37: Laminación paralela oblicua en areniscas cuarzosa de la Formación Farrat.

- **Rizaduras por oleaje**

Son ondulaciones simétricas o ligeramente asimétricas originadas por la acción del oleaje sobre materiales como arenas.



Fotografía 38: Coordenadas: 9207890N, 782167E, Cota: 2956msnm. Rizaduras de oleaje en areniscas de grano fino.

- **Improntas de plantas**

Son restos de plantas que quedaron preservadas en las limolitas pertenecientes a la Formación Farrat.



Fotografía 39: Coordenadas: 9207558N, 782666 E, Cota: 3025msnm. Limolita gris rojiza de la Formación Farrat con presencia de improntas.

3.11. PETROLOGÍA

3.11.1. PETROLOGÍA FORMACIÓN SANTA

La Formación Santa lo encontramos en la zona de estudio la parte superior de dicha formación con un espesor de 50m, ya que mayormente está cubierta por depósitos cuaternarios, en cuanto a la litología está formada por estratos variables de areniscas, lutitas en diversas tonalidades y limolitas.

A continuación, se hace una descripción petrográfica de las principales rocas determinadas para la Formación Santa.

- LIMOLITA

Esta roca se presenta en la zona de investigación de color rojiza, que indica que se formaron en un ambiente oxidante, fue determinada en campo empleando la clasificación de Pettijón, donde se extrajo una muestra de mano y se determinó que tiene un porcentaje superior al 50% de matriz, la cual está dentro de las lutitas.

TEXTURA: Clástica. Granos muy finos.

MINERALOGÍA: Principalmente está compuesta por óxidos de hierro.

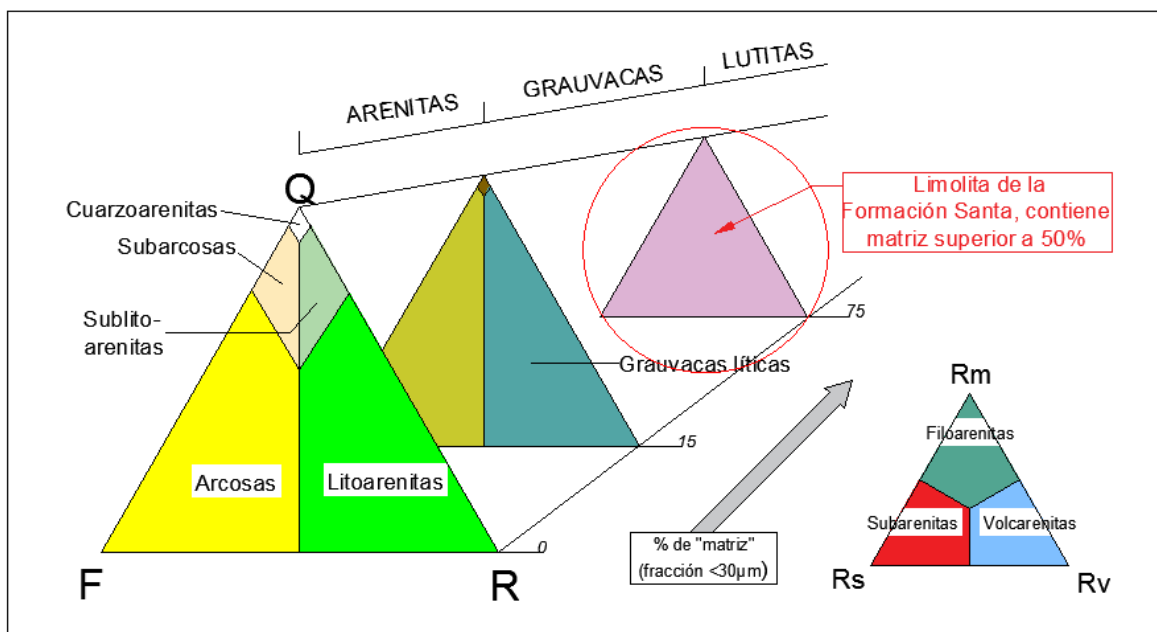


Figura 20: Clasificación roca Limolita por el contenido de matriz según Pettijón.



Fotografía 40: Coordenadas: 9206377N, 782892E,
Cota: 2792msnm. Limolita amarillenta,
perteneciente a la Formación Santa.



Fotografía 41. Coordenadas: 9206371N, 782813E,
Cota: 2786msnm. Limolita gris con gran contenido de
restos fósiles.

- LUTITA

Esta roca fue determinada en campo observando la característica distinguible de las lutitas que es la fisibilidad, roca de fácil ruptura y empleando la clasificación de Pettijón, donde se extrajo una muestra de mano y se determinó que tiene un porcentaje superior al 70% de matriz, con lo cual se determinó que es una lutita. Se observó lutitas de diversas tonalidades como rojiza y amarillentas de un ambiente oxidante, grises de un ambiente reductor, blanquecinas y verdes de un ambiente ligeramente reductor.

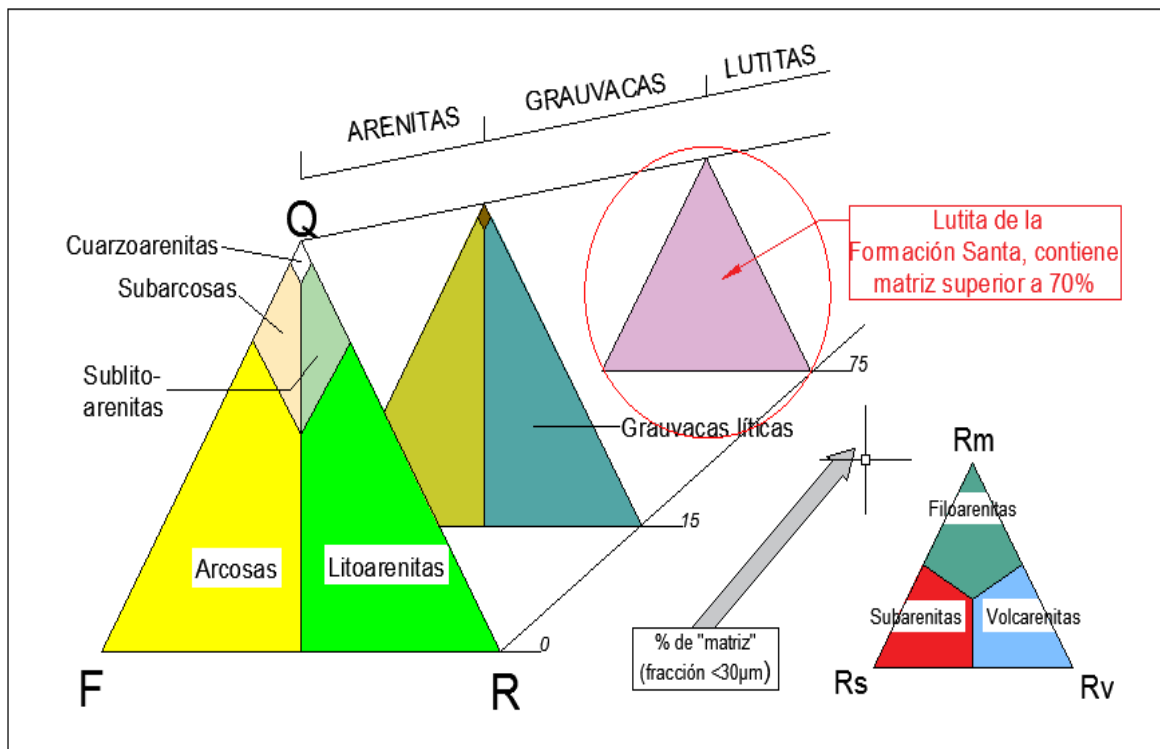


Figura 21. Clasificación de la roca Lutita por el contenido de matriz según Pettijón.



Fotografía 42: Coordenadas: 9206371N, 782813E, Cota: 2786msnm. Lutita rojiza, las que son de un ambiente oxidante.



Fotografía 43: Lutita gris de la formación Santa

- ARENISCA

Esta roca fue determinada en campo con la ayuda de una lupa 20x, donde se pudo observar presencia de granos finos.



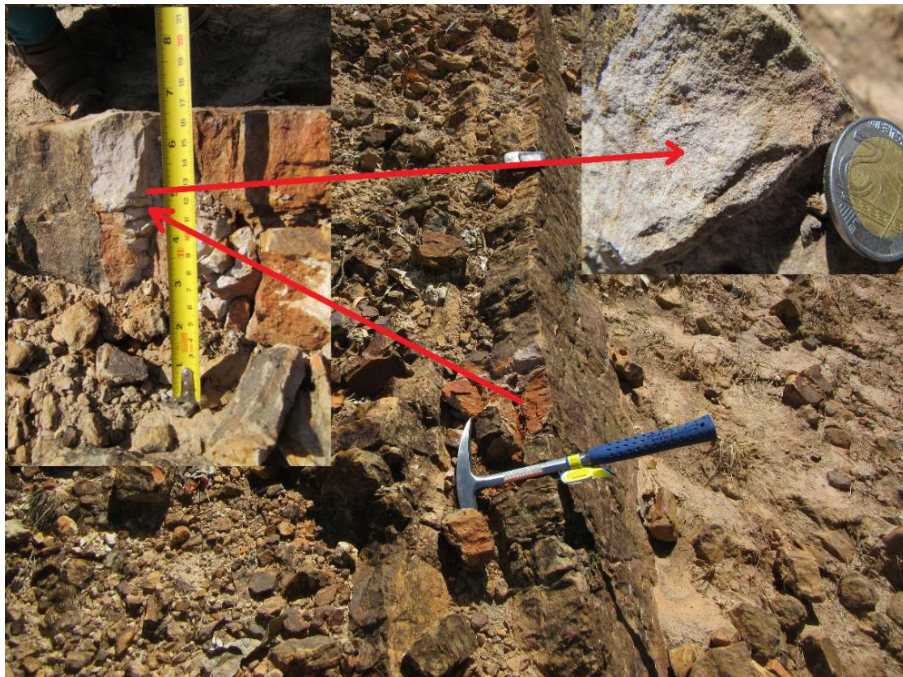
Fotografía 44: Coordenadas: 9206377N, 782892E, Cota: 2792msnm. Arenisca de grano fino amarillenta, perteneciente a la Formación Santa.

3.11.2. PETROLOGÍA FORMACIÓN CARHUAZ

Litológicamente la Formación Carhuaz está formada por areniscas cuarzosas en la base, seguido de una intercalación de areniscas rojizas con lutitas grises y limolitas blanquecinas a rojizas, esta formación está formado en su mayor parte por areniscas rojizas y blanquecinas, y menor porcentaje las limolitas y lutitas.



Fotografía 45: Coordenadas: 9206370N, 782771E, Cota: 2800msnm, areniscas de grano fino de color blanquecino a rojizo.



Fotografía 46: Coordenadas: 9206152N, 783082E, Cota: 2825msnm, areniscas blanquecinas.

A continuación, se hace una descripción petrográfica de las principales rocas determinadas para la Formación Carhuaz.

- ARENISCA CUARZOSA

Esta roca de color rojiza fue determinada en campo empleando la clasificación de Pettijhón, donde se extrajo una muestra de mano y se determinó que tiene un porcentaje menor al 15% de matriz la cual se ubica en el triángulo de contorno rojo de la siguiente figura, la cual está dentro de las Subarcosas. Se tuvo en cuenta también para su determinación que está formada por granos de cuarzo y la presencia de óxidos de hierro que le dan diferentes matices.

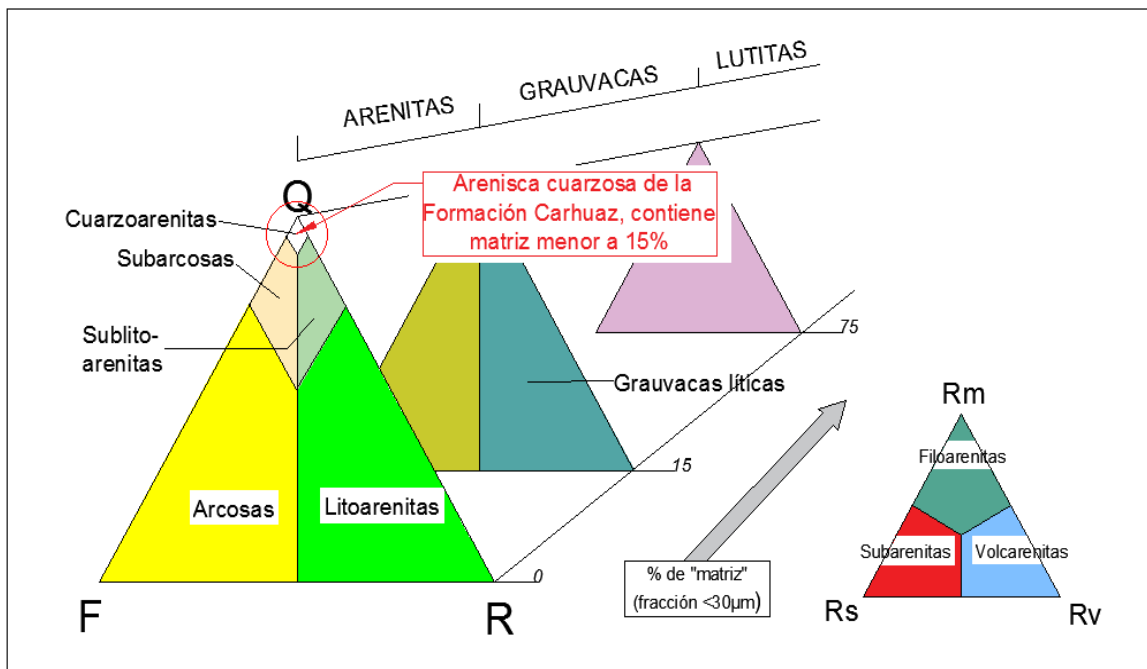


Figura 22: Clasificación de la roca arenisca cuarzosa según Pettijhón.



Fotografía 47: Coordenadas: 9206262N, 783015E,
Cota: 2825msnm. Arenisca cuarzoza
perteneciente a la Formación Carhuaz.



Fotografía 48: Coordenadas: 9206316N, 783141E, Cota:
2837msnm. Arenisca de la Formación Carhuaz.



Fotografía 49: Coordenadas: 9206332N, 783141E, Cota: 2845msnm. Arenisca cuarzosa blanquecina de la Formación Carhuaz.

- LUTITA

Esta roca fue determinada empleando la clasificación de Pettijhón, donde se extrajo una muestra de mano y se determinó que tiene un porcentaje superior al 65% de matriz, además se consideró las características propias de la roca.

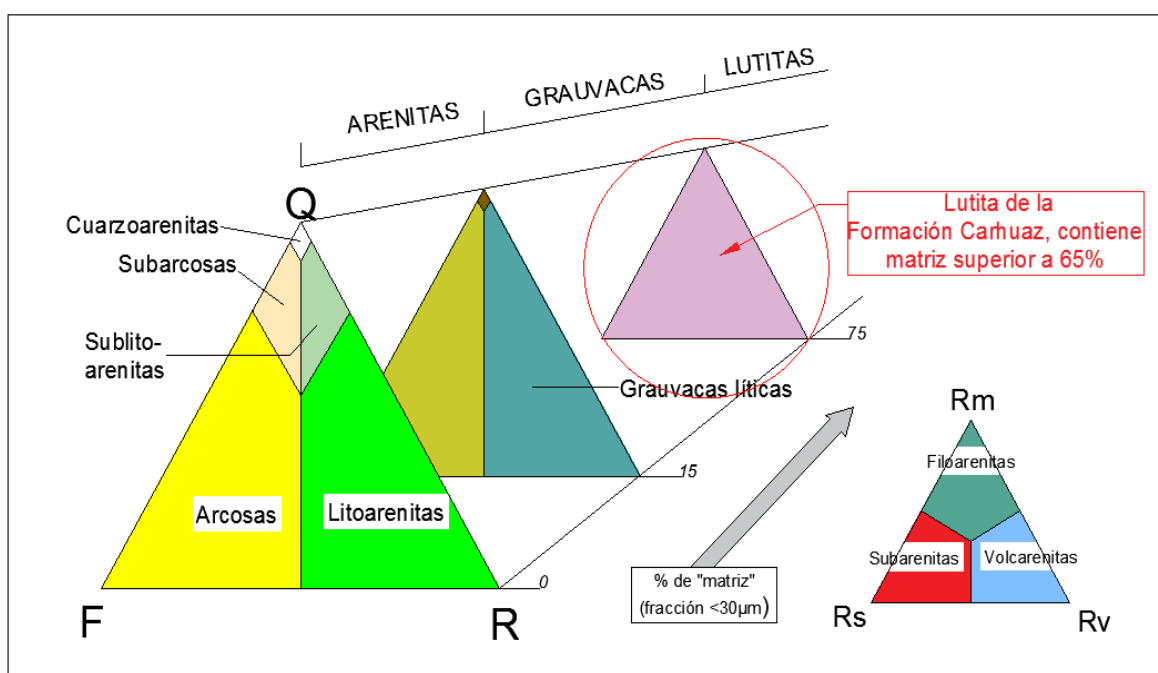


Figura 23. Clasificación de la roca Lutita según Pettijhón.



Fotografía 50: Coordenadas: 9207082N, 783447E, Cota: 2972msnm. Lutitas grises en el techo de la Formación Carhuaz.

- LIMOLITA

Esta roca se presenta en la zona de investigación de color rojiza, que indica que se formaron en un ambiente oxidante, fue determinada en campo empleando la clasificación de Pettijón, donde se extrajo una muestra de mano y se determinó que tiene un porcentaje superior al 70% de matriz, la cual está dentro de las lutitas.

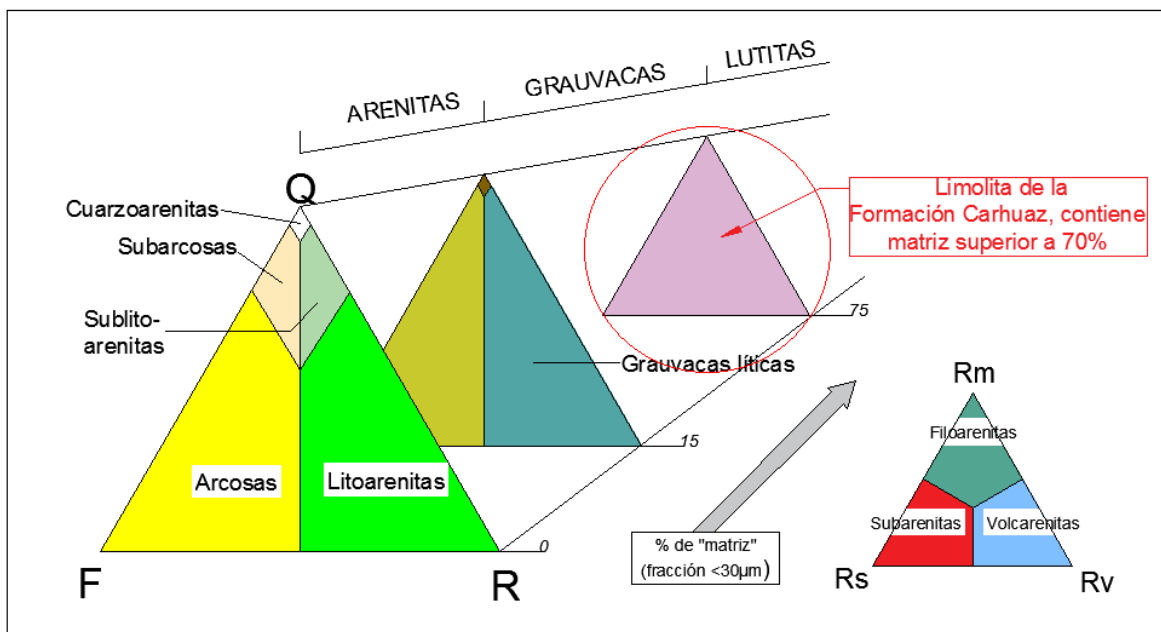
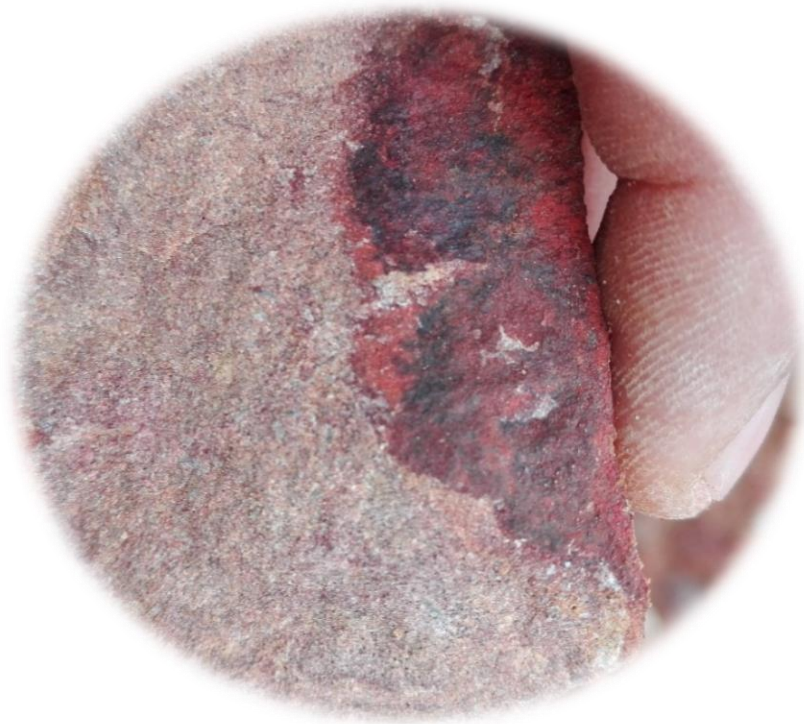


Figura 24: Clasificación de la Limolita, que contiene matriz superior al 70 %.



Fotografía 51: Coordenadas: 9206327N, 783178E, Cota: 2842msnm. Limolita rojiza que evidencia un ambiente de formación oxidante.

3.11.3. PETROLOGÍA FORMACIÓN FARRAT

La Formación Farrat en la zona de investigación litológicamente está compuesta predominantemente por areniscas cuarzosas de grano fino y estratos de limolitas gris verdosas y gris rojizas en la base de dicha Formación.

En la parte media está formada por areniscas blanquecinas de grano fino a medio; cercano al contacto con la formación Inca se determinó la presencia arenisca de grano de 1 a 2mm, que son areniscas cuarzosas de grano muy grueso.

Diámetro límite (en milímetros de la clase)	Denominación de la clase	Denominación de la roca según su granulometría
256	bloque	rudita conglomerado brecha
64	bloque pequeño	
4	canto	
2	canto pequeño	
1	arena muy gruesa	arenita arenisca arena
0,5 (1/2)	arena gruesa	
0,25 (1/4)	arena	
0,125 (1/8)	arena fina	
0,0625 (1/16)	arena muy fina	

Figura 25: Clasificación de Arenisca cuarzosa de grano muy grueso según la tabla de J. UDDEN y C. WENTWRTH

A continuación, se hace una descripción petrográfica de las principales rocas determinadas para la Formación Farrat.

- **ARENISCA CUARZOSA**

Esta roca de color rojiza fue determinada en campo empleando la clasificación de Pettijón, donde se determinó que tiene un porcentaje menor al 15% de matriz la cual se ubica en el triángulo de contorno rojo de la siguiente figura, la cual está dentro de las Cuarzoarenitas. Se tuvo en cuenta también para su determinación que está formada por un alto porcentaje granos de cuarzo. En la zona de investigación el color resaltante de las areniscas cuarzosas es blanquecina y en menos proporción rojizas, con cemento silíceo.

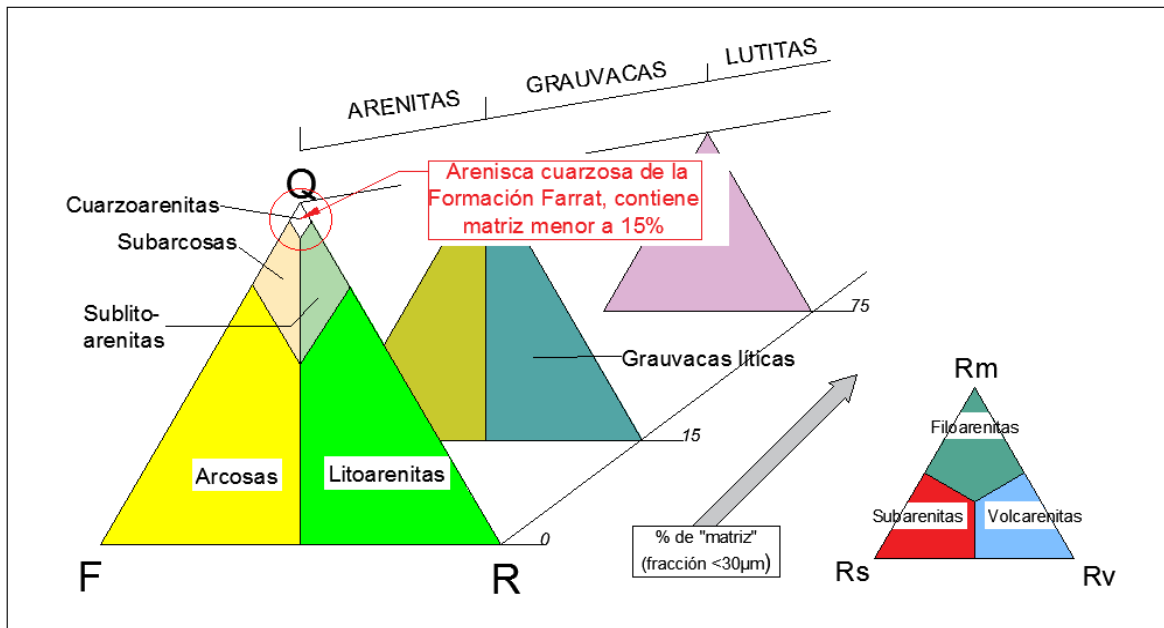


Figura 26: Clasificación de la roca Arenisca cuarzosa según Pettijón.



Fotografía 52: Coordenadas: 9207996N, 782167E, Cota: 2940msnm. Arenisca cuarzosa de grano medio a grueso.

- LIMOLITA

La limolita en la Formación Farrat se encuentra cercana a la base, esta roca fue determinada según la clasificación de Pettijhon, donde se extrajo una muestra de mano y se determinó que tiene un porcentaje superior al 60% de matriz, la cual está dentro de las lutitas.

Se observó limolitas de dos colores, la primera es de color gris verdosa y la segunda es de color gris rojiza.

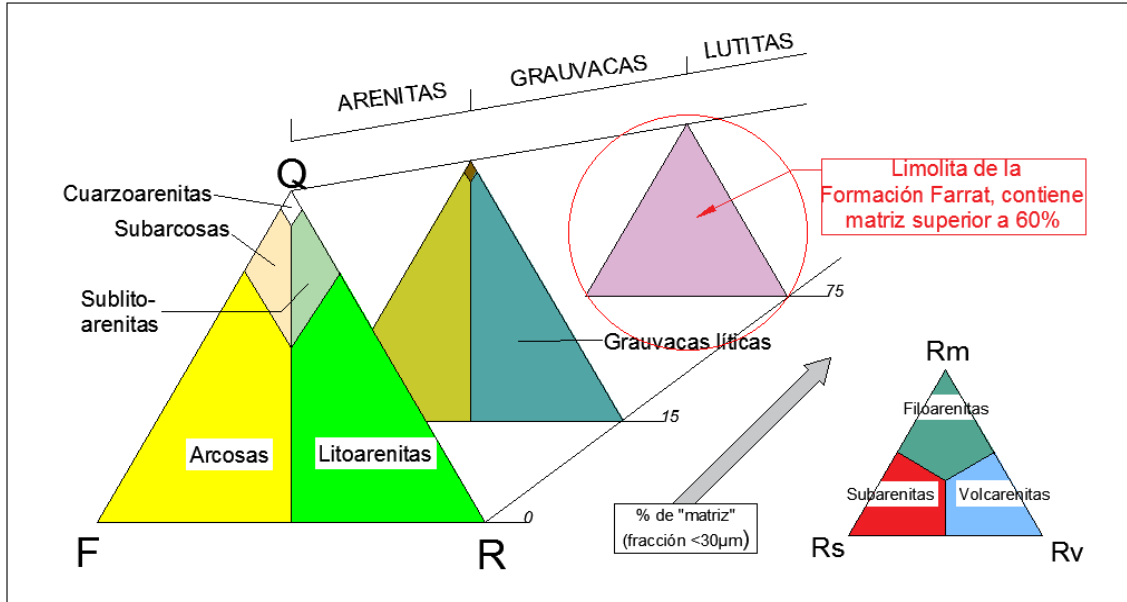


Figura 27. Clasificación de la roca Limolita según Pettijón.



Fotografía 53: Coordenadas: 9207558N, 782666E, Cota: 3025msnm. Limolita gris verdosa con restos de plantas o improntas.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ELABORACIÓN DE COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS.

4.1.1. FORMACIÓN SANTA

En el área de investigación esta Formación consiste en una intercalación de estratos delgados de limonitas rojizas, intercaladas con lutitas grises formando estratos entre los 15cm. y 30cm. de espesor. Se logró determinar esta formación en su contacto superior infrayaciendo a la Formación Carhuaz presentando un afloramiento de 60m a 70m de espesor, en el curso de la quebrada Shaullo; el contacto inferior de la formación no se logra determinar en la zona debido a que se encuentra cubierto por depósitos cuaternarios producto de la erosión.

Las estructuras sedimentarias encontradas en la Formación Santa son los nódulos presentes en estratos delgados de lutitas grises y una estratificación lenticular. Las geometrías de sus estratos predominantemente son de forma irregular; algunos estratos presentan una estructura en forma de cuña y algunos de manera tabular; características que nos permiten determinar a la Formación Santa como se muestra en la columna levantada de dicha formación (ver anexo 1, columna litoestratigráfica de la Formación Santa).

4.1.2. FORMACIÓN CARHUÁZ

La Formación Carhuaz en la base consta de una secuencia de areniscas de estratos delgados con espesores variables menores de 50cm. presentando una estratificación sesgada con una coloración amarillenta a rojizas en su superficie manteniéndose constante en unos 20m; luego se encuentra una alternancia de lutitas grises con intercalaciones de areniscas blanquecinas de grano fino con presencia de oxidaciones en su superficie manteniendo una sedimentación rítmica

y constante con espesores de estratos entre los 50cm. y 80cm. (ver anexo 2, columna litoestratigráfica de la base de la Formación Carhuaz).

Las columnas levantadas de esta formación se realizaron en la base y en el techo debido a que en la parte media se encuentra cubierto en su mayoría por depósitos cuaternarios; en el techo está caracterizada por una intercalación de estratos delgados de limolitas intercaladas con areniscas de grano fino y en el contacto con la Formación Farrat se encuentra estratos de areniscas cuarzosas (ver anexo 3, columna litoestratigráfica del techo de la Formación Carhuaz).

La estratificación de la Formación Carhuaz presenta una variada geometría de estratos predominando en la base una estratificación en forma de cuña, sobre esta se encuentra una geometría de forma tabular predominantemente en la mayoría de la Formación, sobre esta encontramos estratos con geometría irregular y algunos con estratificación lenticular.

4.1.3. FORMACIÓN FARRAT

La Formación Farrat en la base consta de areniscas de grano fino intercalada con areniscas de grano medio en estratos delgados entre 50cm. y 1m de espesor manteniéndose constante esta intercalación hasta unos 100m y luego se puede determinar areniscas de grano fino en unos 50m aproximadamente para luego poder encontrar areniscas con superficies oxidadas de coloración rojizas intercaladas con areniscas de grano fino como se muestra en la siguiente columna litoestratigráfica, además se ha logrado identificar estructuras sedimentarias y diferentes geometrías presentes en los estratos (ver anexo 4, columna litoestratigráfica de la base de la Formación Farrat)

A la mitad de la formación Farrat logramos determinar un estrato bien definido de limolitas de tonalidades blancas a verdosas con una espesor de 5.40m al mismo que suprayacen estratos delgados de arenisca de grano fino manteniendo una continuidad vertical por unos 100m aproximadamente para luego intercalarse con unos estratos delgados de limolitas estos están presente al acercarse al techo de la Formación, en el techo encontramos areniscas de grano grueso intercaladas con

areniscas de grano medio, mostrando una sedimentación granodecreciente (ver anexo 5, columna litoestratigráfica de la Formación Farrat).

4.2. DESCOMPACTACIÓN DE COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS

Para la descompactación de las columnas se considera el espesor de la secuencia sedimentaria suprayacente de la Formación Farrat de 2877.23m. extraído de las medidas de la columna estratigráfica de la tesis profesional de Herrera 2012, y para determinar la porosidad se utilizamos los gráficos Hegarty et al 1988 y la ecuación Gergard Einsele 1991.

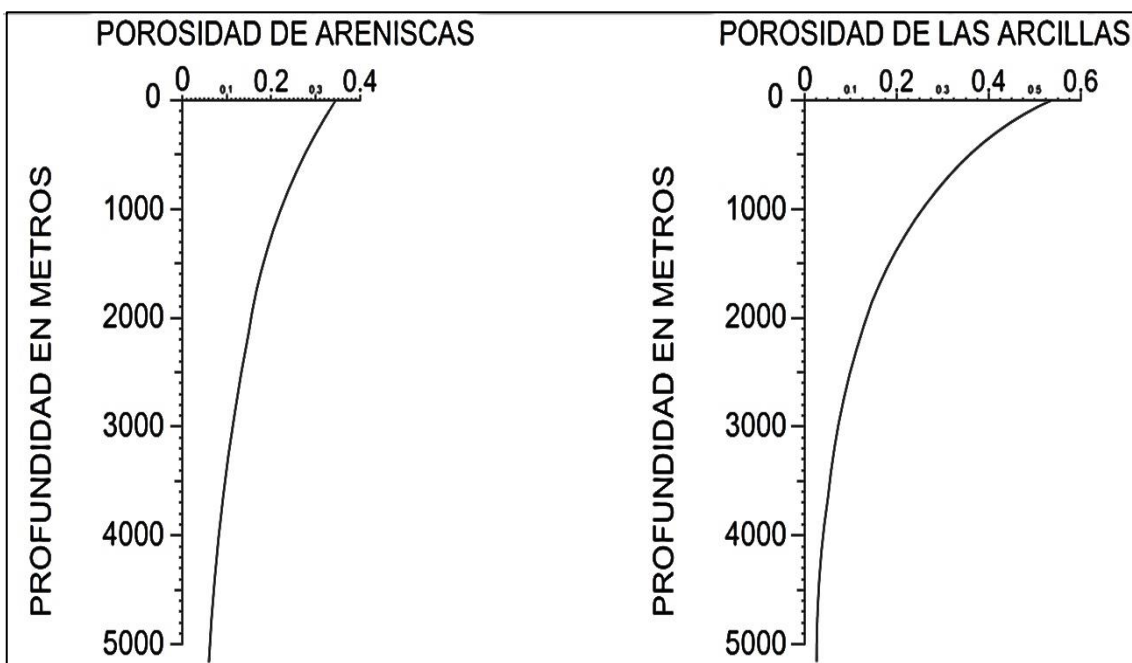


Gráfico 1: Tablas dadas para el cálculo de la porosidad con respecto de la profundidad de cada roca. (Hegarty et al 1988)

4.2.1. DESCOMPACTACIÓN FORMACIÓN SANTA

Para La descompactación de la Formación Santa se consideró su litología que consta de lutitas, limolitas y escasos estratos de areniscas la misma que presenta un espesor de la secuencia sedimentaria suprayacente de 3728.19m.

$$H_{Inicial} = \frac{(1 - n_{Actual}) \times (H_{Actual})}{1 - n_{Inicial}}$$

Donde:

H_{actual} : espesor actual medido den campo

N_{inicial} : porosidad inicial

N_{actual} : porosidad actual

H_{inicial} : espesor que buscamos

- Cálculo de la porosidad inicial.

Para calcular la porosidad inicial de las lutitas y las areniscas utilizamos el gráfico N° 1 tomando una profundidad de 0m dando una porosidad para areniscas es de 0.36, para lutitas y limos es de 0.52 respectivamente.

- Cálculo de la porosidad actual para las areniscas, limolitas y las lutitas.

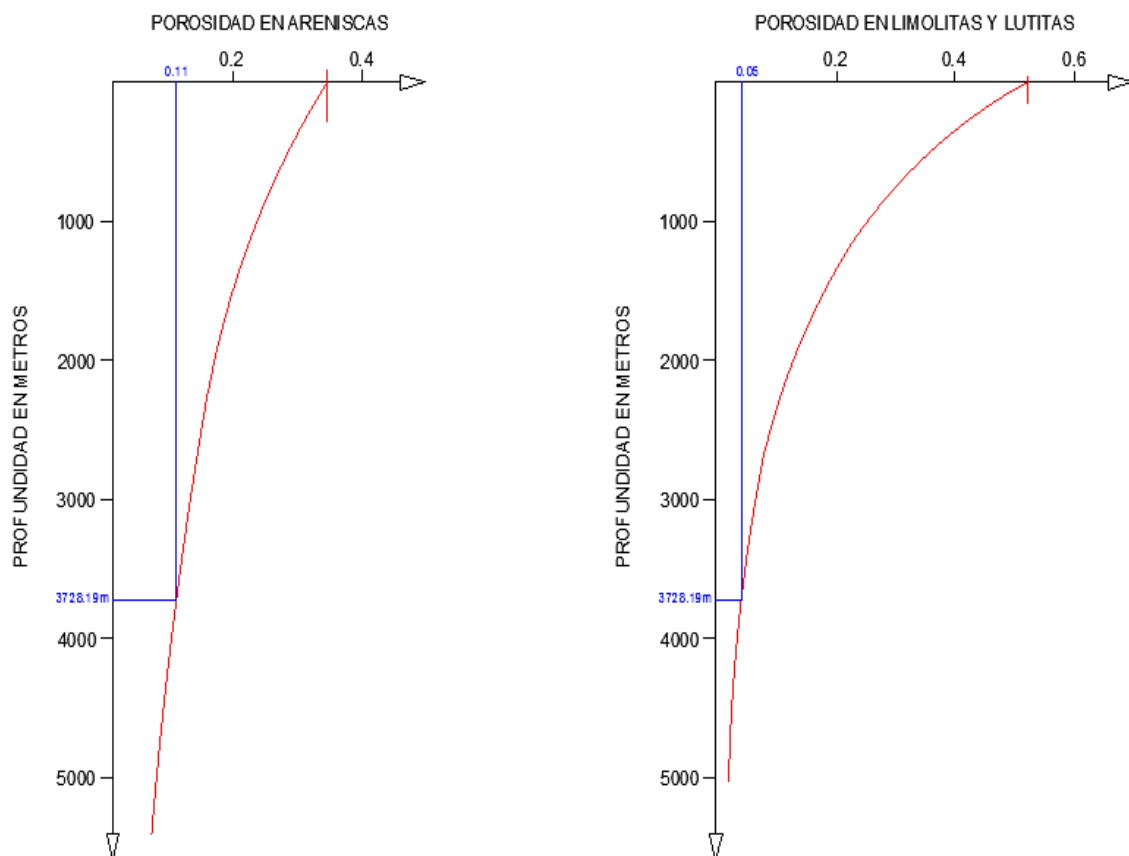


Gráfico 2: Cálculo de la porosidad actual para la litología de la Formación Santa.

- Calculamos el espesor inicial de la Formación.

Para el espesor consideramos un espesor de 50m. de los cuales se levantó la columna estratigráfica de la Formación Santa de los cuales 35m son lutitas, 10m de limolitas y 5m es de areniscas. Con estos datos calculamos el espesor inicial de la Formación.

Para Lutitas:

$$H_{Inicial} = \frac{(1 - n_{Actual})x(H_{Actual})}{1 - n_{Inicial}}$$

$$H_{Inicial} = \frac{(1 - 0.05)x(42m)}{1 - 0.52}$$

$$H_{Inicial} = 83.13m$$

Para Limolitas:

$$H_{Inicial} = \frac{(1 - n_{Actual})x(H_{Actual})}{1 - n_{Inicial}}$$

$$H_{Inicial} = \frac{(1 - 0.05)x(12m)}{1 - 0.52}$$

$$H_{Inicial} = 23.75m$$

Para Areniscas:

$$H_{Inicial} = \frac{(1 - n_{Actual})x(H_{Actual})}{1 - n_{Inicial}}$$

$$H_{Inicial} = \frac{(1 - 0.11)x(6m)}{1 - 0.36}$$

$$H_{Inicial} = 8.34m$$

Tabla 7: Resumen de resultados

CARÁCTERÍSTICAS LITOESTRATIGRÁFICAS DE LA FORMACIÓN SANTA				
UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	POROSIDAD ACTUAL	POROSIDAD INICIAL	ESPESOR ACTUAL	ESPESOR INICIAL
Lutitas	0.05	0.52	42	83.13
Limolitas	0.05	0.52	12	23.75
Arenisca	0.11	0.36	6	8.34
PROMEDIO	0.07	0.47		
ESPESOR			60	115.22

En la tabla 7, se muestran los resultados obtenidos en la descompactación de la Formación Santa, para cada tipo de litología determinando su porosidad actual, porosidad inicial, espesor actual y espesor inicial para toda la Formación.

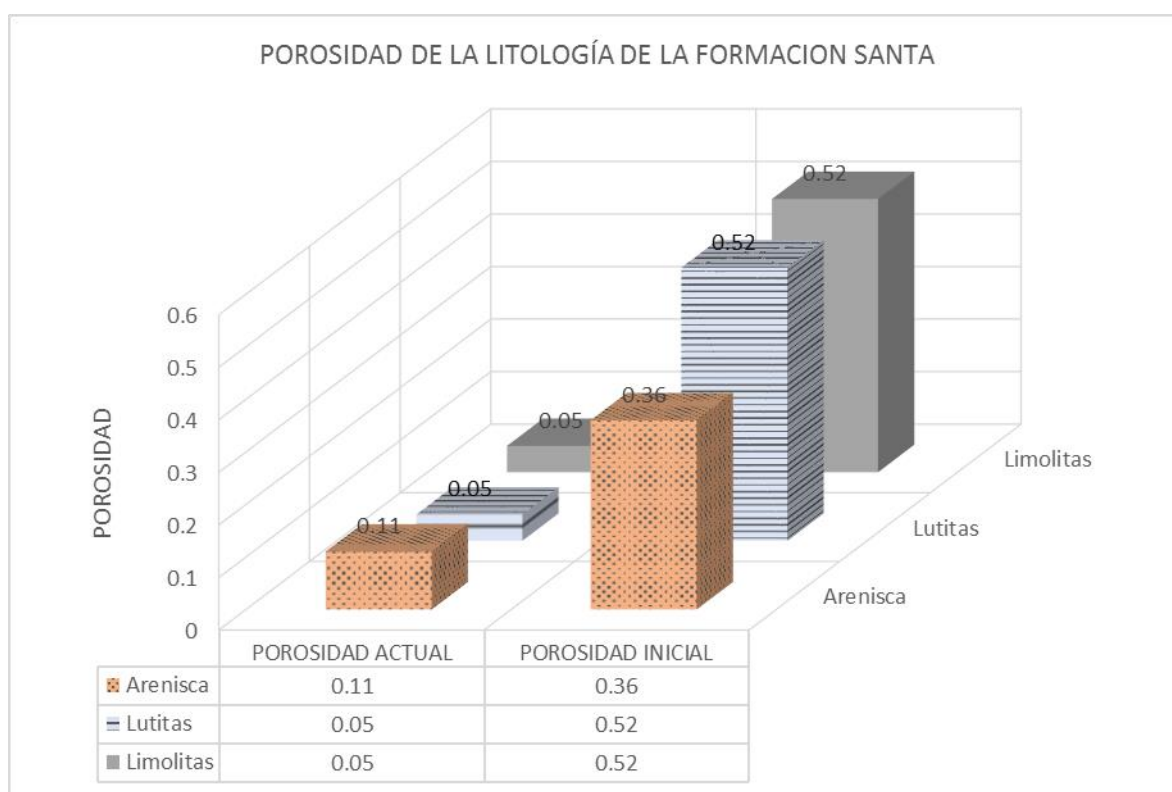


Gráfico 3: Variación de la porosidad en la litología de la Formación Santa

Según el gráfico 3, La variación de la porosidad en la litología de la Formación Santa, se logró determinar con mayor intensidad para las limolitas y lutitas, teniendo

inicialmente una porosidad de 0.52 tanto en limolitas como en lutitas, y actualmente tienen un valor de 0.05 en ambos casos, representando un 90.38% en la reducción de porosidad; para las areniscas se determinó una porosidad inicial de 0.36, y actualmente con una porosidad igual 0.11, indicando 69.5% en la disminución de la porosidad en las areniscas.

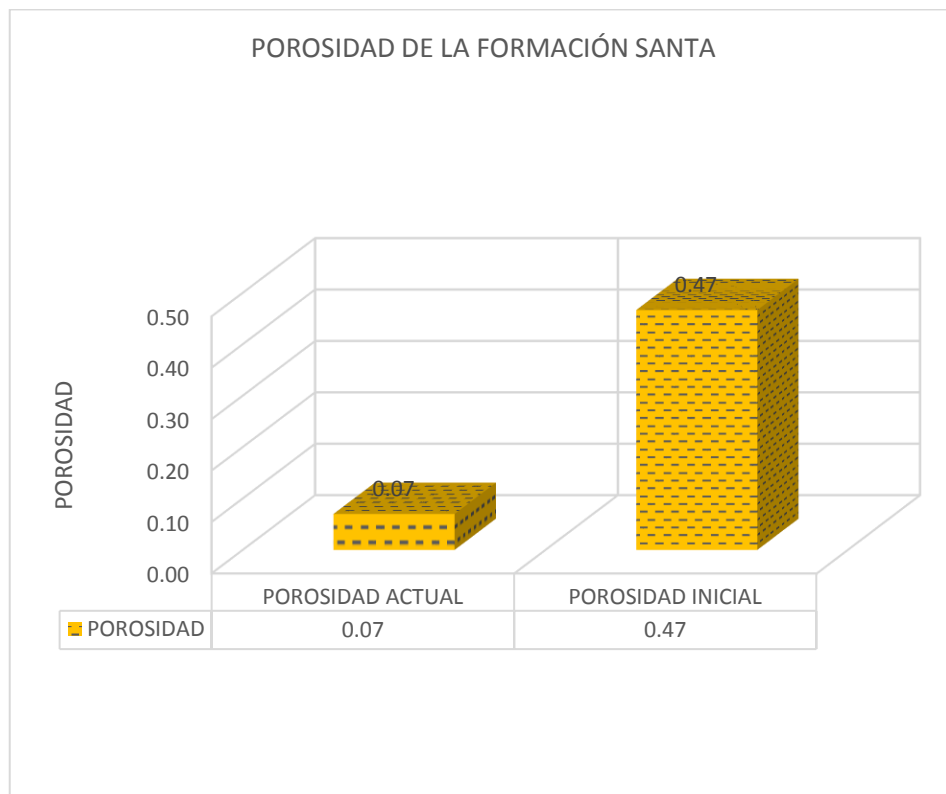


Gráfico 4: Variación de la porosidad en la Formación Santa

Según el gráfico 4, la porosidad de la Formación Santa en un inicio tenía un promedio de 0.47 y actualmente tiene una porosidad de 0.07, representado el 85.11% en la disminución de la porosidad total de la Formación Santa.

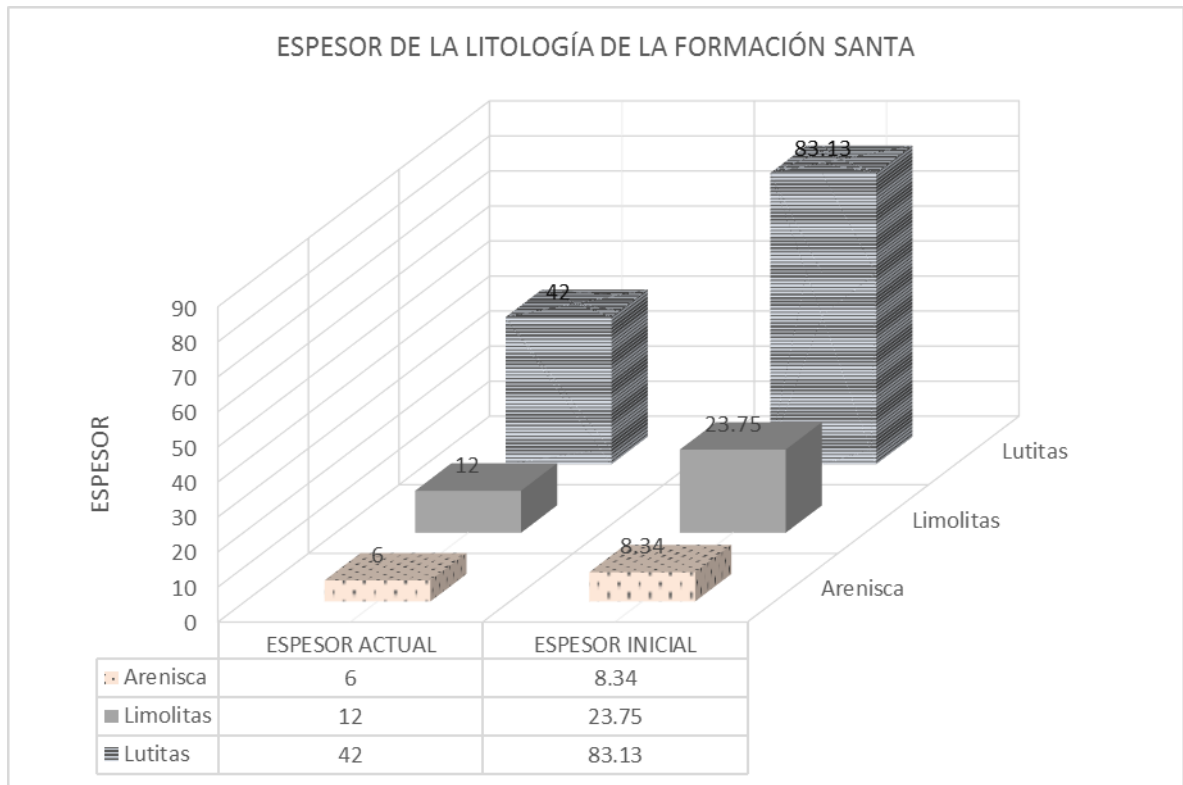


Gráfico 5: Variación del espesor en la litología de la Formación Santa

Según el gráfico 5, la variación del espesor en la litología de la Formación Santa se da de manera distinta, teniendo mayor reducción en las lutitas con un espesor inicial de 83.13m, reduciendo a un espesor actual de 42m, representando un 49.48% de reducción del espesor; en las areniscas encontramos un espesor inicial de 8.34m, reduciendo el espesor a 6m, representando el 28.06% en la reducción de su espesor; en las limolitas con un espesor inicial de 23.75m, reduciéndose a un espesor actual de 12m, representando un 49.48% de reducción del espesor en las limolitas de la Formación Santa.

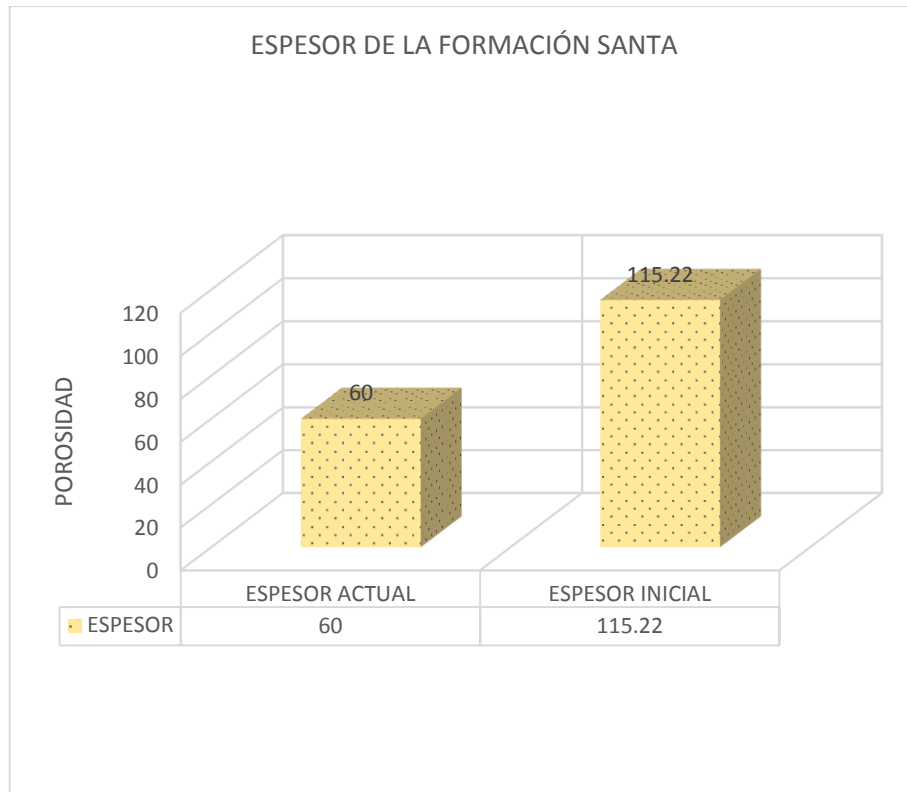


Gráfico 6: Variación del espesor de la Formación Santa

Según el gráfico 6, se determina que el espesor de la Formación Santa en un inicio tenía 115.22m, y actualmente tiene un espesor de 60m, representado el 47.93% en la disminución del espesor total de la Formación Santa.

4.2.2. DESCOMPACTACIÓN FORMACIÓN CARHUAZ

Para La descompactación de la Formación Carhuaz se consideró su litología que consta de lutitas, limolitas y areniscas considerando un espesor de la secuencia sedimentaria suprayacente de 3311.19m.

$$H_{Inicial} = \frac{(1 - n_{Actual}) \times (H_{Actual})}{1 - n_{Inicial}}$$

Donde:

H_{Actual} : espesor actual medido den campo

$n_{Inicial}$: porosidad inicial

n_{Actual} : porosidad actual

$H_{Inicial}$: espesor que buscamos

- Cálculo de la porosidad inicial.

Para calcular la porosidad inicial de las lutitas y las areniscas utilizamos el gráfico N° 1, tomando una profundidad de 0m con el cual el valor para areniscas es de 0.36, para lutitas y limos es de 0.52 respectivamente.

- Cálculo de la porosidad actual para las areniscas y las lutitas.

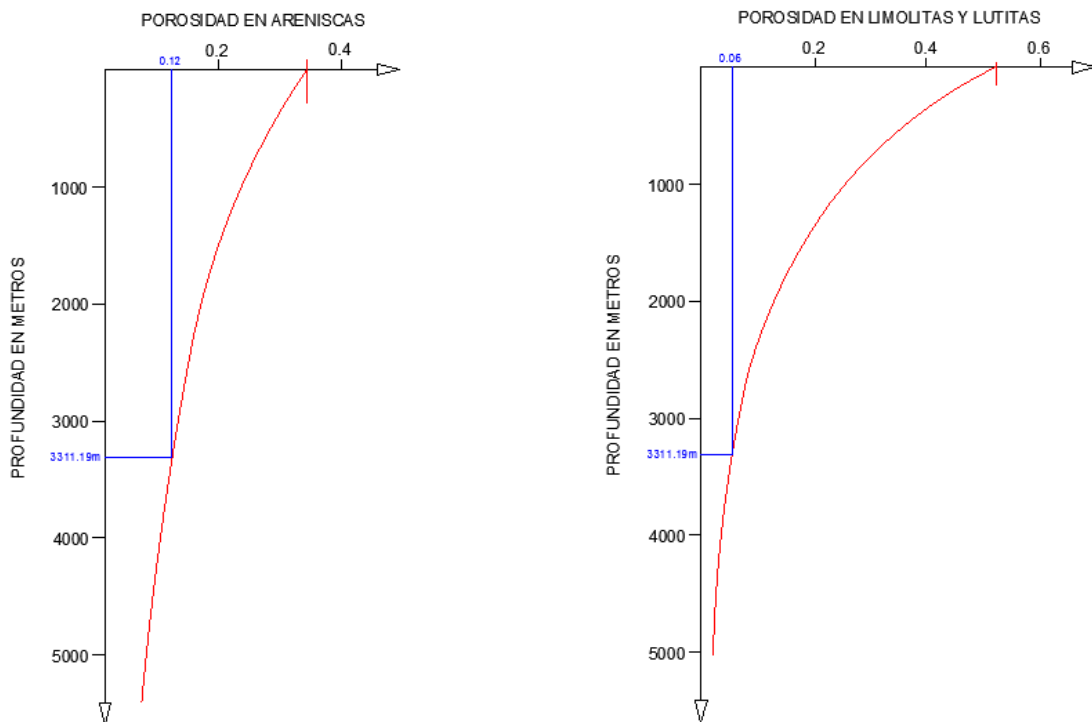


Gráfico 7: Cálculo de la porosidad actual para la litología de la Formación Carhuaz.

- Calculamos el espesor inicial de la Formación.

Consideramos un espesor de 419m de la Formación Carhuaz de los cuales 167m son lutitas, 83m de limolitas y 167m es de areniscas. Con estos datos calculamos el espesor inicial.

Para Lutitas:

$$H_{Inicial} = \frac{(1 - n_{Actual})x(H_{Actual})}{1 - n_{Inicial}}$$

$$H_{Inicial} = \frac{(1 - 0.06)x(167m)}{1 - 0.52}$$

$$H_{Inicial} = 327.04m$$

Para Limolitas:

$$H_{Inicial} = \frac{(1 - n_{Actual})x(H_{Actual})}{1 - n_{Inicial}}$$

$$H_{Inicial} = \frac{(1 - 0.06)x(83m)}{1 - 0.52}$$

$$H_{Inicial} = 162.54m$$

Para Areniscas:

$$H_{Inicial} = \frac{(1 - n_{Actual})x(H_{Actual})}{1 - n_{Inicial}}$$

$$H_{Inicial} = \frac{(1 - 0.12)x(167m)}{1 - 0.36}$$

$$H_{Inicial} = 229.61m$$

Tabla 8: Resumen de resultados

CARACTERÍSTICAS LITOESTRATIGRÁFICAS DE LA FORMACIÓN CARHUAZ				
UNIDAD	POROSIDAD	POROSIDAD	ESPEJOR	ESPEJOR
LITOESTRATIGRÁFICA	ACTUAL	INICIAL	ACTUAL	INICIAL
Lutitas	0.06	0.52	167	327.04
Limolitas	0.06	0.52	83	162.54
Arenisca	0.12	0.36	167	229.61
PROMEDIO	0.08	0.47		
ESPEJOR			417	721.81

En la tabla 8, se muestran los resultados obtenidos en la descompactación de la Formación Carhuaz, para cada tipo de litología determinando su porosidad actual, porosidad inicial, espesor actual y espesor inicial para toda la Formación.

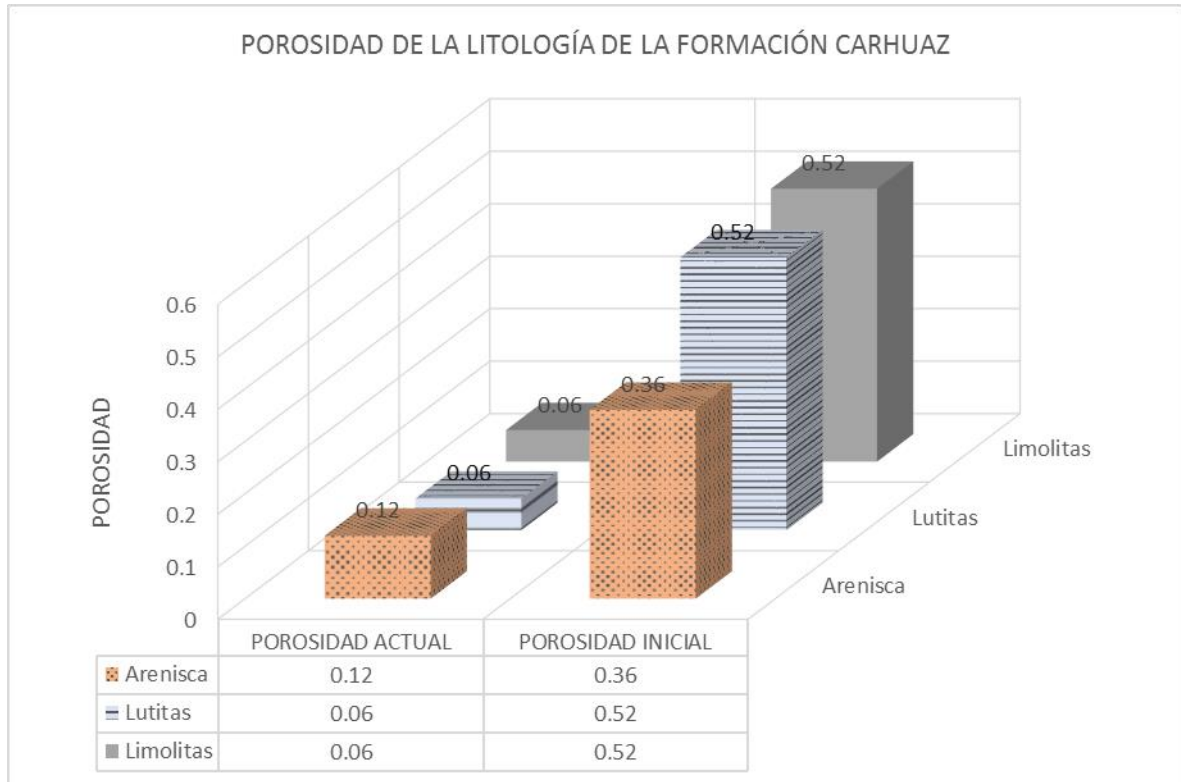


Gráfico 8: Variación de la porosidad en la litología de la Formación Carhuaz

Según el gráfico 8, la variación de la porosidad en la litología de la Formación Carhuaz, se logró determinar con mayor intensidad para las limolitas y lutitas teniendo inicialmente una porosidad de 0.52 y actualmente tienen un valor de 0.06 en ambos casos, representando un 88.46% en la reducción de porosidad en limolitas y lutitas; para las areniscas se determinó una porosidad inicial de 0.36, y actualmente tiene una porosidad igual a 0.12, indicando 66.67% en la disminución de la porosidad en las areniscas.

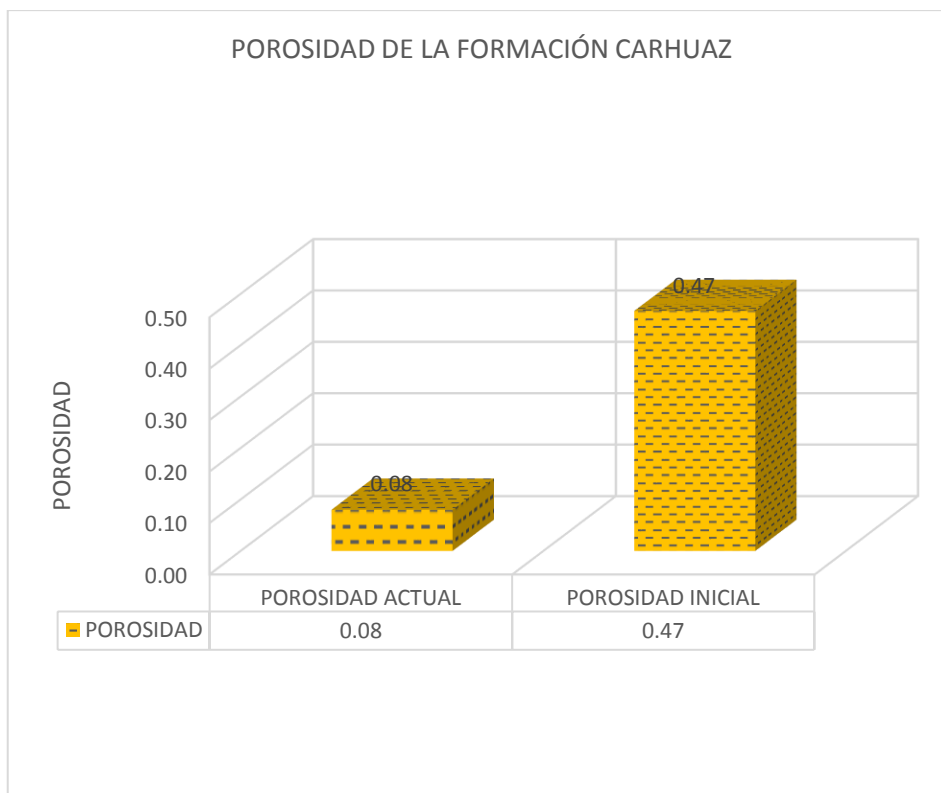


Gráfico 9: Variación de la porosidad en la Formación Carhuaz

Según el gráfico 9, se determinó que la porosidad de la Formación Carhuaz en un inicio tenía un promedio de 0.47, y actualmente tiene una porosidad de 0.08, representando el 82.98% en la disminución de la porosidad total.

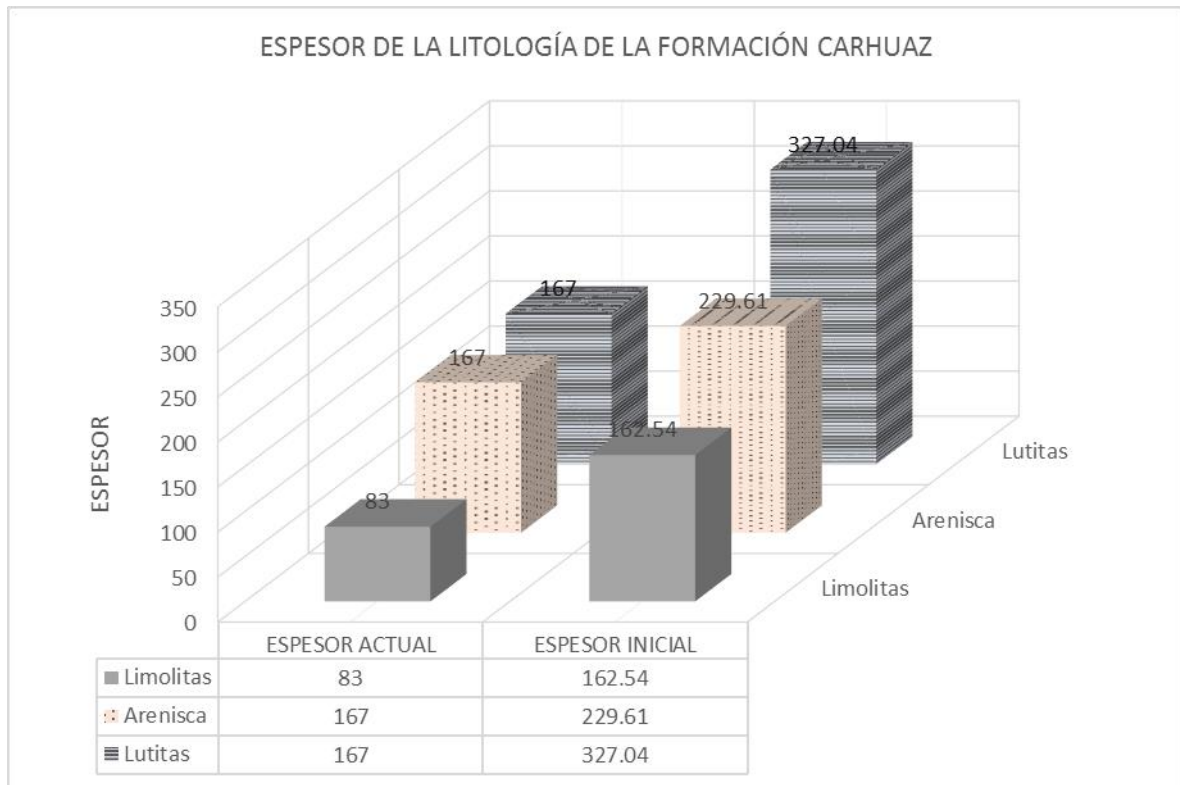


Gráfico 10: Variación del espesor en la litología de la Formación Carhuaz

Según el gráfico 10, la variación del espesor en la litología de la Formación Carhuaz se da de manera distinta en cada litología, teniendo mayor reducción en las lutitas con un espesor inicial de 327.04m, reduciéndose hasta un espesor actual de 167m, representando un 48.94% en la reducción del espesor; y en las areniscas un espesor inicial de 229.61m, reduciéndose a un espesor actual de 167m, representando el 27.27% en la disminución de su espesor; en las limolitas con un espesor inicial de 162.54m, reduciéndose a un espesor actual de 83m, representando un 48.94% la reducción del espesor en las limolitas de la Formación Carhuaz.

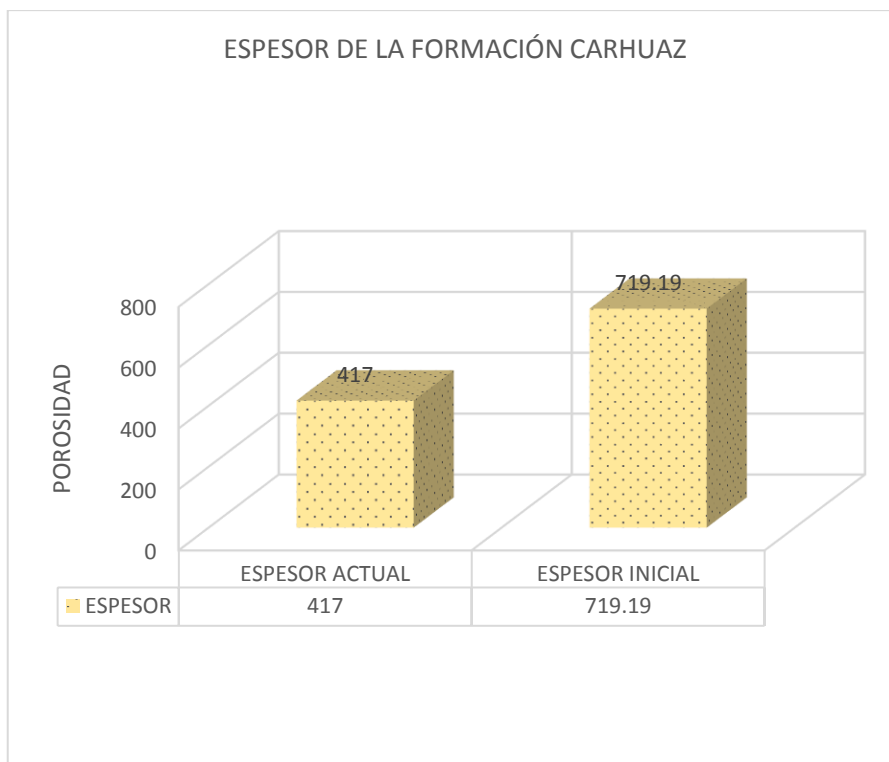


Gráfico 11: Variación del espesor de la Formación Farrat

Según el gráfico 11, se determina que el espesor de la Formación Carhuaz en un inicio tenía un espesor de 719.19, y actualmente tiene un espesor de 417m, representado el 27.06% en la disminución del espesor total de la Formación Carhuaz.

4.2.3. DESCOMPACTACIÓN FORMACIÓN FARRAT

Para la descompactación de la Formación Farrat se consideró su litología que consta principalmente de areniscas y algunos estratos de limolitas, considerando un espesor de la secuencia sedimentaria suprayacente de 2877.23m.

$$H_{Inicial} = \frac{(1 - n_{Actual}) \times (H_{Actual})}{1 - n_{Inicial}}$$

Donde:

H_{Actual} : espesor actual medido en campo

$n_{Inicial}$: porosidad inicial

n_{Actual} : porosidad actual

$H_{Inicial}$: espesor que buscamos

- Cálculo de la porosidad inicial.

Para calcular la porosidad inicial de las lutitas y las areniscas utilizamos el gráfico N° 1, tomando una profundidad de 0m con el cual el valor para areniscas es de 0.36, para lutitas y limos es de 0.52 respectivamente.

- Cálculo de la porosidad actual para las areniscas y las limolitas.

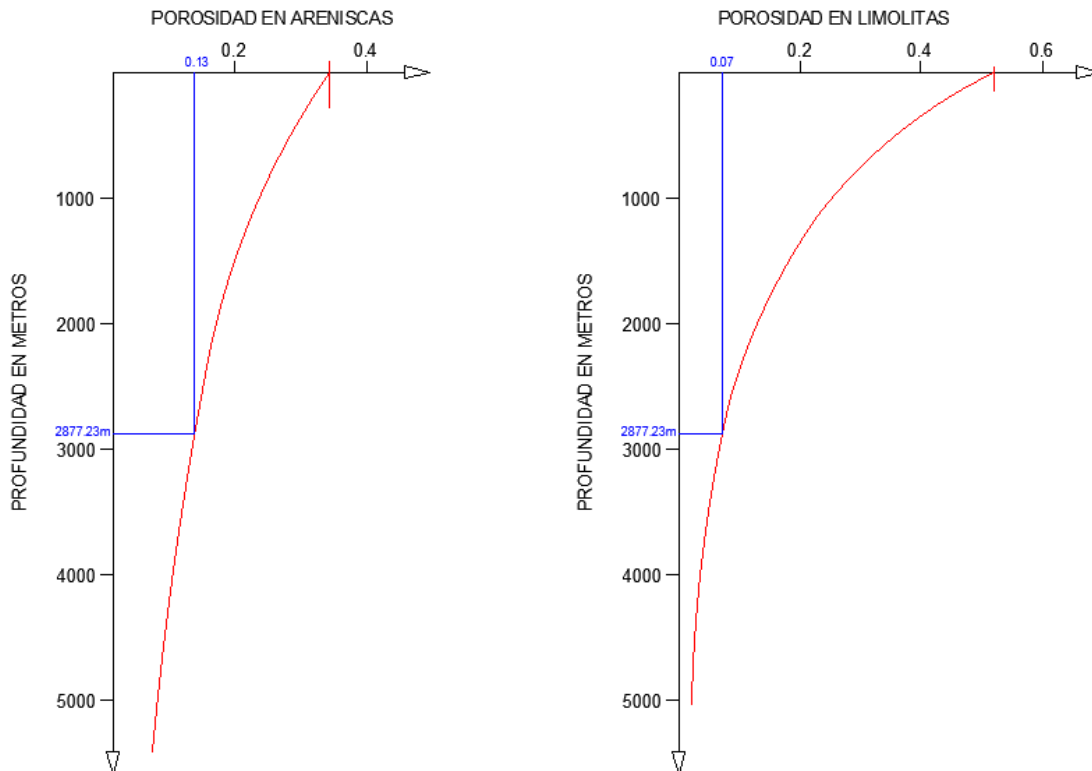


Gráfico 12: Cálculo de la porosidad actual para la litología de la Formación Farrat.

- Calculamos el espesor inicial de la Formación.

Consideramos un espesor de 433.96m de la Formación Farrat de los cuales 8.7m de limolitas y 425.26m de areniscas. Con estos datos el espesor inicial de la Formación.

Para Limolitas

$$H_{Inicial} = \frac{(1 - n_{Actual}) \times (H_{Actual})}{1 - n_{Inicial}}$$

$$H_{Inicial} = \frac{(1 - 0.07) \times (8.7m)}{1 - 0.52}$$

$$H_{Inicial} = 16.86m$$

Para Areniscas

$$H_{Inicial} = \frac{(1 - n_{Actual}) \times (H_{Actual})}{1 - n_{Inicial}}$$

$$H_{Inicial} = \frac{(1 - 0.13) \times (425.26m)}{1 - 0.36}$$

$$H_{Inicial} = 578.09m$$

Tabla 9: Resumen de resultados

CARACTERÍSTICAS LITOESTRATIGRÁFICAS DE LA FORMACIÓN FARRAT				
UNIDAD	POROSIDAD	POROSIDAD	ESPESOR	ESPESOR
LITOESTRATIGRÁFICA	ACTUAL	INICIAL	ACTUAL	INICIAL
Limolitas	0.05	0.52	8.7	16.86
Arenisca	0.13	0.36	425.26	578.089
PROMEDIO	0.09	0.44		
ESPESOR			433.96	594.949

En la tabla 9, se muestran los resultados obtenidos de la descompactación de la Formación Farrat, para cada tipo de litología determinando su porosidad actual, porosidad inicial, espesor actual y espesor inicial para toda la Formación Farrat.

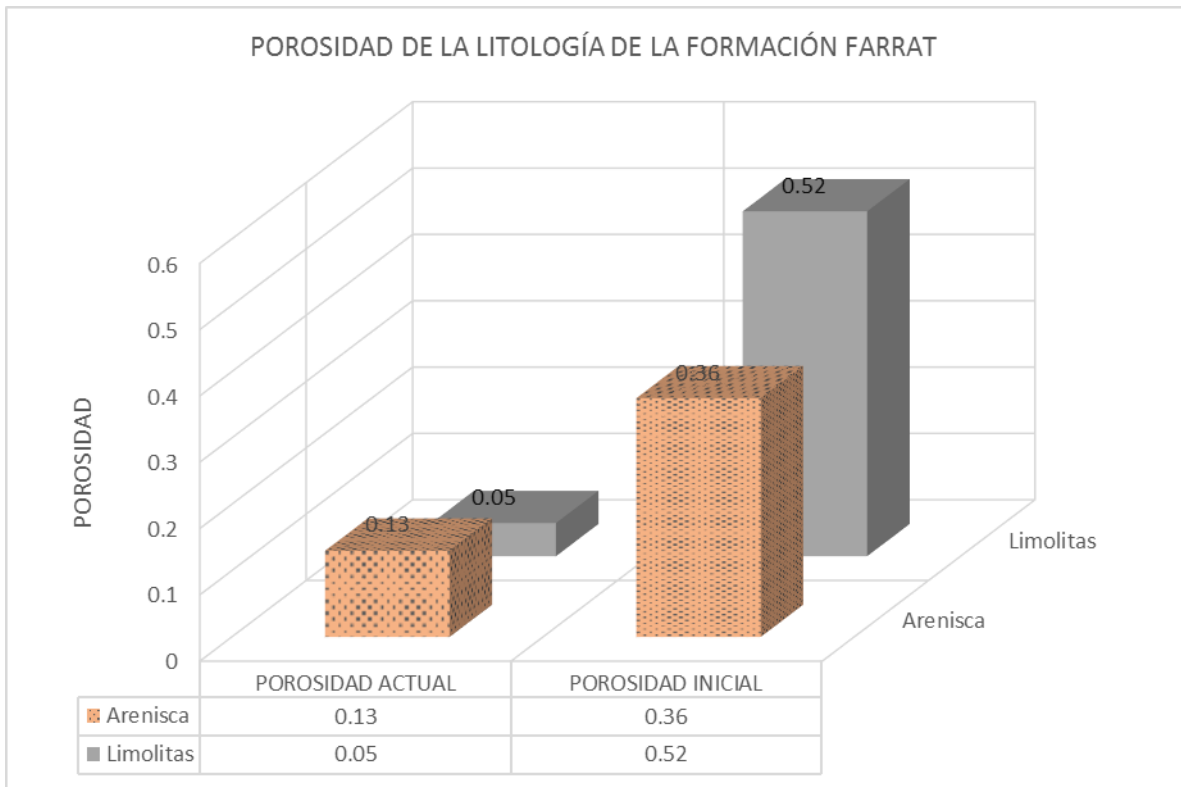


Gráfico 13: Variación de la porosidad en la litología de la Formación Farrat

Según el gráfico 13, La variación de la porosidad en la litología de la Formación Farrat, se logró determinar con mayor intensidad en las limolitas teniendo inicialmente una porosidad de 0.52, y actualmente un valor de 0.05, representando un 90.38% en la reducción de porosidad para las limolitas; para las areniscas se determinó una porosidad inicial de 0.36, y actualmente con una porosidad igual 0.13, indicando 63.90% en la disminución de la porosidad en las areniscas.

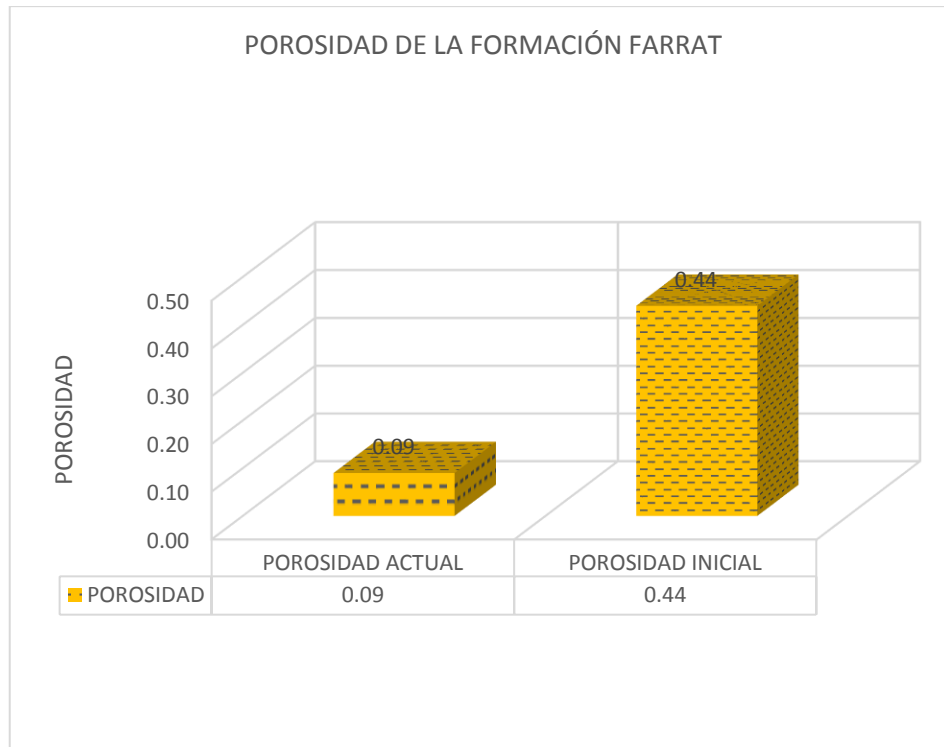


Gráfico 14: Variación de la porosidad en la Formación Farrat

Según el gráfico 14, se determinó que la porosidad de la Formación Farrat en un inicio tenía una porosidad promedio de 0.44, y actualmente tiene una porosidad de 0.09, representado el 79.55% en la disminución de la porosidad total de la Formación Farrat.

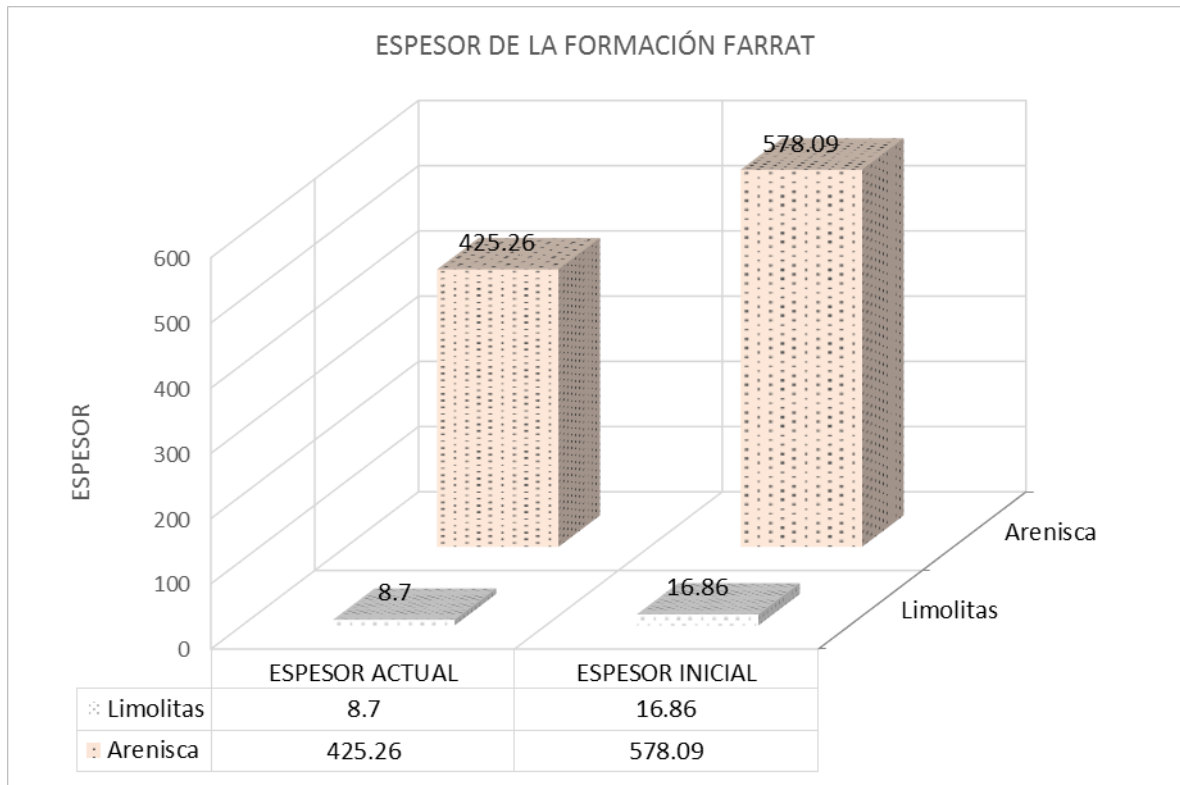


Gráfico 15: Variación del espesor en la litología de la Formación Farrat

Según el gráfico 15, La variación del espesor en la litología de la Formación Farrat se da de manera distinta en cada litología, teniendo las areniscas un espesor inicial de 578.09m, y reduciéndose a un espesor actual de 425.26m, representando el 26.44% en la disminución del espesor; las limolitas con un espesor inicial de 16.86m, reduciéndose a un espesor actual de 8.7m, representando un 48.4% la reducción del espesor en las limolitas de la Formación Farrat.

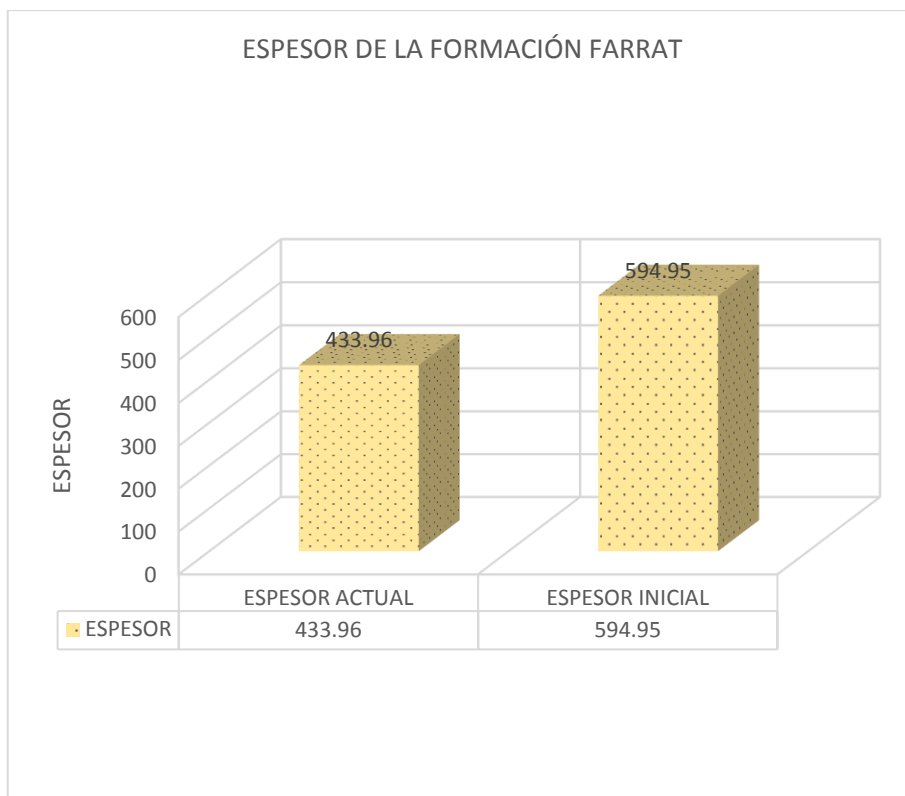


Gráfico 16: Variación del espesor de la Formación Farrat

Según el gráfico 16, se determina que el espesor de la Formación Farrat en un inicio fue de 594.95m, y actualmente tiene un espesor de 433.96m, representado el 27.06% en la disminución del espesor total.

Tabla 10: Cuadro resumen de descompactación de las Formaciones.

CARACTERÍSTICAS LITOSTRATIGRÁFICAS DE LAS FORMACIONES SANTA, CARHUAZ Y FARRAT				
UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA	POROSIDAD ACTUAL	POROSIDAD INICIAL	ESPESOR ACTUAL	ESPESOR INICIAL
Formación Santa	0.07	0.47	60	115
Formación Carhuaz	0.08	0.47	417	719.19
Formación Farrat	0.09	0.44	433.96	594.95

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

La Formación Santa presenta predominio litológico de lutitas con 42m de espesor, con estratos delgados menores a 70cm, en los estratos menores a 10cm presentan diferentes coloraciones como rojizas, gris verdosa y además las limolitas tienen una coloración amarillenta.

En la Formación Santa se observaron estructuras sedimentarias que son: nodulos y estratificación lenticular en las lutitas.

Al realizar la descompactación de la Formación Santa en un espesor de 60m se determinó un espesor inicial de 115.22m reduciendo en 47.93%, la porosidad se redujo un 85.11% en toda su secuencia litoestratigráfica.

La formación Carhuaz en la base presenta estratos delgados de arenisca cuarzosa con 5m de espesor, seguido de una intercalación de limolitas blanquecinas a amarillentas, en el centro presenta areniscas rojizas de grano fino, en el techo se encuentra limolitas amarillentas, areniscas blancas de grano fino, limolitas rojizas intercalada con lutitas blanquecinas.

En la Formación Carhuaz se observaron estructuras sedimentarias que son: estratificación sesgada en los estratos de arenisca cuarzosa, laminación paralela y estratificación lenticular en las lutitas.

En la descompactación de la Formación Carhuaz en un espesor de 417m se determinó que se compacto 302m equivalente a un 27.06% de su espesor inicial

que fue 719m; la porosidad se redujo un 82.98% en toda su secuencia litoestratigráfica.

La Formación Farrat presenta una variedad de areniscas blancas de grano fino en la base formando estratos delgados a estratos de mayor espesor en el centro, en el contacto superior se encuentra areniscas de grano medio a con una estratificación granodecreciente, también se encuentra estratos delgados de limos rojizos claros y verdoso.

La Formación Farrat presenta estructuras sedimentarias como laminación sesgada, laminación paralela, calcos de carga, laminación paralela oblicua, ripples de olas e improntas de plantas en limolitas.

Al realizar la descompactación de la Formación Farrat en un espesor de 433.96m se determinó un espesor inicial de 594.95m reduciendo en 27.06%, la porosidad se redujo un 79.55% en toda su secuencia litoestratigráfica.

Se elaboraron 5 columnas estratigráficas correspondientes a las Formaciones Santa, Carhuaz y Farrat.

5.2. RECOMENDACIONES

Realizar un estudio petrológico e hidrológico para determinar la porosidad actual de la litología de las Formaciones Santa, Carhuaz y Farrat, para realizar la descompactación de las formaciones.

Realizar un estudio geofísico para la determinación de la composición litológica de las formaciones en las partes donde están cubiertas por depósitos cuaternarios.

Continuar con el estudio estratigráfico de las formaciones supra e infrayacentes a las formaciones estudiadas en esta investigación, para comprender la secuencia litoestratigráfica del Cretáceo en las zonas adyacentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Arche, A. 2010.** Sedimentología del proceso físico de la cuenca sedimentaria. Gráficas Blanco, S. L. Madrid – España.
- Arellano, J. 2010.** Análisis Estratigráfico de la secuencia sedimentaria del grupo Chicontepec del cretácico inferior. Tesis Profesional. Ciudad de México – México. Universidad Autónoma de México.
- Dávila, J. 2011.** Diccionario Geológico, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Lima – Perú.
- Folk, R. 1974.** Petrología de las Rocas Sedimentarias: Clasificación de las rocas clásticas. Editorial Hemphill. Texas.
- Hedberg, H. 1980.** Guía Estratigráfica Internacional: Guía para la Clasificación y Terminología y Procedimientos Estratigráficos. Editorial Reverté. Barcelona. Páginas 13 – 30.
- 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 Nº 7. Lima- Perú.
- Marocco, R. 2008.** Introducción a la Estratigrafía Secuencial. Instituto de Investigación para el Desarrollo. Lima-Perú.
- Mejia, W. 2012.** Estudio Sedimentológico y Estratigráfico Del Caserío De Puyllucana – Otuzco – Cajamarca. Tesis Profesional. Cajamarca – Peru. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Petijhon, F. 1970.** Rocas Sedimentarias: Clasificación de las rocas clásticas. Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- Reyes, L. 1980.** Ingemmet. Boletín Nº 31 Cuadrángulo de Cajamarca - San Marcos – Cajabamba.
- Vera Torres, J. 1994.** Estratigrafía Principios y Métodos. Editorial Rueda – Madrid. Págs. 3 – 31, 197 - 218.
- Vera, J. 1994.** Estratigrafía – Principios y Métodos.
- Weller, J. A. 1960.** Stratigraphic Principles and Practice. New York.

ANEXOS

1. Columna litoestratigráfica Formación Santa
2. Columna litoestratigráfica de la base de la Formación Carhuaz
3. Columna litoestratigráfica del techo de la Formación Carhuaz
4. Columna litoestratigráfica de la base de la Formación Farrat
5. Columna litoestratigráfica del techo de la Formación Farrat
6. Mapa de ubicación y accesibilidad
7. Mapa satelital
8. Mapa geológico
9. Mapa hidrológico