

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



**TESIS**

**CARACTERIZACIÓN ESTRATIGRÁFICA DE SECUENCIAS DE LA FORMACIÓN  
SANTA EN LOS DISTRITOS DE LLACANORA Y NAMORA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO**

PRESENTADO POR:

BACH. DANIEL ANDRÉ CARRIÓN ORTIZ.

ASESOR:

Dr. CRISPÍN ZENÓN QUISPE MAMANI

CAJAMARCA – PERÚ

- 2022 -

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional de Cajamarca, a la Facultad de Ingeniería y en especial a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica por haberme brindado todo el conocimiento y gratas experiencias.

A mis docentes, por su trabajo e inmensa dedicación en la enseñanza constante.

A mi asesor, el Dr. Zenón Crispín Quispe Mamani, quién con su tiempo, conocimiento y guía, pude lograr este trabajo.

## **DEDICATORIA**

A las personas más importantes de mi vida, mi padre, mi hermana, mi abuela y a mi madre que desde el cielo está pendiente de mis avances.

## ÍNDICE

	Página.
AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT .....	xiii
CAPÍTULO I.....	14
INTRODUCCIÓN.....	14
CAPÍTULO II.....	16
MARCO TEÓRICO .....	16
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	16
2.1.1. INTERNACIONALES.....	16
2.1.2. NACIONALES .....	17
2.1.3. LOCALES.....	17
2.2. BASES TEÓRICAS .....	18
2.2.1. DEFINICIÓN DE ESTRATIGRAFÍA .....	18
2.2.2. ESTRATIFICACIÓN .....	19
2.2.2. ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS.....	19
2.2.3. PRINCIPIOS ESTRATIGRÁFICOS .....	20
2.2.3.1. HORIZONTALIDAD DE LOS ESTRATOS.....	20
2.2.3.2. SUPERPOSICIÓN DE LOS ESTRATOS .....	20
2.2.3.3. PRINCIPIO DE ACTUALISMO .....	21
2.2.3.4. PRINCIPIO DE CORRELACIÓN O SUCESIÓN FAUNÍSTICA .....	21

2.2.3.5.	PRINCIPIO DE SIMULTANEIDAD DE EVENTOS .....	21
2.2.3.6.	PRINCIPIO DE CORRELACIÓN DE FACIES .....	22
2.2.4.	TASA DE SEDIMENTACIÓN .....	22
2.2.5.	FACTORES QUE CONTROLAN LA SEDIMENTACIÓN.....	22
2.2.5.1.	APORTES .....	22
2.2.5.2.	SUBSIDENCIA Y MOVIMIENTO TECTÓNICOS VERTICALES .....	22
2.2.5.3.	CAMBIO DE NIVEL DEL MAR .....	23
2.2.6.	CUENCAS SEDIMENTARIAS.....	24
2.2.7.	FACIES SEDIMENTARIAS .....	25
2.2.8.1.	TIPOS DE FACIES.....	27
2.2.8.1.1.	LITOFACIES.....	27
2.2.8.1.2.	BIOFACIES .....	27
2.2.8.1.3.	MICROFACIES.....	27
2.2.8.1.4.	FACIES DE CARBONATOS.....	27
2.2.8.2.	ASOCIACIÓN DE FACIES .....	27
2.2.10.	LEY DE WALTHER .....	28
2.2.11.	SECUENCIAS DE FACIES .....	29
2.2.11.1.	TIPO DE LAS SECUENCIAS DE FACIES .....	29
2.2.11.2.	MODELOS DE FACIES.....	30
2.2.12.	SECCIONES ESTRATIGRÁFICAS .....	30
2.2.13.	CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA .....	30

	Página
2.2.13.1.	LITOCORRELACIÓN .....31
2.2.14.	ROCAS SEDIMENTARIAS CARBONATADAS .....31
2.2.14.1.	CLASIFICACIÓN SEGÚN FOLK (1962).....32
2.2.14.2.	LA CLASIFICACIÓN DE DUNHAM (1962).....33
2.2.14.3.	CLASIFICACIÓN DE EMBRY Y KLOVAN (1971) .....35
2.2.14.4.	CLASIFICACIÓN DE INSALACO (1998).....37
2.2.14.5.	CLASIFICACIÓN DE WRIGHT (1992) .....39
2.2.15.	ROCAS SEDIMENTARIAS CLÁSTICAS.....41
2.2.15.1.	CLASIFICACIÓN DE LAS ARENISCAS.....43
2.2.15.	CLASIFICACIÓN SEGÚN PETTIJOHN (1987) .....43
2.2.15.	CLASIFICACIÓN DE ROCAS CARBONATADO-DETRÍTICAS SEGÚN CORRENS (1949) .....45
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....46
CAPÍTULO III.....47	
MATERIALES Y MÉTODOS .....47	
3.1.	UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....47
3.1.1.	GEOGRÁFICA.....47
3.1.2.	POLÍTICA.....4
7	
3.1.3.	ACCESIBILIDAD .....47
3.2.	PROCEDIMIENTOS.....48

	Página
3.2.1.	ETAPA DE GABINETE.....48
3.2.2.	ETAPA DE CAMPO.....48
3.2.3.	ETAPA DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN .....49
3.2.3.	METODOLOGÍA.....49
3.2.3.1.	POBLACIÓN DE ESTUDIO.....49
3.2.3.2.	MUESTRA.....50
3.2.3.3.	UNIDAD DE ANÁLISIS.....50
3.3.	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....50
3.3.1.	TÉCNICAS .....50
3.3.1.1.	ELABORACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS 50
3.3.2.	INSTRUMENTOS Y EQUIPOS .....51
3.4.	MARCO ESTRATIGRÁFICO.....52
3.5.	GEOLOGÍA LOCAL.....53
3.5.1.	GRUPO GOYLLARISQUISGA .....53
3.5.1.1.	FORMACIÓN SANTA.....53
3.6.	ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS .....54
3.7.	DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA MACROSCÓPICA.....56
3.7.1.	ZONA DE LLACANORA .....56
3.7.2.	ZONA DE NAMORA.....58
3.8.	ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS.....60
3.8.1.	ZONA DE LLACANORA .....60

	Página
3.8.2. ZONA DE NAMORA.....	64
CAPITULO IV .....	69
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	69
CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	70
CAPITULO V .....	72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
5.1. CONCLUSIONES.....	72
5.2. RECOMENDACIONES .....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	74
ANEXOS.....	77



## ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1: Se sintetiza los tipos de investigación utilizados. ....	49
Tabla 2: Síntesis de las variables independientes y dependiente para la investigación. .....	50
Tabla 3: Descripción petrográfica en la estación 01 en la zona de Llacanora.....	56
Tabla 4: Descripción petrográfica en la estación 02 en la zona de Llacanora.....	57
Tabla 5: Descripción petrográfica de la estación 03 de la zona de Llacanora.....	57
Tabla 6: Descripción petrográfica de la estación 04 de la zona Llacanora.....	58
Tabla 7: Descripción petrográfica de la estación 01 en la zona Namora.....	58
Tabla 8: Descripción petrográfica de la estación 02 en la zona Namora.....	59
Tabla 9: Descripción petrográfica de la estación 03 en la zona Namora.....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 1. Se muestra el proceso de regresión y transgresión según el nivel marino donde se diferencian las distintas facies rocosas (Monroe y Wicander 2015). ....	26
Figura 2: Aplicación de la Ley de Walther (Vera, 1994).....	28
Figura 3: Tipos de secuencias de facies y asociación de estratos de acuerdo a la distribución de espesores (Vera, 1994). ....	30
Figura 4. Se muestra la segunda calificación de rocas calcáreas de Folk (1962), donde simplifica su obra original de veintidós clases a únicamente ocho clases .....	33
Figura 5. Se muestra el esquema de clasificación textural de Dunham (1962), donde la división está determinada por el entorno hidráulico.....	34
Figura 6. En esta clasificación textural se muestran cuatro divisiones agregadas a la obra original de Dunham, ya que esta carecía de detalles con respecto a la clasificación “bound” (Dunham modificado por Embry y Klovan 1971).....	36
Figura 7. Se muestra la clasificación textural de Embry y Klovan modificada por Insalaco según la fábrica alóctona y autóctona, esta clasificación es más utilizada en corales, pero también puede ser utilizada para describir calizas producidas por variedad de organismos (Dunham modificado por Insalaco 1998).....	38
Figura 8. Se muestra la calificación textural de Wriqth donde divide a las texturas calcáreas en tres segmentos importantes, deposicional, biológico y diagenético (Dunham modificado por Wright 1992).....	40
Figura 9. Esquema de la clasificación de areniscas de Pettijohn (1987).....	44
Figura 10. Ilustración de la clasificación de areniscas basado en Pettijohn (1987)...	44
Figura 11. Triángulo de clasificación de rocas carbonato detríticas o intermedias basada en Correns (1949).....	45
Figura 12. Sección de columna tomada y modificada de Herrera (2012).....	53

## ÍNDICE DE FOTOS

	Página.
Foto 1: Talud en corte de carretera, donde se aprecia la Formación Santa comprendiendo intercalación de Areniscas grisáceas y limolitas blanquecinas. ....	54
Foto 2: Estructura sedimentaria primaria, laminación paralela en limolitas. ....	54
Foto 3: Estratificación paralela en areniscas. ....	55
Foto 4: Estructura sedimentaria primaria, estructura lenticular en limolitas. ....	55
Foto 5: Secuencia de intercalación de limolitas grisáceas con areniscas. ....	61
Foto 6: Intercalaciones de areniscas de grano fino intemperizadas de mayor espesor con limolitas amarillentas con oxidación. ....	61
Foto 7: Intercalaciones de areniscas de grano fino con tonalidad rojiza producto de oxidación fuerte, con limolitas amarillentas con oxidación moderada. ....	62
Foto 8: Zona más próxima al techo de la Formación Santa, caracterizada por una secuencia de areniscas de grano medio y limolitas. ....	64
Foto 9: Intercalación de Areniscas de grano fino con arcillitas nodulosas. ....	65
Foto 10: Facies de areniscas y limolitas, con estratos finos asociados entre si uniformemente. ....	66
Foto 11: Se observa el afloramiento de areniscas intercaladas con areniscas y limolitas calcáreas, bajo una capa de meteorización intensa. ....	67

## RESUMEN

En la tesis presentada se realiza la Estratigrafía de secuencias de la Formación Santa en los distritos de Llacanora, entre los centros poblados de Santa Rosa y Chinchin, y Namora, en el centro poblado de Quelluacocha. Esta investigación es de tipo descriptiva, cualitativo no experimental y transversal en el tiempo, este estudio tiene como objetivo general caracterizar la estratigrafía de secuencias de la Formación Santa en los distritos de Llacanora y Namora; en ambas zonas se ha logrado identificar, describir y medir distintos afloramientos para la posterior realización de columnas estratigráficas a escala local, después se hizo una correlación litoestratigráfica entre columnas basada en los cambios de litología; así se pudo reconocer cuatro secuencias estratigráficas asociadas a sus respectivas litofacies.

El procedimiento para la realización de la presente tesis se basa en dos partes principales, una de trabajo de campo y otra de gabinete; en el trabajo de campo se realizó la recopilación de datos tales como la medición de los espesores de los estratos con wincha y flexómetro, el reconocimiento de estructuras sedimentarias, recolección de muestras; y en gabinete se realizó los planos base con ayuda de ArcGIS, la realización de las columnas estratigráficas en SedLog y el presente informe. Así se tiene como resultado la columna estratigráfica de la Formación Santa, y se concluye que la depositación de las rocas en la Formación Santa fue realizada en un proceso transgresivo inicial, y mantiene un ambiente de poca profundidad hasta el final de esta.

Palabras clave: Formación Santa, Estratigrafía de secuencias, litofacies, columna estratigráfica.

## ABSTRACT

In the thesis presented, the stratigraphy of sequences of the Santa Formation is carried out in the districts of Llacanora and Namora, in both areas it has been possible to identify, describe and measure different outcrops for the subsequent realization of stratigraphic columns at a local scale. a lithostratigraphic correlation between columns based on lithology changes; thus, it was possible to recognize four stratigraphic sequences associated with their respective lithofacies.

The procedure for the realization of the present thesis is based on two main parts, one of field work and another of cabinet; In the field work I carry out the collection of data such as the measurement of the thickness of the strata with a winch and flexometer, the recognition of sedimentary structures, collection of samples; and in the office, the base plans were made with the help of ArcGIS, the realization of the stratigraphic columns in SedLog and this report. This results in the stratigraphic column of the Santa Formation, and it is concluded that the deposition of the rocks in the Santa Formation was carried out in an initial transgressive process, and maintains a shallow environment until the end of it.

Keywords: Santa Formation, Sequence stratigraphy, lithofacies, stratigraphic column.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

La caracterización estratigráfica de secuencias de la Formación Santa en los distritos de Llacanora y Namora ha sido utilizada para ilustrar los procesos depositacionales y describir la ocurrencia, además de la extensión y geometría de las facies sedimentarias. Para ello es necesario conocer los diferentes factores que afectan directamente a la depositación de sedimentos.

En esta investigación, la unidad de análisis sedimentaria es la Formación Santa, la cual se origina en el periodo Cretácico Inferior en la edad Valanginiana intermedia, se caracteriza por representar una transgresión de corta duración (135 – 132.9 Millones de años). Está constituida por limoarcillitas, limolitas, y esporádicos horizontes calcáreos; su espesor aproximado esta entre 80 –100m. (Lagos y Quispe. 2007). Sin embargo, no existe suficiente contenido investigativo ni bibliográfico que se enfoque en las características estratigráficas de secuencias de manera detallada, por ello la necesidad de ampliar el conocimiento litoestratigráfico de la Formación Santa, por lo tanto, para la investigación se ha elaborado la siguiente interrogante ¿Cuál es la caracterización estratigráfica de secuencias de la Formación Santa en los distritos de Llacanora y Namora?

La finalidad de la investigación es la descripción de las características estratigráficas de secuencias de la Formación Santa en Llacanora y Namora, por ello es necesario realizar columnas estratigráficas en ambas zonas para identificar secuencias de litofacies y las condiciones de depositación. Además, esta investigación servirá como guía para los estudiantes y futuras investigaciones en la línea de Estratigrafía.

La presente tesis pretende aportar conocimiento detallado sobre las características estratigráficas de secuencias de la Formación Santa, teniendo como objetivo general caracterizar la estratigrafía de secuencias de la Formación Santa en los distritos de Llacanora y Namora; mediante la elaboración de columnas estratigráficas secuenciales, la identificación textural y estructural de las secuencias estratigráficas; la comparación de columnas estratigráficas y la descripción de la caracterización petrográfica.

La hipótesis que se plantea es que la estratigrafía de las secuencias de la Formación Santa en los distritos de Llacanora y Namora guarda relación con los procesos sedimentarios ocurridos en la etapa y ambiente transgresivo de corta duración de la edad Valanginiana, donde Cajamarca pertenece a la zona distal del proceso, así se fueron formando texturas clásticas, representadas en arcillitas finas y areniscas, y no clásticas en los esporádicos horizontes calcáreos; además de formar estructuras laminares.

Para la culminación de la presente investigación se encontraron algunas limitantes, entre ellas: la dificultad de acceso a algunos afloramientos para la recolección de muestras.

Finalmente la presente tesis ha sido estructurada en cinco capítulos: Capítulo I Introducción, Capítulo II Marco Teórico, en este capítulo se detallan los antecedentes de libros, tesis o artículos científicos con sus respectivos autores con la finalidad de establecer una relación con la presente investigación, Capítulo III Materiales y Métodos, se detallan, la ubicación geográfica del área de estudio, la metodología así como el procedimiento y tratamiento de los datos de la investigación, Capítulo IV Análisis y Discusión de Resultados, Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **2.1.1. INTERNACIONALES**

**ORTEGA (2018)**, en el estudio, 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, se caracteriza por estar constituida por areniscas oscuras intercaladas con arcillitas bien estratificadas, teniendo en cuenta los registros fósiles de la zona tiene una edad similar a la Formación Santa entre el Berriasiano y Valanginiano.

**OLIVO (2016)**, en la tesis doctoral, Análisis sedimentológico y estratigráfico secuencia de los sistemas fluviales y eólicos del Valanginiano en el sector central de la provincia de Neuquén, Cuenca Neuquina, Argentina, estudia los depósitos mayormente continentales que están en el margen de la cuenca Neuquina durante el periodo de reconfiguración Valanginiano, con el fin de comprender la evolución geológica regional durante dicho periodo.

**OLIVO (2017)**, en el estudio, Modelo de acumulación y evolución secuencial del intervalo cuspidal de la Formación Quintuco en su área tipo: implicancias para las reconstrucciones paleogeográficas del margen austral de la Cuenca Neuquina durante el Valanginiano. Donde se detallan las secuencias estratigráficas de las Formación Quintuco (Berriasiano-Valanginiano temprano), donde se logra identificar siete facies principales.



### **2.1.2. NACIONALES**

**RAMOS (2017)**, a través de su investigación, Estudio estratigráfico de la formación Jumasha y su relación estructural en el distrito minero Raura-Huánuco, evaluó tres columnas estratigráficas en tres miembros Jumasha (II, III Y IV), lo que le permitió demostrar que poseen las mismas características litológicas, pero con diferentes estructuras sedimentarias y arquitecturas de cuerpos.

### **2.1.3. LOCALES**

**FERNÁNDEZ (2019)**, en la tesis, Caracterización estratigráfica y sedimentológica de la Formación Santa en la carretera San Marcos – La Grama entre las progresivas KM79+200 – KM+150, logra identificar horizontes de carbón cercanos a la Formación Chimú, además de niveles de material calcáreo con intercalados con limolitas, también observa estructuras lenticulares, nódulos con yeso cristalizado y estratos con geometría tabular.

**SAAVEDRA (2019)**, en la tesis, Estratigrafía de las formaciones Santa, Carhuaz y Farrat en el caserío de Shaullo Chico del distrito Baños del Inca, donde se detallan las características litoestratigráficas que construyen diversos eventos geológicos para a depositación de la Formación Santa en Cajamarca.

**QUISPE Y PAÚLSPELUCIN (2016)**, en la investigación, Estratigrafía y Paleontología de la formación Santa en los distritos de Cajamarca, Baños del Inca y Llacanora, concluye que esta contiene tres miembros que son identificables en todo el recorrido de la quebrada Cruz Blanca. En el miembro superior se identificó una intercalación de areniscas y arcillitas calcáreas de diferentes espesores; el miembro medio, estratos amplios con alternancia de arcillitas grises y estratos finos de limolitas; en el miembro inferior, se observa una secuencia cíclica de limolitas ferruginosas beige y grises.

**SPELUCÍN (2016)**, Estratigrafía y Paleontología de la Formación Santa en los Distritos de Cajamarca – Baños del Inca – Llacanora, en esta tesis se realiza la descripción de la Formación Santa con lo cual permite conocer las características del paleoambiente en el cual se desarrollaron sus secuencias, también se determina el horizonte

bioestratigrafico para una estimación más exacta de la edad geológica de la Formación Santa.

**LAGOS Y QUISPE (2012)**, Caracterización litológica y paleontológica del Cretáceo inferior en Cajamarca: Las formaciones Santa y Carhuáz, a través de esta investigación, realizadas en las provincias de San Marcos y Cajabamba, se analizan los fósiles y las rocas encontradas en ambas formaciones logrando identificar a la edad a la cual pertenece.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. DEFINICIÓN DE ESTRATIGRAFÍA**

La estratigrafía proviene del latín stratum y del griego graphia, que se refiere etimológicamente a la “ciencia que trata a la descripción de las rocas estratificadas”.

Pero a lo largo del tiempo se conoce que esta ciencia abarca mucho más que solo la descripción de las rocas estratificadas y que recibe apoyo de otras ciencias para interpretar también los ambientes sedimentarios de las rocas estratificadas (Vera 1994).

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

Hedberg (1980), no define solamente a la estratigrafía como la sucesión y relación cronológica de la estratificación, también trata de su forma, distribución, composición litológica, contenido fósil, propiedades geoquímicas y geofísicas, es decir tiene que ver con todas las propiedades, atributos de las rocas consideradas estratificadas, interpretación de su ambiente de formación y de su historia geológica.

Corrales (1977), menciona además que la interpretación y estudio de los procesos registrados en las sucesiones sedimentarias van a permitir conocer la naturaleza y disposición de la estratificación de las rocas, la correlación de materiales y sucesos, y también el orden temporal correcto de las secuencias de materiales y sucesos.

### **2.2.2. ESTRATIFICACIÓN**

Se define como la disposición de los estratos que se presenta de manera inherente de la sedimentación y para que ocurra obedece a dos factores, el primero, interrupciones en la sedimentación y segundo, cambio en las condiciones de la sedimentación.

Las interrupciones están referidas a cortos plazos de tiempo en los cuales no se produce sedimentación o son muy lentas y esto generan superficies de estratificación especiales como pequeñas discordancias. Los cambios en las condiciones de sedimentación se refieren a dos acepciones: la primera en cambios a la fuente de aporte de materiales y la otra a cambios propios de la cuenca como cambio de niveles de energía (cambios en la textura de los sedimentos), en los cambios litológicos de los materiales precipitados por acción del agua, cambios en las condiciones de oxidación y cambios en la productividad biológica (Vera 1994).

### **2.2.2. ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS**

La estratigrafía de secuencias según Vail (1987), se define como una metodología la cual permite definir un cuadro cronoestratigráfico a escala global basándose en el elemento temporal, jalónados por discordancias de origen eustático, estas limitan a las unidades de deposición genética. Conceptualmente la estratigrafía de secuencias tiene dos acepciones distintas y complementarias, por un lado, un concepto analítico y por otro lado un concepto sintético.

Analíticamente la estratigrafía de secuencias se refiere a las interpretaciones y modelización estratigráfica de las asociaciones de facies, elaboradas de los datos geológicos del subsuelo a través de estratigrafía sísmica o de datos de observación en el campo, que permitan reconocer los límites de ciclo y las diferentes fracciones de un ciclo a nivel de una cuenca sedimentaria. El principal objetivo consiste en el reconocimiento dentro de los materiales que constituyen el relleno de una cuenca sedimentaria, de conjuntos de estratos limitados por superficies que indiquen un cambio en las condiciones genéticas que afecten al conjunto de la cuenca. Estas

unidades son denominadas unidades genéticas y su reconocimiento es objetivo y obligado en todo análisis de cuencas.

Sintéticamente la estratigrafía de secuencias está basada en que durante la historia de la tierra se han ido sucediendo diferentes cambios globales que posiblemente han quedado reflejados en los rellenos de las cuencas sedimentarias, muy diversas y distantes. Este concepto pretende elaborar una escala temporal de dichos cambios globales (cronoestratigrafía de secuencias) que sea complementaria de la escala cronoestratigráfica usual, basada en los datos bioestratigráficos y magnetoestratigráficos. Este planteamiento sintético de estratigrafía de secuencias implica una carga de subjetividad ya que los datos pueden ser explicados de manera distinta por diferentes autores. Por consiguiente, la elaboración de la escala cronoestratigráfica de secuencias debe ser realizada a partir de múltiples datos analíticos, obtenidos con la mayor fiabilidad posible, así poder eliminar parte de los errores subjetivos de interpretación.

### **2.2.3. PRINCIPIOS ESTRATIGRÁFICOS**

#### **2.2.3.1. HORIZONTALIDAD DE LOS ESTRATOS**

Teóricamente este principio implica que los estratos al momento de ser depositados lo hacen de manera horizontal y paralelos a la superficie del depósito, y se delimitan por dos planos que muestran continuidad; pero queda demostrado que en realidad la geometría de los estratos guarda excepciones y se disponen de manera paralela a la superficie de depósito mas no necesariamente de manera horizontal (Vera 1994).

#### **2.2.3.2. SUPERPOSICIÓN DE LOS ESTRATOS**

Se refiere al orden temporal de los estratos sub-horizontales y se aplica a los materiales estratificados en los cuales la deformación tectónica posterior a su depositación no implica la inversión de los estratos. Las excepciones donde el principio no es aplicado están siempre ligadas a las discontinuidades que implican etapas de erosión de materiales previos, de manera que los sedimentos nuevos se depositan en cavidades excavadas de otros estratos (Vera 1994).

### **2.2.3.3. PRINCIPIO DE ACTUALISMO**

Lyell plantea que los procesos que tuvieron lugar a través de la historia del planeta tierra han sido uniformes y similares a los procesos actuales. Lógicamente los procesos no son enteramente uniformes, sino que han ido cambiando en ritmo e intensidad, además en ellos hay un factor de repetible y tampoco son semejantes a los actuales (Vera 1994).

### **2.2.3.4. PRINCIPIO DE CORRELACIÓN O SUCESIÓN FAUNÍSTICA**

Siendo la base de la datación relativa de los materiales con estratificación, Cuvier desarrolla que cada representación de las rocas sedimentarias en el tiempo geológico, fue dado por distintos y no repetibles organismos que pudieron fosilizar. Este principio es fundamental para la correlación de las unidades de diferentes regiones ya que los seres vivos tienen un alcance mundial (Vera 1994).

### **2.2.3.5. PRINCIPIO DE SIMULTANEIDAD DE EVENTOS**

Basada en la doctrina del “catastrofismo actualista” (Vera 1990) y “nuevo uniformismo” (Berggren y Van Couvering 1993).

Pero se encuentran antecedentes de este principio a finales del siglo XVIII en las ideas de Werner (1789). quien defendía la contemporaneidad global de las catástrofes que determinaban los límites de las grandes divisiones geológicas. De igual manera los precedentes de este principio en los textos de Cuvier (1805) que explican el origen de los yacimientos fosilíferos.

Consiste en aceptar que en la naturaleza ocurrieron fenómenos naturales como los que se ven en la actualidad, pero además otros raros y eventuales que coinciden con las grandes catástrofes, por ejemplo, cambios climáticos, grandes terremotos, cambios en el campo magnético terrestre, etc. Estos eventos pueden quedar plasmados en los estratos de muy diferentes localidades, construyendo un claro criterio de correlación, a veces a escala mundial (Van Couvering 1993).

### **2.2.3.6. PRINCIPIO DE CORRELACIÓN DE FACIES**

Nombrada así por Walther (1894) ,establece que la sucesión vertical de las facies, sin contar las discontinuidades estratigráficas, plasma la misma secuencia de Facies que se formaban de forma lateral en el ambiente sedimentario. Esto se debe a que cuando el ambiente sedimentario cambia ya sea por diferenciación e aportes, subsidencia o por variación del nivel del mar, las facies que estaban sedimentándose adyacentes y yuxtapuestas se depositan encima de las otras, respetando el orden o la polaridad que tenían sobre la superficie de deposición.

### **2.2.4. TASA DE SEDIMENTACIÓN**

Juan Vera (1994), lo define como “La cantidad de material sedimentado en un sector del medio receptor durante un intervalo de tiempo concreto”. Se miden en milímetro/mil años o su equivalente metro/millón de años (unidades de medida), conocidas bibliográficamente como unidades Bunnoff Fischer.

### **2.2.5. FACTORES QUE CONTROLAN LA SEDIMENTACIÓN**

A continuación, se detallan los factores que controlan la sedimentación:

#### **2.2.5.1. APORTES**

Son un conjunto de materiales procedentes de un medio generador y que pueden ser depositados en un medio receptor. La naturaleza de los aportes depende de la composición de las rocas, de las condiciones climáticas y de la naturaleza de la intensidad del transporte, que ocurran en el ambiente generador (Vera 1994).

#### **2.2.5.2. SUBSIDENCIA Y MOVIMIENTO TECTÓNICOS VERTICALES**

Sin subsidencia apenas habría acumulación de sedimentos, pues una vez que los relieves existentes sean erosionados por completo y sus detritos rellenen las depresiones, la superficie terrestre quedaría completamente a una misma cota, logrando que el transporte sea imposible. Únicamente la actividad volcánica alteraría efímeramente el estado de equilibrio, esta situación se daría únicamente si el espesor de las placas litosféricas fuera tres veces mayor del que realmente tienen lo que

impediría el proceso de subducción, por tanto, también se impediría el proceso de divergencia, la creación de océanos y cadenas plegadas tal y como sucede en la luna.

Sin embargo, la corteza de la tierra no solo tiene desplazamientos horizontales sino también movimientos en la vertical que pueden alcanzar una magnitud de 15km, los suficientes como para crear elevadas cadenas plegadas y depresiones en las cuales se pueden acumular potentes prismas sedimentarios.

Aunque aún no se conoce las fuerzas causantes de la subsidencia a detalle, lo que si se conoce en la actualidad son los principales mecanismos por los cuales se pueden generar estas deformaciones (Arche 2010).

### **2.2.5.3. CAMBIO DE NIVEL DEL MAR**

El mar tiene un nivel relativo que es la distancia entre la superficie del agua y el fondo, que está sometido a cambios por la relación de aportes/subsidencia, si los aportes son mayores a la subsidencia el nivel del mar disminuye, mientras que si existe mayor subsidencia que aportes, el nivel del mar aumenta; levantamiento tectónico, cuando el fondo de un cuenca sedimentaria se encuentra sometida a levantamientos, el nivel del mar desciende, si los levantamientos superan a la batimetría se produce emersión. Cambios eustáticos, son cambios en el nivel del mar a nivel mundial, causado por glaciares, eventos tectónicos, colisión de placas, crecimiento o expansión de las dorsales, avance del mar a otras regiones (Vera 1994).

#### **2.2.5.3.1. Secuencias Regresivo-Transgresivas (Secuencias Estratigráficas Genéticas)**

Según Galloway (1989), este tipo de secuencias son acumulaciones de sedimentos que registran episodios de construcción (outbuilding) y rellenos sedimentarios, limitadas por etapas de inundación del margen de la cuenca. De modo que las secuencias estratigráficas genéticas se encuentran limitadas por superficies de máxima inundación que registran la zona deposicional que se produce sobre la mayor parte de la plataforma trasgredida y el talud que se encuentra adyacente durante alguna inundación marina.

Este tipo de secuencias se subdividen en componentes de “offlap y “onlap”.

Galloway (1989) menciona que los componentes “offlap” están constituidos por: Facies fluviales y de bahía-lagoon que simbolizan la agradación de la llanura costera; Depósitos costeros progradacionales; Talud agradacional-progradacional

Y los componentes de “onlap” (transgresivos) se representan por: Facies costeras y de plataforma retrabajadas durante el retroceso de una línea costera; Secuencias de facies resedimentadas al pie del talud.

Las superficies limitantes de las secuencias estratigráficas Regresivo-transgresivas son las de máxima inundación que se registran porque no hay presencia de aportes clásticos ni en la plataforma ni en el talud.

#### **2.2.5.3.1. Secuencias Transgresivo-Regresivas**

Según Johnson (1985). Las secuencias transgresivo-regresivas son ciclos en donde las rocas sedimentarias se depositan entre la parte inicial de un evento profundizante y el inicio del próximo evento profundizante de similar escala. Estos eventos son atribuidos a un origen eustático debido a su gran continuidad lateral, lo que las independiza de las variaciones de subsidencia locales.

En base a las labores del Triásico y Jurásico de Embry y Johannessen (1992) se define las secuencias transgresivo regresivas como aquellas limitadas por discontinuidades subaereas, que están asociadas a una superficie regresiva de erosión, formada durante una bajada del nivel del mar y que se revelan hacia la cuenca por superficies de transgresión (marcando el paso regresivo-transgresivo).

Las secuencias transgresivo regresivas contienen una superficial de inundación máxima que sirve para dividir estas secuencias en un cortejo transgresivo.

#### **2.2.6. CUENCAS SEDIMENTARIAS**

Son superficies terrestres en las que se han podido acumular grandes cantidades de sedimentos durante un largo intervalo de tiempo, todas las cuencas sedimentarias tienen límites definidos. Las cuencas sedimentarias implican la existencia de áreas



adyacentes sometidas a denudación y que constituyen el medio generador de la cuenca, en otras palabras, las áreas a partir de las cuales proceden los materiales que se depositan en la cuenca. La existencia de la cuenta depende de las actividades, tectónica, subsidencia y elevación de la zona de aportes.

Se pueden distinguir los siguientes tipos de cuencas: Las cuencas activas, en las cuales se ha depositado materiales y sigue depositándose en la actualidad; cuencas inactivas, en las cuales ya no se produce sedimentación y los estratos están levemente deformados; y las cuencas fuertemente deformadas, donde el material depositado forma cadenas montañosas y la reconstrucción de la cuenca es más compleja (Vera 1994).

### **2.2.7. FACIES SEDIMENTARIAS**

Hace mucho tiempo, los geólogos se dieron cuenta de que cuando trazaban una capa de sedimento o roca sedimentaria lateralmente, las capas cambiaban en composición, textura o ambas. Se produjeron cambios como resultado de la operación simultánea de diferentes procesos en entornos de depósito adyacentes. Por ejemplo, la arena puede depositarse en un entorno marino cercano a la costa de alta energía, mientras que los sedimentos de lodo y carbonato se acumulan simultáneamente en los entornos marinos adyacentes de baja energía adyacentes lateralmente. La deposición en cada ambiente produce facies sedimentarias, cuerpos de sedimentos que poseen atributos físicos, químicos y biológicos distintivos.

Muchas rocas sedimentarias en el interior de los continentes muestran una clara evidencia de deposición en ambientes marinos. Las capas de roca, por ejemplo, consisten en facies de piedra arenisca que se depositó en entornos marinos cercanos a la costa. Los geólogos explican esta secuencia vertical de facies por deposición durante un momento en que el nivel del mar aumentó con respecto a los continentes. A medida que aumenta el nivel del mar, la costa se mueve hacia el interior, dando lugar a una transgresión marina, y los entornos de depósito paralelos a la costa migran hacia la tierra. Como resultado, las facies costa afuera se superponen sobre las facies cercanas a la costa, lo que explica la sucesión vertical de las facies sedimentarias. A

pesar de que el entorno cercano a la costa es largo y estrecho en cualquier momento en particular, la deposición se produce continuamente a medida que el entorno migra hacia la tierra. El depósito de arena puede tener decenas a cientos de metros de espesor, pero tiene dimensiones horizontales de longitud y anchura medidas en cientos de kilómetros.

Lo contrario de una transgresión marina es una regresión marina. Si el nivel marino cae con respecto a un continente, la costa y los entornos paralelos a la costa se mueven hacia el mar. La secuencia vertical producida por una regresión marina tiene facies del entorno cercano a la costa superpuestas sobre facies de entornos marinos. Es importante comprender las transgresiones y regresiones marinas y las secuencias de facies resultantes de estos eventos (Monroe y Wicander 2015).

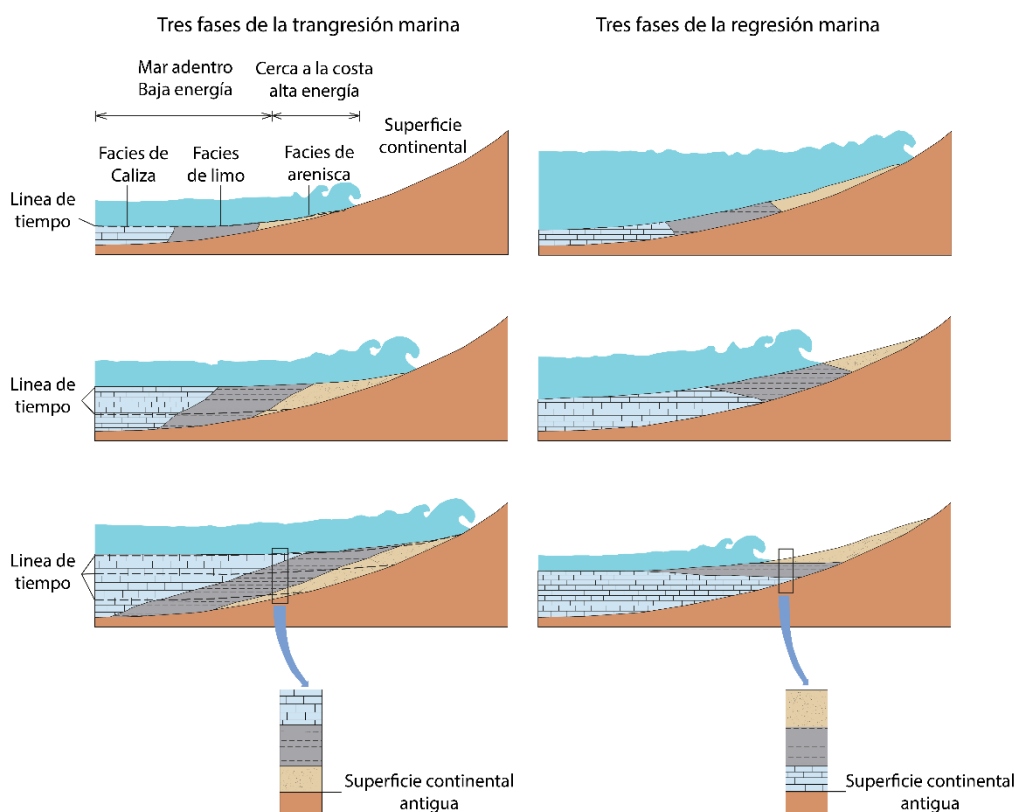


Figura 1. Se muestra el proceso de regresión y transgresión según el nivel marino donde se diferencian las distintas facies rocosas (Monroe y Wicander 2015).

### **2.2.8.1. TIPOS DE FACIES**

Las facies sedimentarias se dividen de acuerdo al tipo de propiedades y a la escala de observación estas son:

#### **2.2.8.1.1. LITOFACIES**

Son utilizadas para aludir exclusivamente a los aspectos litológicos y no paleontológicos de un grupo de estratos de manera correlativa para las condiciones físico-químicas, que reinaron durante la depositación (Vera 1994).

#### **2.2.8.1.2. BIOFACIES**

Esta terminología es complementaria ya que se refiere a los aspectos paleontológicos y condiciones biológicas predominantes durante la depositación. Así es como se puede hablar de facies de gasterópodos, fáciles de radiolarios (Vera 1994).

#### **2.2.8.1.3. MICROFACIES**

Esta terminología es utilizada para definir al conjunto de características litológicas y biológicas observable a la lupa y preferentemente al microscopio, este término fue introducido en la búsqueda de hidrocarburos donde se analiza las condiciones de sedimentación que pueden generarlos. (Vera 1994)

#### **2.2.8.1.4. FACIES DE CARBONATOS**

No está clara la clasificación de uso general de las facies de carbonatos. La nomenclatura propuesta por Vera (1993) consta en que cada tipo de facies debe tener una letra mayúscula alusiva al tipo textural: Siguiendo la clasificación de Dunham (1962) la cual difiere con los diferentes tipos de calizas arrecifales de la clasificación de Embry y Klovan (1971).

### **2.2.8.2. ASOCIACIÓN DE FACIES**

La asociación es la distribución ordenada de varias faciess genéticamente ordenadas, y que deben cumplir dos puntos, el primero es que sean facies que se encuentren juntas, el segundo es que estén genéticamente relacionadas.

Una facies individual tiene poco valor, sin embargos, una secuencia de facies puede aportar mucha información sobre el medio sedimentario y de esta manera se podría reconstruir por comparación con los actuales medios, el historial de un material rocoso.

Según la posición de los cambios de facies con respecto a la superficie de estratificación se puede reconocer tres tipos de cambios de facies: el primero son los cambios laterales de facies, el segundo tiene que ver con los cambios verticales de facies y el tercero, con los cambios oblicuos de facies, en cada uno de ellos se puede hablar de cambios graduales y bruscos de facies sedimentarias (Vera 1994).

### 2.2.10. LEY DE WALTHER

Mencionada anteriormente en los principios estratigráficos, Walther (1894) menciona, las facies que se encuentran superpuestas, también se encuentran yuxtapuestas con el mismo orden, esta ley se cumple en condiciones de sedimentación estacionarias, es decir, donde los aportes son equivalentes a la depresión generada por elevar el nivel del mar.

En la naturaleza son muy pocas las veces que se cumplen las condiciones de sedimentación estacionaria, siendo más frecuente que los aportes superen a la acomodación y las facies continentales avancen mar adentro, dando secuencias grano crecientes o negativas (regresivas); por el contrario que los aportes sean menores que la acomodación y los litotopos marinos avancen hacia el continente dando secuencias granodecrescientes o positivas (transgresivas).

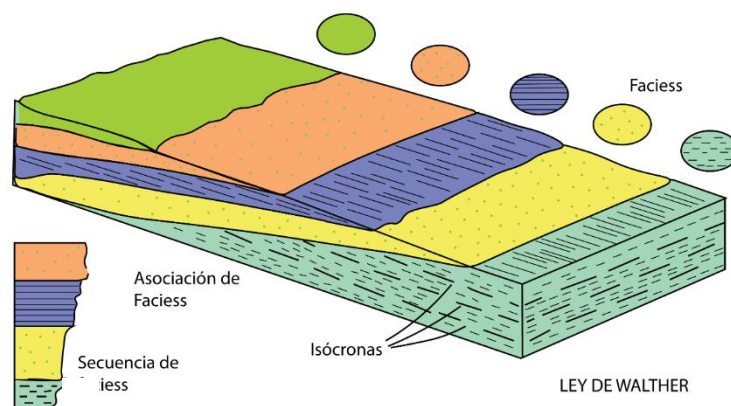


Figura 2: Aplicación de la Ley de Walther (Vera, 1994)

## **2.2.11. SECUENCIAS DE FACIES**

Son las sucesiones verticales que reflejan la ordenación temporal de las facies en dispositivos sedimentarios e intervalos de tiempo en los que se cumple la ley de Walther. Para poder diferenciar las secuencias de facies en una sección estratigráfica se utiliza el análisis secuencial el cual consiste en un sistema simple de representación gráfica en la que se muestra la distribución vertical de todas las facies, ordenadas según la energía del medio, de mayor a menor, que en caso de los materiales detríticos es de mayor a menor tamaño de grano. Se define como secuencia tipo a la secuencia elemental, virtual o real, que se repite en una sucesión estratigráfica y que comprende todas las facies presentes en el orden en el que aparecen en una sección estratigráfica (Vera 1994).

### **2.2.11.1. TIPO DE LAS SECUENCIAS DE FACIES**

Los tipos de secuencias de facies se definen a partir del análisis de facies.

**Secuencias granocrecientes.** Son las que localizan el techo de facies de grano medio a más grueso, es decir los espesores tienen un ordenamiento de estratos con valores crecientes hacia el techo, también son conocidos como secuencias negativas (Lombard, 1956).

**Secuencias granodecrescentes.** Son secuencias que en la parte techo localizan facies de grano más fino, es decir se aprecia disminución de los espesores de los estratos hacia el techo, también se le conoce como secuencias positivas (Lombard, 1956).

**Secuencias de somerización.** Son secuencias que en localizan hacia el techo facies de somerización, pero es necesario tener datos de batimetría para poder evaluarlas.

**Secuencias de profundización.** Secuencias que hacia la parte techo presentan facies más profundas, y que también es necesario tener datos de batimetría para poder evaluarlas.

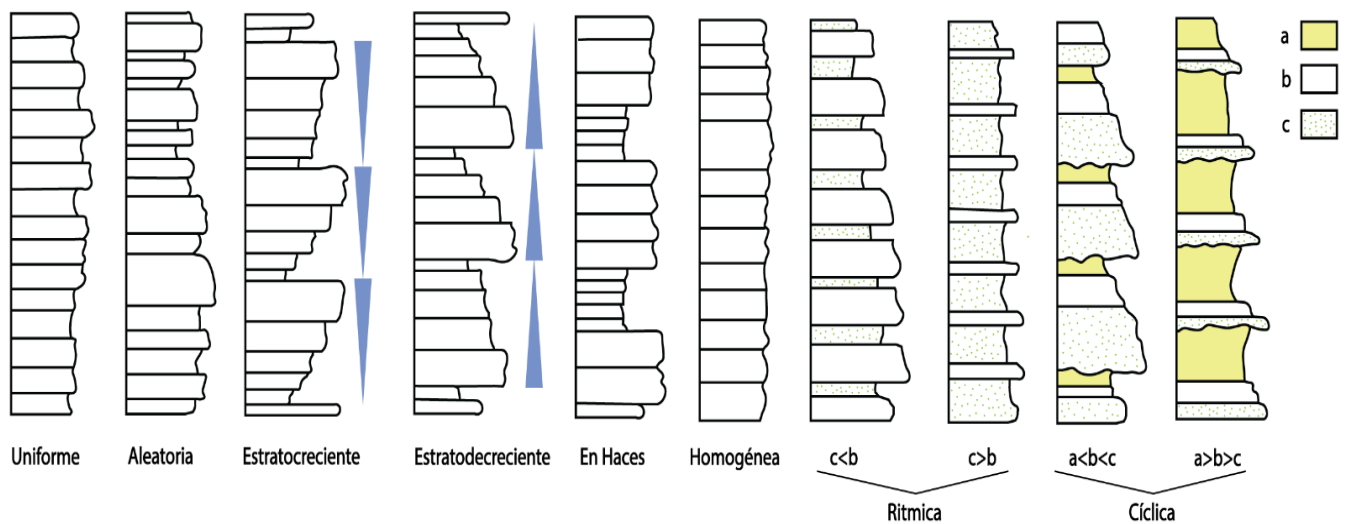


Figura 3: Tipos de secuencias de facies y asociación de estratos de acuerdo a la distribución de espesores (Vera, 1994).

### 2.2.11.2. MODELOS DE FACIES

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

### 2.2.12. SECCIONES ESTRATIGRÁFICAS

Son las sucesiones cronológicas de las unidades estratigráficas presentes en una región o área de estudio, ordenadas en el orden en el que ocurrió su depositación, en otros terminas son representaciones gráficas a escala de la totalidad de las unidades estratigráficas presentes en determinada área ordenadas temporalmente.

### 2.2.13. CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA

La correlación estratigráfica es una de las técnicas de mayor interés en estratigrafía y consiste en comparar dos o más secciones estratigráficas, de intervalos de tiempos semejantes, estableciendo equivalencias entre los niveles de estratificación reconocibles en cada una de las secciones (Vera 1994).

Las correlaciones estratigráficas entre dos o más secciones locales relativamente cercanas entre sí, permiten reconstruir la geometría de las unidades litoestratigraficas, valorar su posición en el tiempo y conocer sus cambios laterales. Las correlaciones

entre secciones estratigráficas más distantes, pero dentro de una misma cuenca sedimentaria ayudan a realizar el análisis estratigráfico de la cuenca incluido el estudio paleogeográfico de la misma.

#### **2.2.13.1. LITOCORRELACIÓN**

También llamada litoestratigrafía o correlación litológica, pretende demostrar la correspondencia del carácter litológico y posición litoestratigráfica, para poder realizar este tipo de correlación se comparan las unidades litoestratigráficas presentes en cada una de las secciones estratigráficas y los niveles de litologías especiales dentro de las mismas.

Está basada en el estudio de los cambios litológicos bruscos y en la presencia de algunos niveles de litologías especiales detectables a simple vista, tomando en cuenta las características litológicas de las unidades rocosas (Arellano 2004).

#### **2.2.14. ROCAS SEDIMENTARIAS CARBONATADAS**

Las rocas carbonatadas son llamadas así porque en su composición contienen minerales del grupo de los carbonatos; principalmente son divididas en calizas, compuestas principalmente por calcita y dolomías, compuestas principalmente por dolomitas. Las rocas carbonatas representan entre un 20 a 25 por ciento de todas las rocas sedimentarias del registro geológico. Las calizas presentan variadas texturas, estructuras y fósiles que brindan importante información acerca de los antiguos ambientes marinos, condiciones paleoecológicas y la evolución de la vida marina a través del tiempo.

Así tenemos a la calcita con bajo contenido de magnesio conteniendo menos de 4% de carbonato de magnesio y a la calcita con alto contenido de magnesio conteniendo más de 4% de carbonato de magnesio.

Tenemos también a las margas que se componen de carbonatos y arcillas, estas se dividen en margas arcillosas, margas y margas calcáreas, su denominación varía según su composición; normalmente los carbonatos son presentados como calcitas, a veces dolomitas; componentes adicionales pueden ser cuarzo, mica y otros

compuestos carbonosos. La marga frecuentemente lleva nódulos de yeso, calcita y pirita, es de color gris claro hasta oscuro, café o verdoso y frecuentemente contiene pequeños fósiles.

Las rocas carbonatadas se clasifican en función a los elementos texturales y la fábrica que la componen (Boggs 2006). Existen diferentes clasificaciones que veremos a continuación.

#### **2.2.14.1. CLASIFICACIÓN SEGÚN FOLK (1962)**

El esquema de clasificación de Folk se estableció específicamente como un sistema para clasificar a las calizas de manera similar a la clasificación de areniscas. La premisa detrás del esquema es que las proporciones relativas de micrita (exudación de calcita con granos de 1 a 4 micras de diámetro) y esparita reflejan el grado de clasificación, es decir el régimen hidráulico en el momento de la deposición.

Las clases dentro de la clasificación de Folk se definen sobre la base de la naturaleza de los granos (alocuímicos) y el material intersticial (ortocuímicos). Se reconocen cuatro tipos de alocuímicos (intraclastos, ooides, bioclastos y peloides) y dos categorías de material intersticial (micrita y esparita).

Así la clasificación de Folk comprende cuatro tipos generales de piedra caliza. Las calizas con mayor de diez por ciento de granos (alocuímicos) cementadas con calcita esparítica y con ausencia de micrita son denominadas rocas alocuímicas esparíticas. Calizas que contienen más de diez por ciento de material alocuímico junto con una matriz micrítica se definen como rocas alocuímicos microcristalinas (podría haber presencia de esparita subordinada); cuando la roca caliza está dominada por micrita y menos del 10% de material alocuímicos esta es denominada roca microcristalina y finalmente las calizas compuestas de estructuras de crecimiento orgánico in situ como el coral, se etiquetan como biolititas con un prefijo que define el organismo de unión.

Folk en su obra original de 1959 subdividió estos cuatro tipos de calizas principales en veintidós clases sobre la base del tamaño medio y la abundancia relativa de intraclastos, ooides, bioclastos y peloides.



Pero años más tarde el 1962 propuso una modificación al esquema de clasificación original con el fin con contar solamente con ocho clases secuenciales que representan un espectro gradacional y reflejas los regímenes de energía crecientes en el momento de la deposición (Folk 1962).

Este nuevo esquema ignora la composición de los granos, centrándose únicamente en el cambio en las proporciones relativas de micrita, esparita y granos, así como también del grado de clasificación y redondeo.

Encima de 66% de matriz de micrita				Subigual esparita y micrita	Encima de 66% cemento de esparita		
0-1% granos	1-10% granos	10-50% granos	>50% granos		Mala clasificación	Buena clasificación	Redondeado y desgastado
<b>Micrita y Dismicrita</b>	<b>Micrita bioclástica</b>	<b>Biomicrita escasa</b>	<b>Biomicrita rica</b>	<b>Biomicrita mal lavada</b>	<b>Bioesparita no clasificada</b>	<b>Bioesparita clasificada</b>	<b>Bioesparita redondeada</b>

Figura 4. Se muestra la segunda calificación de rocas calcáreas de Folk (1962), donde simplifica su obra original de veintidós clases a únicamente ocho clases

### 2.2.14.2. LA CLASIFICACIÓN DE DUNHAM (1962)

El sistema de clasificación original de Dunham se desarrolló con el objetivo explícito de proporcionar nombres de clase convenientes basados en texturas deposicionales que centren la atención en las propiedades texturales que son más significativas para interpretar el entorno de deposición. Específicamente, el entorno hidráulico, es decir, el nivel de energía, se evaluó en función de la retención de lodo dentro de la muestra. El esquema se desarrolló originalmente en base a observaciones tanto de secciones delgadas petrográficas como de muestras manuales de sedimentos y rocas naturales y artificiales (fabricadas en laboratorio).

Los criterios utilizados por Dunham para definir las clases son; la fábrica de soporte del sedimento original, la presencia o ausencia de lodo (definido como la fracción de menos de 20 micras de tamaño) y la evidencia de que los sedimentos estaban unidos

orgánicamente en el momento de la depositación. Las rocas carbonatadas lodo-soportadas que contienen menos de 10% de granos (según el recuento de puntos donde los vacíos intraparticulas se cuentan como granos) se denominan Mudstone. Cuando la litología del carbonato es lodo-sostenida pero el número de granos soportados por la matriz excede el 10% la textura se denomina Wackestone. Pasando a la fábrica grano soportada, una caliza grano soportada contiene uno por ciento o más de lodo es una Packstone, mientras que una roca con menor a uno por ciento de lodo es una Grainstone. Cuando hay alguna evidencia de que los sedimentos de carbonatos estaban unidos en el momento de la depositación se denomina a la roca como Boundstone. Mientras que si no se puede identificar la fábrica original deposicional del carbonato entonces es denominada Dolomita cristalina o Caliza cristalina. Dunham declara específicamente que, cuando corresponda, estos seis nombres de clase de textura están destinados a combinarse con modificadores que describen granos y mineralogía (Dunham 1962).

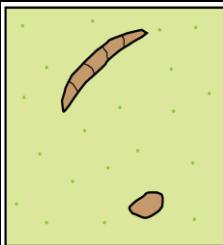

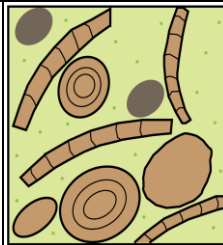
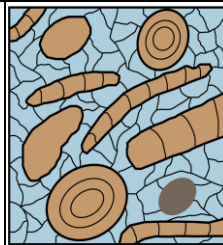
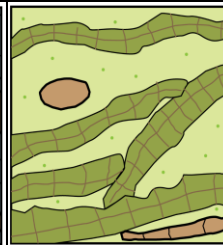
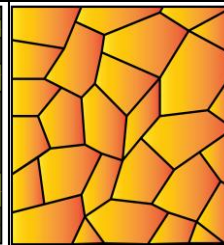
Textura deposicional es reconocible				Evidencian que los componentes originales fueron unidos juntos en el momento de la depositación	Textura deposicional no es reconocible
No evidencian que los componentes originales fueron unidos juntos en el momento de la depositación		Contiene < 1% de barro			
Contiene 1% o mas de barro (partículas de arcilla y limo fino < 20um)		Contiene < 1% de barro		Evidencian que los componentes originales fueron unidos juntos en el momento de la depositación	Textura deposicional no es reconocible
Barro - soportado		Grano - soportado			
Menores de 10% de granos	Mayores de 10% de granos	Grano - soportado	Grano - soportado	Evidencian que los componentes originales fueron unidos juntos en el momento de la depositación	Textura deposicional no es reconocible
<b>Mudstone</b>	<b>Wackestone</b>	<b>Packstone</b>	<b>Grainstone</b>		
					

Figura 5. Se muestra el esquema de clasificación textural de Dumham (1962), donde la división está determinada por el entorno hidráulico.

### **2.2.14.3. CLASIFICACIÓN DE EMBRY Y KLOVAN (1971)**

Embry y Klovan reconocieron que el esquema de clasificación de Dunham carecía de detalles con respecto a la descripción de las calizas orgánicamente ligadas (bound) y de grano grueso (grain). Para abordar este problema, estos autores propusieron la subdivisión de la categoría Boundstone de Dunham en base a la unión original del sedimento. Los sedimentos autóctonos desconcertados (baffled) orgánicamente se denominan Bafflestone; los sedimentos con soporte de matriz que se han estabilizado mediante incrustación y unión (binding) se etiquetan como bindstone y los sedimentos con un marco rígido (frame) de soporte fósil son nombrados Framestone.

La identificación de estas estructuras es problemática en escala limitada a una sección delgada y, por lo general, requiere un examen de las exposiciones a afloramiento o núcleo, cuando el modo de unión no es identificable se conserva el termino original de la clasificación de Dunham (boundstone).

Para abordar el problema de las calizas alóctonas de grano grueso donde más del el 10% de los componentes son mayores a los 2mm de diámetro, aquí los autores propusieron los términos Rudstone y Floatstone. Los Rudstones se definen como texturas donde los granos (mayores a 2 milímetros de diámetro) soportan al marco; las Floatstone son texturas soportadas por una matriz con granos mayores a 2 milímetros que parecen estar flotando en una matriz de grano más fino.

Al igual que en la clasificación de Dunham original, en esta también se pueden utilizar modificadores para mejorar la clasificación; además de esto también se redefinió la matriz de lodo como material con diámetro menor a 30 micras (Embry y Klovan 1971).

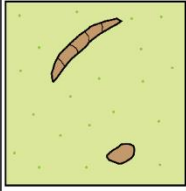
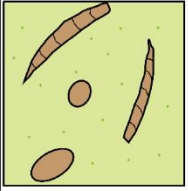
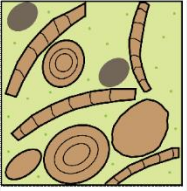
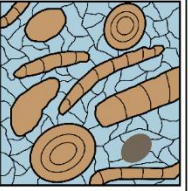

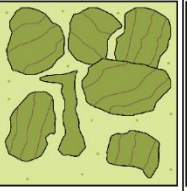
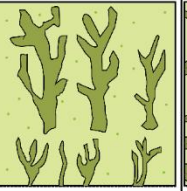
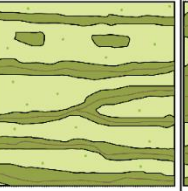
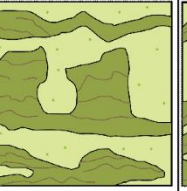
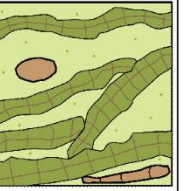
Calizas aloctonas, No evidencian que los componentes originales fueron unidos en el momento de la deposición						Calizas aloctonas, componentes originales fueron orgánicamente unidos durante la deposición							
Menos del 10% de los componentes son > 2mm				Más del 10% de los componentes son > 2mm									
Contiene barro calcareo (<30µm)			Sin barro calcareo										
Barro - soportado		Grano - soportado				Matriz - soportado		Grano soportado por fracciones de tamaño >2mm		Unido por organismos que actúan como deflectores (Baffle)	Unido por organismos que seincrustan y se enlazan. La roca está sostenida por la matriz.	Unido por organismos que construyen un marco rígido. La roca está soportada por el marco fósil.	Evidencian que los componentes originales fueron orgánicamente unidos en el momento de la deposición pero el modo y el enlazamiento no es identificable
Menos de 10% de granos (<30µm-2mm)	Más de 10% de granos (>30µm-2mm)												
<b>Mudstone</b>	<b>Wackestone</b>	<b>Packstone</b>		<b>Grainstone</b>		<b>Floatstone</b>		<b>Rudstone</b>		<b>Bafflestone</b>	<b>Bindstone</b>	<b>Framestone</b>	<b>Boundstone</b>
													

Figura 6. En esta clasificación textural se muestran cuatro divisiones agregadas a la obra original de Dunham, ya que esta carecía de detalles con respecto a la clasificación "bound" (Dunham modificado por Embry y Klovan 1971).

#### **2.2.14.4. CLASIFICACIÓN DE INSALACO (1998)**

El gran problema de la clasificación de Embry y Klovan (1971), es que es de naturaleza completamente interpretativa, por tanto, es inconsistente con la terminología puramente descriptiva del esquema original de Dunham de 1962. Al reconocer esta discrepancia Insalaco (1998), propuso una clasificación modificada para la fábrica alóctona y autóctona que es en base descriptiva, aunque su esquema fue desarrollado para clasificar específicamente los corales escleractinianos también se utiliza para describir distintas calizas producidas por variedad de organismos.

Las categorías de las modificaciones de este nuevo sistema se definen sobre la base de una forma de crecimiento que contribuye con más del 60% del volumen esquelético total de la roca autóctona. Las facies dominadas por colonias planas a tabulares con crecimiento dominante en el plano horizontal y una relación de ancho y altura entre 5:1 y 30:1, se denominan Platestones. Cuando las colonias son más delgadas y más laminares (relación de ancho/alto >30:1) entonces se emplea el término sheetstone. Cuando el crecimiento de vertical de la colonia es dominante, con poco crecimiento lateral entonces se llamará Pillarstone. Las colonias masivas en forma de domo e irregulares que exhiben crecimiento en todas direcciones forman la categoría denominada Domestone. Donde ninguna forma de crecimiento individual domina el volumen esquelético de la roca autóctona, entonces se adopta el nombre de Mixstone.

Para facies alóctonas, los términos Floatstone y Rudstone de Embry y Klovan se redefinen como litofacies en la que más del 10% del material de arrecife bioclástico y litoclastico mide más de 1 centímetros (Insalaco 1998).





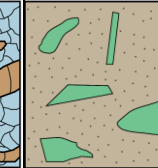
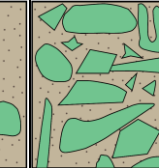
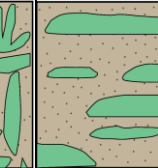
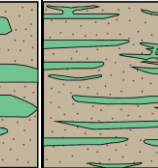
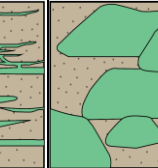
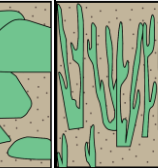
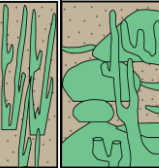
Calizas aloctonas - no evidencian que los componentes original es fueron unidos juntos al momento de la depositación						Calizas autoctonas - Las facies estan dominadas por un tejido de crecimiento in situ y un crecimiento posicional de esqueletos de organismos calcareos					
Menos del 10% de los componentes son < 2mm				El tejido deposicional está dominado por material arrecifal bioclastico y litoclastico con mas de 10% de los fragmentos >1cm de tamaño		Las formas de crecimiento constituyen mas del 60% del total del volumen esquelético del colar				Ninguna forma de crecimiento domina el volumen esquelético del coral	
Contiene barro calcareo (<30um)			Sin barro calcareo			Colonias laminadas a tabulares, el crecimiento en el plano horizontal domina (W:H ratio 5:1 - 30:1)		Colonias laminares, el crecimiento en el plano horizontal domina enormemente (W:H ratio >30:1)	Colonias masivas dómicas e irregulares, crecimiento en todas las direcciones de manera libre		Componentes de crecimiento predominantemente verticales, crecimiento lateral restringido
Barro soportado		Grano - soportado				Matriz soportado		Grano soportado por los componentes >1cm			
Menos de 10% de granos (>30um - 2mm)		Mas de 10% de granos (>30um - 2mm)									
<b>Mudstone</b>	<b>Wackestone</b>	<b>Packstone</b>	<b>Grainstone</b>	<b>Floatstone</b>	<b>Rudstone</b>	<b>Platestone</b>	<b>Sheetstone</b>	<b>Domestone</b>	<b>Pillarstone</b>	<b>Mixstone</b>	
											

Figura 7. Se muestra la clasificación textural de Embry y Klovan modificada por Insalaco según la fábrica alóctona y autóctona, ésta clasificación es más utilizada en corales, pero también puede ser utilizada para describir calizas producidas por variedad de organismos (Dunham modificado por Insalaco 1998)

#### **2.2.14.5. CLASIFICACIÓN DE WRIGHT (1992)**

Wright propuso una modificación adicional del esquema de clasificación original de Dunham con la intención principal de introducir más detalles en la descripción y clasificación de las texturas diagenéticas.

Así la roca caliza dominada por cementos marinos fibrosos y carente de grano o marco biogénico in situ se denomina Cementstone. Los cementos marinos en las Cementstone son típicamente reemplazados o recristalizados, pero siguen siendo reconocibles; las texturas deposicionales y biológicas permanecen inalteradas.

Cuando la solución de presión relacionada con el entierro de la fábrica grano soportada resulta en una sutura parcial en los contactos de grano como microestilitas, se utiliza el nombre de greinstone condensasa. El desarrollo continuo de las microestilitas producirá una fábrica en la cual la mayoría de granos se saturarán para formar una textura llamada fitted grainstone, o grainstone ajustada. Ambas texturas "grainstone" diagenéticas no son principalmente obliterativas. La obliteración completa de la fábrica de las calizas ya sea a través de la recristalización, el reemplazamiento o una combinación de ambos, producirá una textura esparítica llamada sparstone (cristales  $>10 \mu\text{m}$  de diámetro) o microsparstone (tamaño de cristal  $\leq 10 \mu\text{m}$ ).

Además Wright (1992), propuso una redefinición del tamaño de grano como material del lodo, con un diámetro menor a  $62 \mu\text{m}$ , también propuso que el nombre mudstone acuñado por Dunham sea cambiado por el término calcimudstone y que englobe a todo material litificado compuesto de más de 90% por volumen, limo y calcita arcillosa.

Calizas aloctonas - no evidencian que los componentes original es fueron unidos juntos al momento de la deposición						Calizas autoctonas - Las facies estan dominadas por un tejido de crecimiento in situ y un crecimiento posicional de esqueletos de organismos calcareos					
Menos del 10% de los componentes son < 2mm				El tejido deposicional está dominado por material arrecifal bioclastico y litoclastico con mas de 10% de los fragmentos >1cm de tamaño		Las formas de crecimiento constituyen mas del 60% del total del volumen esquelético del colar				Ninguna forma de crecimiento domina el volumen esquelético del coral	
Contiene barro calcareo (<30um)			Sin barro calcareo								
Barro soportado		Grano - soportado		Matriz soportado		Grano soportado por los componentes >1cm		Colonias laminadas a tabulares, el crecimiento en el plano horizontal domina (W:H ratio 5:1 - 30:1)			Colonias laminares, el crecimiento en el plano horizontal domina enormemente (W:H ratio >30:1)
Colonias masivas dómicas e irregulares, crecimiento en todas las direcciones de manera libre								Componentes de crecimiento predominantemente verticales, crecimiento lateral restringido			
Menos de 10% de granos (>30um - 2mm)	Mas de 10% de granos (>30um - 2mm)										
<b>Mudstone</b>	<b>Wackestone</b>	<b>Packstone</b>	<b>Grainstone</b>	<b>Floatstone</b>	<b>Rudstone</b>	<b>Platestone</b>	<b>Sheetstone</b>	<b>Domestone</b>	<b>Pillarstone</b>	<b>Mixstone</b>	

Figura 8. Se muestra la calificación textural de Wright donde divide a las texturas calcáreas en tres segmentos importantes, deposicional, biológico y diagenético (Dunham modificado por Wright 1992).



## **2.2.15. ROCAS SEDIMENTARIAS CLÁSTICAS**

Las rocas sedimentarias clásticas o detríticas consisten en detritos, los cuales son partículas sólidas de rocas preexistentes, esto significa que estas rocas están compuestas por fragmentos o partículas conocidas como clastos, compactados entre sí o unidos por una matriz (Monroe y Wicander 2015).

El termino detrito es mayormente utilizado para procesos de transporte de sedimentos, se pueden generar rocas detríticas en zonas de deformación de la corteza terrestre, llamadas rocas cataclásticas.

### **2.2.15.1. CLASIFICACIÓN DE ROCAS SEDIMENTARIAS CLÁSTICAS**

Para una correcta clasificación de rocas clásticas se toma en cuenta la composición mineralógica de los granos y la textura que incluye, el tamaño, la forma, la orientación y empaquetamiento de los granos.

Existen diversas escalas de clasificación que consideran granulometría y composición, la escala granulométrica más utilizada en el mundo es la de Wentworth (1922), la cual propone cuatro términos básicos para los sedimentos: gravas, arenas, limos y arcillas.

Para la presente tesis se consideró la escala de Wentworth con la modificación de Teruggi (1982), científico argentino, en la que se incluye por primera vez la nomenclatura correcta en español de los clastos, sedimentos y las sedimentitas según su tamaño granulométrico.

Teruggi (1982) menciona que las pelitas estas compuestas por microclastos que van desde los 0.00025 milímetros hasta los 0.062 milímetros de diámetro, las psamitas estas compuestas por mesoclastos que van desde los 0.062 milímetros de diámetro hasta los 4 milímetros de diámetro, y las psefitas constituidas por megaclastos que van desde los 4 milímetros hasta los 512 milímetros de diámetro, tal como muestra la figura 9.

En el caso de encontrar una sedimentita que este conformada por distintos tamaños granulométricos se debe utilizar un nombre intermedio tal y como se muestra en la clasificación de Correns (1949) tal como se muestra en la figura 12.

		CLASTO		SEDIMENTO		SEDIMENTITA										
mm			BLOQUE		AGLOMERADO		AGLOMERADO		mm							
512									512							
256	PSEFITAS	MEGACLASTO	CANTOS RODADOS	GRAVA - CASCAJO		GRUESA	CONGLOMERADO - BRECHA	GRUESA	256							
128										GUIJON	MEDIANA	MEDIANA	128			
64										GUIJARRO				FINA O GRAVILLA	FINO	64
32										GUIJA						
16		MUY GRUESA	MUY GRUESA	16												
8					GRUESA	GRUESA	8									
4								MEDIANA	MEDIANA	4						
2	GRANULO										FINA	FINA	2			
1	GRANO	MUY FINA	MUY FINA	1												
1/2					ARENA	ARENISCA	0.5									
1/4								LIMO	LIMOLITA	0.25						
1/8											ARCILLA	ARCILLITA	0.125			
1/16	PARTÍCULA	GRUESO	GRUESA	0.062												
1/32					MEDIANO	MEDIANA	0.031									
1/64								FINO	FINA	0.016						
1/128											MUY FINO	MUY FINA	0.008			
1/256	GRUESA	GRUESA	0.004													
1/512				MEDIANA	MEDIANA	0.002										
1/1024							FINA	FINA	0.001							
1/2048										MUY FINA	MUY FINA	0.0005				
1/4096			0.00025													

Figura 9. Clasificación de rocas clásticas según Teruggi (1982), modificado de Wentworth (1922).

### **2.2.15.2. CLASIFICACIÓN DE LAS ARENISCAS**

La clasificación para este tipo de rocas ha sido cuestionada y cambiada por distintos autores por a lo largo de los años, tanto así que podemos encontrar más de cincuenta clasificaciones de areniscas sobre la composición de los clastos, el porcentaje de matriz, la composición y porcentaje de la matriz, el grado de alteración, las estructuras sedimentarias (Krynine 1948).

Pero en la práctica se han demostrado dos principales aspectos para la clasificación de areniscas, primero, la composición de clastos, que es utilizada como una guía de procedencia, además es necesario resaltar que la composición de los clastos no solo depende del área de la fuente, sino que también existen modificaciones en la composición por un prolongado transporte; en segundo lugar, el porcentaje de matriz, que es considerado como un indicativo de la fluidez de las corrientes que depositan o depositaron a las areniscas (Pettijohn et al. 1987).

### **2.2.15.3. CLASIFICACIÓN SEGÚN PETTIJOHN (1987)**

En esta clasificación, la matriz es la que define el triángulo a utilizar, en primer lugar, si la matriz es menor a un 15 por ciento la roca que se va a clasificar pertenecerá a la familia de las arenitas que conforman el primer y más grande triángulo; en segundo lugar, si la matriz se encuentra en el rango de 15 por ciento y 75 por ciento la roca pertenecerá a la familia de grauvacas y, por último, si la matriz es mayor al 75 por ciento la roca pertenecerá a la familia de las limolitas, cuya clasificación es muy distinta. Después de identificar la cantidad de matriz se procede a analizar el tipo de grano y los componentes de estos (Cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos), y así poder determinar entre los cinco tipos de arenitas o los tres tipos de grauvaca, tal y como se muestra en la figura 10.

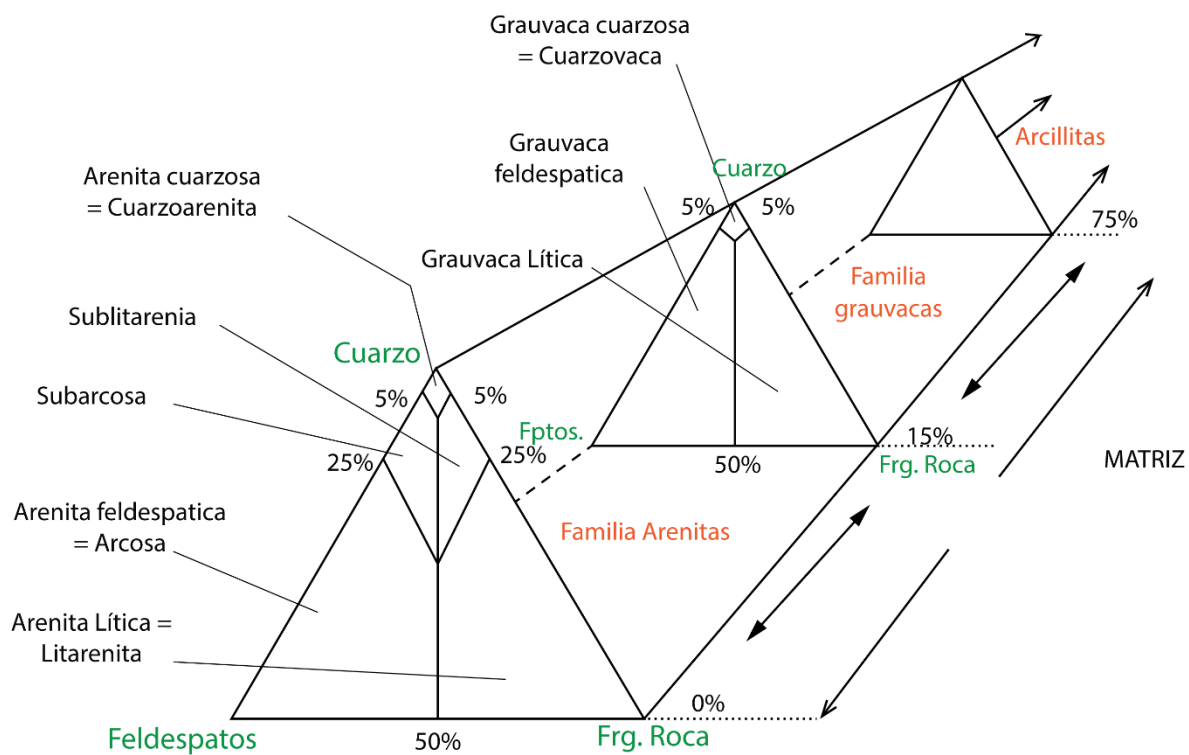
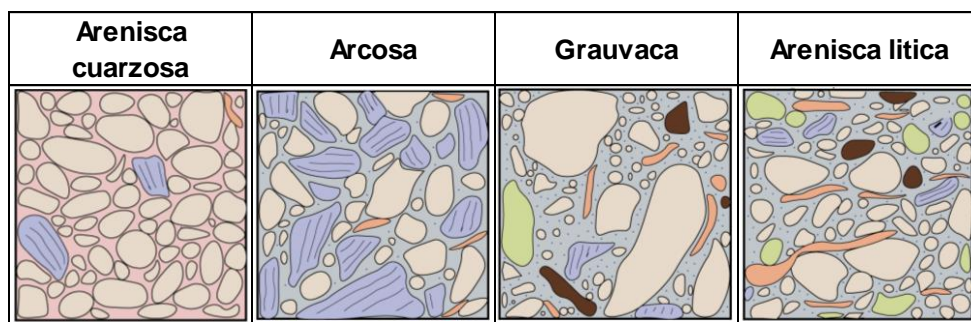


Figura 10. Esquema de la clasificación de areniscas de Pettijohn (1987).



Donde:

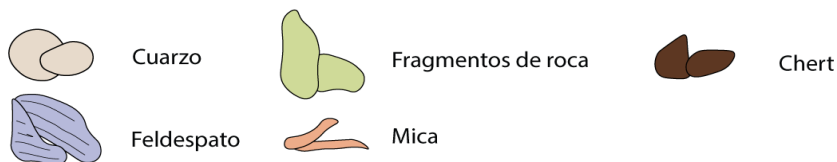


Figura 11. Ilustración de la clasificación de areniscas basado en Pettijohn (1987).

#### 2.2.15.4 CLASIFICACIÓN DE ROCAS CARBONATADO-DETRÍTICAS SEGÚN CORRENS (1949)

Muchas de las rocas sedimentarias se encuentran entrelazadas o combinadas entre sí por distintos procesos regresivos o transgresivos, por lo que Correns (1949) ideó una manera de clasificar a las rocas intermedias o carbonato detríticas.

Esta clasificación se centra en un triángulo de composición, donde los tres vértices se componen por Caliza, arenisca y limolita, dependiendo de la cantidad de cada uno se puede nombrar a la roca. Véase la figura 12.

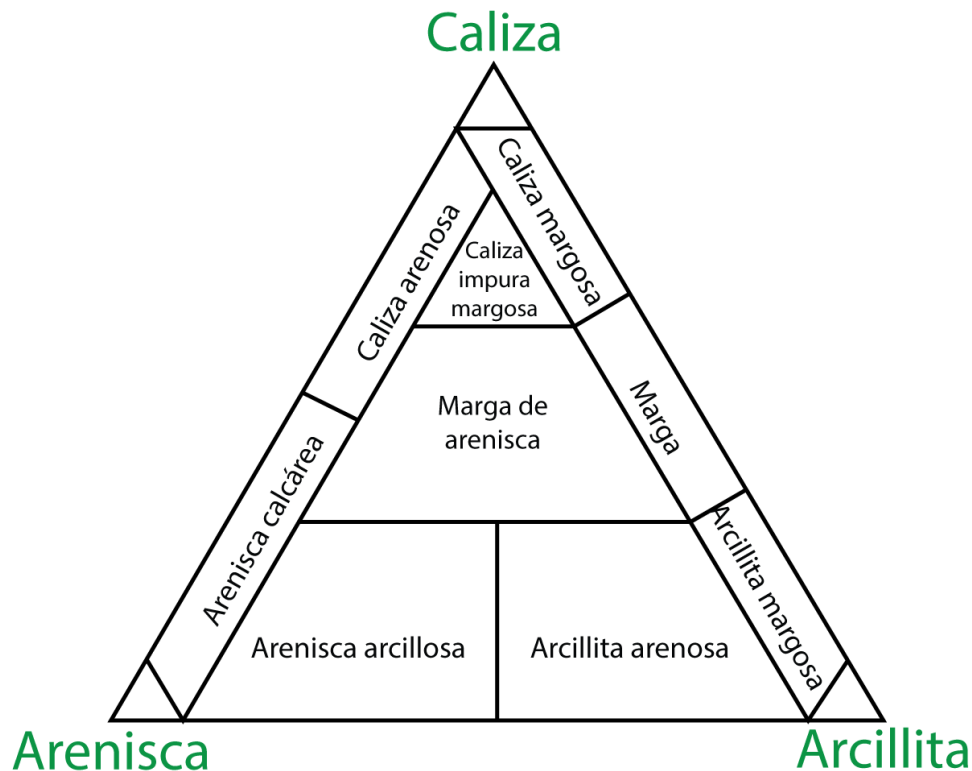


Figura 12. Triángulo de clasificación de rocas carbonato detríticas o intermedias basada en Correns (1949) utilizando la nomenclatura de Teruggi (1982).

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Alóctono:** También llamada aloctonía verdadera o posición secundaria, se da cuando hay transporte post muerte, es decir, cuando los organismos fósiles han sido transportadas distancias importantes desde el lugar donde murieron (Roger 1974).

**Aloquímico:** Término utilizado para designar los granos carbonaticos formados en la misma cuenca de sedimentación, incluye: fragmentos esqueléticos, oolitos, peloides, intraclastos (Folk 1962).

**Autóctono:** Es la condición de un organismo fósil que se encuentra en la posición y lugar de vida, crecimiento o desarrollo, esta condición ha sido llamada también, autoctonía verdadera o posición primaria (Roger 1974).

**Diagénesis:** Termino colectivo que involucra todos los cambios químicos, físicos y biológicos que tienen lugar después de la deposición de los sedimentos y durante y después dela litificación (Tarbuck et al. 2005).

**Esparita:** Cristales de calcita mayores a 4 micras de diámetro que en conjunto pueden formar una microsparstone o sparstone (Wright 1992).

**Erosión:** Se define como la remoción de materiales degradados de su área original por agua, viento, glaciares u olas (Monroe y Wicander 2015).

**Micrita:** El termino micrita es una contracción de las palabras calcita microcristalina, por sus términos en inglés, fue introducida por Folk (1959), y se refiere a carbonatos microcristalinos con tamaño menor a 4 micras.

**Ortoquímico:** Término utilizado en clasificación textural de calizas que incluye a la matriz micrítica y el cemento de calcita esparítico (Folk 1962).

**Sedimento:** Agregado suelto de sólidos derivados de la intemperie de rocas preexistentes o solidos precipitados por procesos químicos inorgánicos o extraídos por solución de organismos. (Monroe y Wicander 2015)

**Unidad litoestratigráfica:** Definido como un cuerpo de roca como una formación, definido únicamente por sus atributos físicos (Monroe y Wicander 2015).

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1. GEOGRÁFICA**

Las áreas de investigación se encuentran ubicadas al este de la ciudad de Cajamarca perteneciente al cuadrángulo de San Marcos 15g, delimitadas por las coordenadas del sistema de Unidad Técnica de Medida (UTM) Datum WGS-84 y está contenida dentro de los siguientes vértices: V1. 9205104, 782682; V2. 9204596, 785158; V3. 9204171, 784828; V4. 9204691, 782739 en el distrito de Llacanora.

##### **3.1.2. POLÍTICA**

Las áreas de investigación se encuentran, la primera ubicada entre el centro poblado de Santa Rosa y Chinchin en el distrito de Llacanora y la segunda ubicada en el centro poblado de Quelluacocha en el Distrito de Namora

##### **3.1.3. ACCESIBILIDAD**

Para poder acceder a la Formación Santa en el área de investigación se ubicaron los pueblos y centros poblados cercanos a las áreas de investigación, en el caso del distrito de Llacanora se localizaron los centros poblados de Santa Rosa y Chinchin, teniendo dos posibilidades de acceso a estos centros poblados, la primera por la carretera Baños del Inca – Llacanora de 5 kilómetros aproximadamente para acceder a Chinchin y 7 kilómetros aproximadamente para acceder a Santa Rosa lo que implica unos 30 minutos. en automóvil, la segunda posibilidad por la avenida Vía de evitamiento Sur a 9 kilómetros aproximadamente para acceder a Chinchin y 8 kilómetros aproximadamente para acceder a Santa Rosa lo que implica 35 minutos en

automóvil; en el distrito de Namora se ubica en el centro poblado de Quellaucocha a 10 kilómetros aproximadamente del distrito de Namora, a 1 hora y 30 minutos de la ciudad de Cajamarca en automóvil.

### **3.2. PROCEDIMIENTOS**

#### **3.2.1. ETAPA DE GABINETE**

Esta etapa consiste en la recopilación de información previa a realizar la investigación mediante libros, boletines informativos, revistas científicas, investigaciones relacionadas al tema, las cuales fueron recolectados principalmente del portal web del INGEMMET. y del repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca; también se obtuvo información de repositorios de otra universidades nacionales e internacionales.

Actualmente existe mucha información para poder determinar aspectos básicos de la investigación, como por ejemplo con la ayuda de imágenes satelitales del software Google Earth se obtuvo la ubicación geográfica exacta del área de investigación, los principales accesos, se logró identificar la topografía, además de los afloramientos rocosos; los centros poblados cercanos fueron identificados con ayuda Geo Perú(ex sayhuite), plataforma online donde se detallan los centros poblados y población dispersa existente en el territorio nacional que está vinculado al INEI, estos portales brindan información muy útil para la ubicación geográfica - política de la investigación, además sirve de ayuda en caso de algún imprevisto que puede ocurrir en el campo.

Una vez obtenidos los datos anteriores se elaboraron planos topográficos, satelitales y geológicos preliminares de la zona para poder continuar con la etapa de campo.

#### **3.2.2. ETAPA DE CAMPO**

Primeramente, con la ayuda de los planos e imágenes anteriormente recopilados, se realizó el reconocimiento fisiográfico de la zona, principalmente se realizó la zonificación de los afloramientos de la Formación Santa en los distritos de Llacanora y Namora, luego se tomaron mediciones de los principales afloramientos encontrados, se recolectaron muestras de roca para describir las características petrológicas y así poder identificar posteriormente las facies sedimentarias de la formación.



Además, en el proceso se realizaron observaciones y anotaciones necesarias para el desarrollo de la investigación.

### **3.2.3. ETAPA DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN**

Consiste la utilización de la data obtenida en campo, como la ubicación de puntos de medición y muestreo; descripción de las características petrológicas y los diagramas de identificación de rocas carbonatadas, así se puede obtener las distintas características de las facies sedimentarias de la Formación Santa, luego estas facies se plasman detalladamente en columnas estratigráficas, este resultado puede ayudar a posteriores investigaciones en la provincia de Cajamarca.

### **3.2.3. METODOLOGÍA**

La metodología según el objetivo es aplicada porque el problema está establecido y reconocido por lo cual se utiliza esta investigación para solventar preguntas específicas, es exploratoria y descriptiva, porque implica observar y describir las características petrológicas, transversal en el tiempo porque se realizó el estudio en un único momento temporal, el cual se resumen en la tabla 1

Tabla 1: Se sintetiza los tipos de investigación utilizados.

<b>Según su objetivo</b>	<b>Aplicada</b>
Según el nivel de profundización del objetivo	Exploratoria y descriptiva
Según su naturaleza	Cualitativa y cuantitativa
Según el grado de manipulación de variables	No experimental
Según el periodo	Transversal en el tiempo

Fuente: Adaptado de Rojas (2015).

#### **3.2.3.1. POBLACIÓN DE ESTUDIO**

Para el presente estudio fueron tomados los afloramientos de la Formación Santa en los distritos de Llacanora abarcando un área de 300 hectáreas, y Namora abarcando un área de 150 hectáreas.

### **3.2.3.2. MUESTRA**

Las estaciones de estudio en diferentes puntos donde la Formación Santa aflora en los distritos de Llacanora y Namora, y se obtuvieron los datos petrológicos y estratigráficos para la presente investigación.

### **3.2.3.3. UNIDAD DE ANÁLISIS**

Rocas sedimentarias clásticas y no clásticas de la Formación Santa que pueden ser reconocidas debido a: la litología que se encarga del estudio de las rocas que constituyen las Formaciones geológicas, texturas que permiten la identificación de las rocas y así poder clasificarlas, estructuras que son los cambios geométricos que constituyen un paquete sedimentario y el tiempo cronoestratigráfico, que ayudan a la ubicación temporal de los estratos rocosos.

## **3.3. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES**

Para la presente investigación se ha identificado las siguientes variables. Como variable dependiente a la Estratigrafía de Secuencias y esta depende de la Litología, Estructuras, Texturas y Tiempo cronoestratigráfico. Como se sintetiza en la tabla 2.

Tabla 2: Síntesis de las variables independientes y dependiente para la investigación.

<b>Independientes</b>	<b>Dependiente</b>
Litología	Estratigrafía de Secuencias
Estructura	
Textura	
Tiempo cronoestratigráfico	

### **3.3.1. TÉCNICAS**

#### **3.3.1.1. ELABORACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Para obtener la información de campo se elaboraron fichas de recolección de datos, las cuales permiten ubicar espacialmente zonas de medición de estratos y muestras

litológicas, además de describir sus características petrográficas y secuencias estratigráficas sedimentaria.

### **3.3.2. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS**

Los instrumentos utilizados en la presente investigación son:

Mapas geológicos al detalle por zona (escala 1 en 2500), obtenidos del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGENMET), para referenciación geológica.

Mapas topográficos por zona (escala 1 en 2500), para identificar zonas con pendientes altas, moderadas y bajas, esto ayudará a realizar una mejor ruta de campo a seguir.

Imágenes Satelitales obtenidas del SAS Planet y Google Earth, para la ubicación y referenciación de la zona de estudio.

Fichas de recolección de datos, utilizadas para la recolección de la información de campo.

Registro geológico, proveniente del previo análisis y recopilación de información.

Los equipos necesarios para la elaboración la presente investigación son:

GPS. Garmin eTrex 20, para la realización de una ruta, y marcación de coordenadas de puntos importantes de recolección de datos.

Libreta, para realizar bocetos y anotaciones adicionales a las efectuadas en las fichas de datos.

Brújula tipo Brunton, para medición de rumbo y buzamiento de los estratos.

Picota de Geólogo, necesaria para la obtención de muestras de roca.

Flexómetro de 5 metros, para la medición de estratos de manera detallada.

Wincha de 50 metros, necesaria para la medición general de estratos.

Lápiz de dureza imantado, para identificar la dureza de las rocas además ayuda a identificar presencia de minerales.

Lupa de 20 aumentos, es necesario observar las rocas con claridad para poder clasificarlas de manera correcta.

Protáctor (escala 1/25000), utilizado para marcas ubicación de puntos en los planos.

Tablero, para tener control y orden de los planos y realizar correctas anotaciones.

Colores, para realizar delimitaciones de facies y/o formaciones en campo.

Cámara digital 14 megapíxeles, para la toma de fotografías de campo y muestras.

Laptop, para el procesado de la información y la elaboración de tesis.

### **3.4. MARCO ESTRATIGRÁFICO**

En el Cretáceo inferior, la sedimentación tiene lugar en cuencas controladas por distintos movimientos verticales y oscilatorios ligados a fallamientos longitudinales provenientes de la tectónica Hercinica y a movimientos nevadianos que fueron separando bloques entre sí (Rivera et al. 1995).

Durante este sistema los mares fueron someros y se extendieron desde un área positiva en el margen Oeste hacia la Cordillera Oriental. En la parte occidental del mar interior se formaron diversas cuencas separadas por paleo-relieves, en las que diversas transgresiones y regresiones originaron cambios de facies horizontales y los movimientos oscilatorios originaron cambios verticales.

Especialmente en el norte, los mares debieron haber ingresado hacia la Cuenca Oriental depositando sobre la serie molásica una secuencia de facies deltaica (Rivera et al. 1995).

De esta manera en el Cretáceo inferior encontramos una serie clástica areno arcillosa con intercalaciones calcáreas; la Formación Santa según Rivera (1995), que suprayace a la Formación Chimú, en la zona centro y norte del Perú está compuesta por calizas y limolitas calcáreas abigarradas, seguidas de calizas negras con zonas margosas y limolitas oscuras fosilíferas, lo cual corresponde a un ambiente transgresivo de aguas someras, pero Lagos y Quispe (2012) en la zona de Cruz blanca y Namora. Cajamarca, identificaron que la Formación Santa está constituida por una

intercalación de arcillitas gris oscuras y limolitas calcáreas marinas transgresivas lo cual difiere de zonas del norte y centro del país. Así Herrera (2012) en la realización de la columna estratigráfica general de la región Cajamarca ratifica lo mencionado por Lagos y Quispe (2012). Ver figura 13.



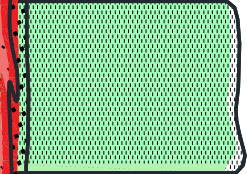
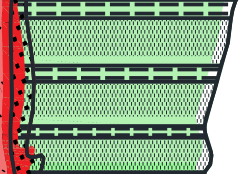
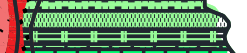
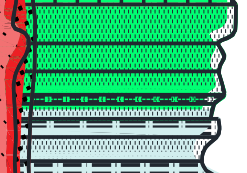
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	ESPESOR (m)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	
MEZOZOICO	CRETÁCICO	HOLOCENO	Dep. Fluviales y aluviales			Arenas, gravas.	
		INFERIOR	Grupo Goyllarisquisga	Formación Inca	150		Areniscas calcáreas y limolitas ferruginosas
				Formación Farrat	500		Areniscas blancas
				Formación Carhuaz	500		Areniscas rojizas y blancas intercaladas con lutitas grises
				Formación Santa	100-150		Lutitas grises
				Formación Chimú	30-600		Areniscas, lutitas y niveles de carbón en la parte inferior, principalmente cuarcitas en la parte superior
				JURACICO	SUPERIOR	Formación Chicama	500

Figura 13. Sección de columna tomada y modificada de Herrera (2012)

### 3.5. GEOLOGÍA LOCAL

#### 3.5.1. GRUPO GOYLLARISQUISGA

##### 3.5.1.1. FORMACIÓN SANTA

Según Benavides (1956), es una intercalación de limolitas, calizas margosas y areniscas gris oscuras, con un grosor que oscila entre 100 y 150 m. En la zona de Llacanora la Formación Santa presenta intercalaciones de Areniscas intemperizadas color grisáceo de gran espesor que oscilan entre 10 a 200 centímetros y limolitas pardas de pequeño espesor que oscilan entre 5 a 30 centímetros.

Los estratos tienen un rumbo de Norte  $120^{\circ}$  y un buzamiento de  $63^{\circ}$  hacia NorEste, presentando un tipo de contacto neto.

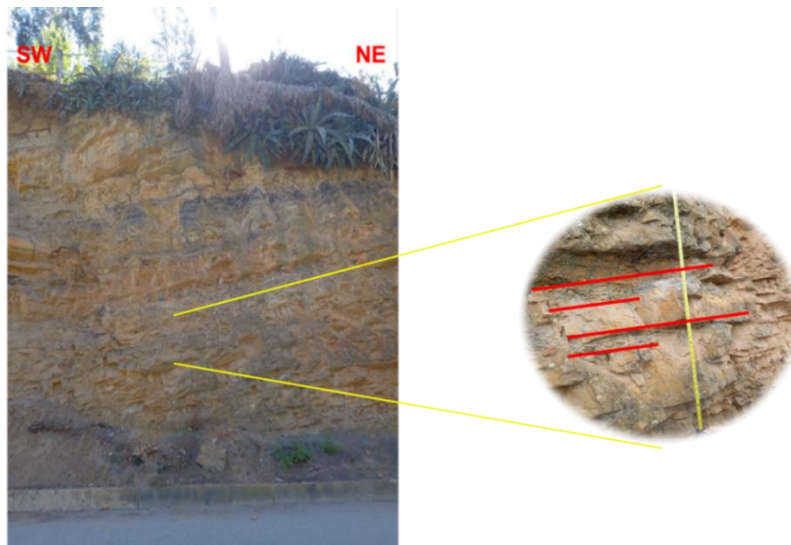


Foto 1: Talud en corte de carretera, donde se aprecia la Formación Santa comprendiendo intercalación de Areniscas grisáceas y limolitas blanquecinas.

### 3.6. ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

En cuanto a estructuras sedimentarias, se pueden observar similitud en ambas zonas, Llacanora y Namora; donde se hallan estructuras primarias inorgánicas como laminación paralela en limolitas:

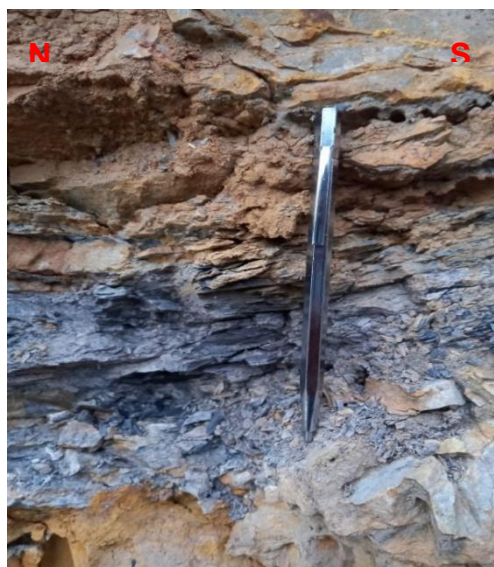


Foto 2: Estructura sedimentaria primaria, laminación paralela en limolitas.

En la zona Llacanora, junto a la carretera se observa estratificación paralela en areniscas y limolitas; además los estratos se encuentran casi verticales, así lo podemos observar en la siguiente fotografía.



Foto 3: Estratificación paralela en areniscas.

Además, a la mitad del primer recorrido al oeste de Llacanora encontramos estructuras lenticulares o nodulares en limolitas que también se localizan al norte de Namora.



Foto 4: Estructura sedimentaria primaria, estructura lenticular en limolitas.

### 3.7. DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA MACROSCÓPICA

Para realizar la descripción petrográfica de las muestras obtenidas en campo se utilizaron las clasificaciones para rocas sedimentarias de PettiJohn (1987); así mismo se clasifica las muestras clásticas según Pettijohn et al. (1987) y muestras intermedias según Correns (1949).

#### 3.7.1. ZONA DE LLACANORA

En esta zona se han realizado cuatro estaciones estratigráficas donde se encuentran areniscas, limolitas y arcillitas de las que se detalla su descripción en las siguientes tablas.

Tabla 3: Descripción petrográfica en la estación 01 en la zona de Llacanora.

<b>ESTACIÓN N° 01</b>			
<b>Ubicación</b>		<b>Formación</b>	<b>Tipo de roca</b>
<b>Norte</b>	9204707	Santa	Detrítica
<b>Este</b>	783557	<b>Localidad</b>	<b>Hoja</b>
<b>Cota</b>	2630	Llacanora	15g4
<b>Características</b>			
<b>Color superficie intemperizada</b>	Gris amarillento		
<b>Color de superficie fresca</b>	Gris		
<b>Oxidación</b>	Moderada		
<b>Dureza de granos</b>	5		
<b>Fractura</b>	Irregular		
<b>Reacción con HCL</b>	Nula		
<b>Nombre acuerdo a PettiJohn (1987)</b>		Arenisca cuarzosa	



Tabla 4: Descripción petrográfica en la estación 02 en la zona de Llacanora.


<b>ESTACIÓN N° 02</b>			
<b>Ubicación</b>		<b>Formación</b>	<b>Tipo de roca</b>
<b>Norte</b>	9204690	Santa	Detrítica
<b>Este</b>	783628	<b>Localidad</b>	<b>Hoja</b>
<b>Cota</b>	2627	Llacanora	15g4
<b>Características</b>			
<b>Color superficie intemperizada</b>	Gris pardo		
<b>Color de superficie fresca</b>	Gris amarillento		
<b>Oxidación</b>	Débil		
<b>Fractura</b>	Irregular		
<b>Reacción con HCL</b>	Nula		
<b>Nombre acuerdo a PettiJohn (1987)</b>		Limolita	

Tabla 5: Descripción petrográfica de la estación 03 de la zona de Llacanora.

<b>ESTACIÓN N° 03</b>			
<b>Ubicación</b>		<b>Formación</b>	<b>Tipo de roca</b>
<b>Norte</b>	9204415	Santa	Detrítica
<b>Este</b>	783874	<b>Localidad</b>	<b>Hoja</b>
<b>Cota</b>	2636	Llacanora	15g4
<b>Características</b>			
<b>Color superficie intemperizada</b>	Amarillenta		
<b>Color de superficie fresca</b>	Gris		
<b>Nivel de oxidación</b>	Moderada		
<b>Dureza de grano</b>	6		
<b>Fractura</b>	Irregular		
<b>Reacción con HCL</b>	Nula		
<b>Nombre acuerdo a PettiJohn (1987)</b>		Arenisca cuarzosa	

Tabla 6: Descripción petrográfica de la estación 04 de la zona Llacanora.

<b>ESTACIÓN N° 04</b>			
<b>Ubicación</b>		<b>Formación</b>	<b>Tipo de roca</b>
<b>Norte</b>	9204415	Santa	Detrítica
<b>Este</b>	783874	<b>Localidad</b>	<b>Hoja</b>
<b>Cota</b>	2636	Llacanora	15g4
<b>Características</b>			
<b>Color superficie intemperizada</b>	Gris pardo.		
<b>Color de superficie fresca</b>	Gris		
<b>Oxidación</b>	Débil		
<b>Fractura</b>	Irregular		
<b>Estructura</b>	Nódulo		
<b>Reacción con HCL</b>	Nula		
<b>Nombre acuerdo a PettiJohn (1987)</b>		Nódulo de arcillitas	

### 3.7.2. ZONA DE NAMORA

En esta zona se realizaron tres estaciones, recolectando muestras de arenisca limolita arcillitas, además de arenisca calcárea, según se describe en los siguientes cuadros

Tabla 7: Descripción petrográfica de la estación 01 en la zona Namora.


<b>ESTACIÓN N° 01</b>			
<b>Ubicación</b>		<b>Formación</b>	<b>Tipo de roca</b>
<b>Norte</b>	9201738	Santa	Detrítica
<b>Este</b>	803680	<b>Localidad</b>	<b>Hoja</b>
<b>Cota</b>	2711	Namora	15g4
<b>Características</b>			
<b>Color superficie intemperizada</b>	Gris pardo		
<b>Color de superficie fresca</b>	Gris		
<b>Dureza de grano</b>	5		
<b>Nivel de oxidación</b>	Fuerte		
<b>Fractura</b>	Irregular		
<b>Reacción al HCL</b>	Nula		
<b>Nombre acuerdo a PettiJohn (1987)</b>		Arenisca cuarzosa	

Tabla 8: Descripción petrográfica de la estación 02 en la zona Namora.

<b>ESTACIÓN N° 02</b>			
<b>Ubicación</b>		<b>Formación</b>	<b>Tipo de roca</b>
<b>Norte</b>	9201008	Santa	Detrítica
<b>Este</b>	803485	<b>Localidad</b>	<b>Hoja</b>
<b>Cota</b>	2695	Namora	15g4
<b>Características</b>			
<b>Color superficie intemperizada</b>	Pardo amarillenta		
<b>Color de superficie fresca</b>	Parda		
<b>Fractura</b>	Irregular		
<b>Reacción al HCL</b>	Nula		
<b>Nombre acuerdo a PettiJohn (1987)</b>		Limolita	

Tabla 9: Descripción petrográfica de la estación 03 en la zona Namora.

<b>ESTACIÓN N° 03</b>			
<b>Ubicación</b>		<b>Formación</b>	<b>Tipo de roca</b>
<b>Norte</b>	9201680	Santa	Detrítica
<b>Este</b>	801475	<b>Localidad</b>	<b>Hoja</b>
<b>Cota</b>	2679	Namora	15g4
<b>Características</b>			
<b>Color superficie intemperizada</b>	Gris oscura (óx)		
<b>Color de superficie fresca</b>	Gris oscura		
<b>Dureza</b>	2-3		
<b>Raya</b>	Amarilla		
<b>Fractura</b>	Irregular		
<b>Reacción al HCL</b>	Débil		
<b>Nombre acuerdo a Correns (1949)</b>		Arenisca Calcárea	

### **3.8. ESTRATIGRAFÍA DE SECUENCIAS**

Para Posamentier et al. (1988) y Van Wagoner (1995), la estratigrafía secuencial es el estudio de las relaciones entre las rocas sedimentarias de un conjunto de estratos ligados genéticamente y limitado por superficies de erosión, de no sedimentación o por sus concordancias correlativas. (Marocco, 2009)

La estratigrafía secuencial de la Formación Santa se realizó en dos zonas de estudio, la primera en el distrito de Llacanora, en los centros poblados de Santa Rosa y Chinchin. La segunda zona de estudio se realizó en el centro poblado Quelloacocha en el distrito de Namora.

Según Benavides (1956), La Formación Santa se encuentra entre la Formación Chimú en la zona inferior y la Formación Carhuáz en la parte superior, con un contacto neto entre estas tres formaciones. Encontrando intercalaciones de areniscas de grano fino de color grisáceo, limolitas grises a oscuras y de igual manera limolitas nodulosas.

#### **3.8.1. ZONA DE LLACANORA**

En la zona de Llacanora inicia el recorrido cercano a la carretera principal, desde la zona más próxima a la base de la formación, no habiéndose encontrado el contacto con la Formación Chimú, hacia el techo donde se encuentra la Formación Farrat, este encuentro repentino se debe a la existencia una falla regional la cual ha desplazado a la Formación Farrat y ha ocultado a la correspondiente Formación Carhuaz.

En esta zona se reconocen afloramientos de Areniscas de grano fino, medio - grueso con limolitas, a manera de intercalaciones inclinadas. Se reconocen las siguientes facies:

##### **3.8.1.1. Facies de arenisca intercalada con limolitas (primera secuencia)**

Esta facies litoestratigráfica se encuentra en el inicio del recorrido más próxima a la base y consiste en una secuencia de areniscas de grano fino que cuentan con una matriz ferruginosa, intercaladas con limolitas grisáceas y amarillentas. Los espesores de las areniscas están entre 6 centímetros a 70 centímetros, mientras que los

espesores de las limolitas están entre 2 a 30 centímetros. Se pueden apreciar diaclasamiento en todas las areniscas.

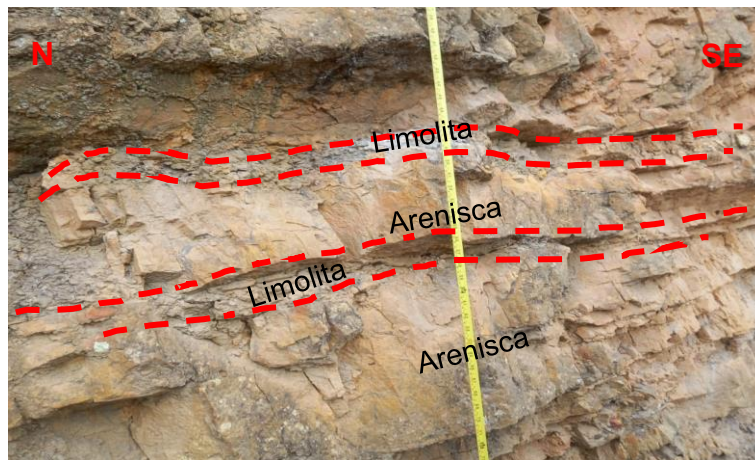


Foto 5: Secuencia de intercalación de limolitas grisáceas con areniscas.

### 3.8.1.2. Facies de arenisca intercaladas con arcillitas nodulares (segunda secuencia):

Se encuentra siguiendo el recorrido hacia el este del punto inicial, en esta estación se presenta facies de areniscas amarillentas y grises de grano fino que tienen unos espesores entre 10 centímetros hasta los 100 centímetros intercaladas con arcillitas nodulosas que tienen espesores entre 8 centímetros hasta los 50 centímetros, en esta zona los estratos se han sedimentado de manera paralela y tienen una gradación estrato decreciente.

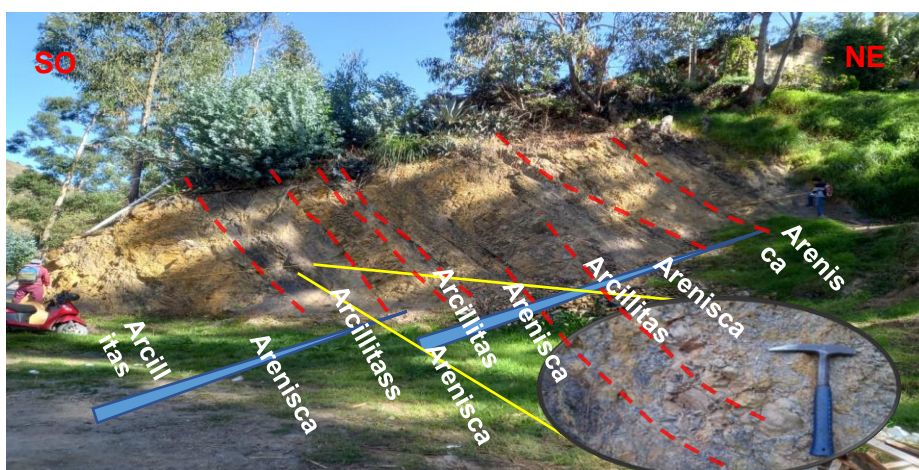


Foto 6: Intercalaciones de areniscas de grano fino interemperizadas de mayor espesor con limolitas amarillentas con oxidación.

### 3.8.1.3. Facies de arenisca intercaladas con limolitas (tercera secuencia):

Esta facies está constituida por la intercalación de areniscas de grano medio a grano grueso, con espesores de 40 centímetros a 160 centímetros, que tienen una coloración rojiza y gris, y limolitas amarillentas con espesores 6 centímetros a 90 centímetros. En esta estación los estratos se encuentran casi verticales y la gradación es principalmente grano decreciente.

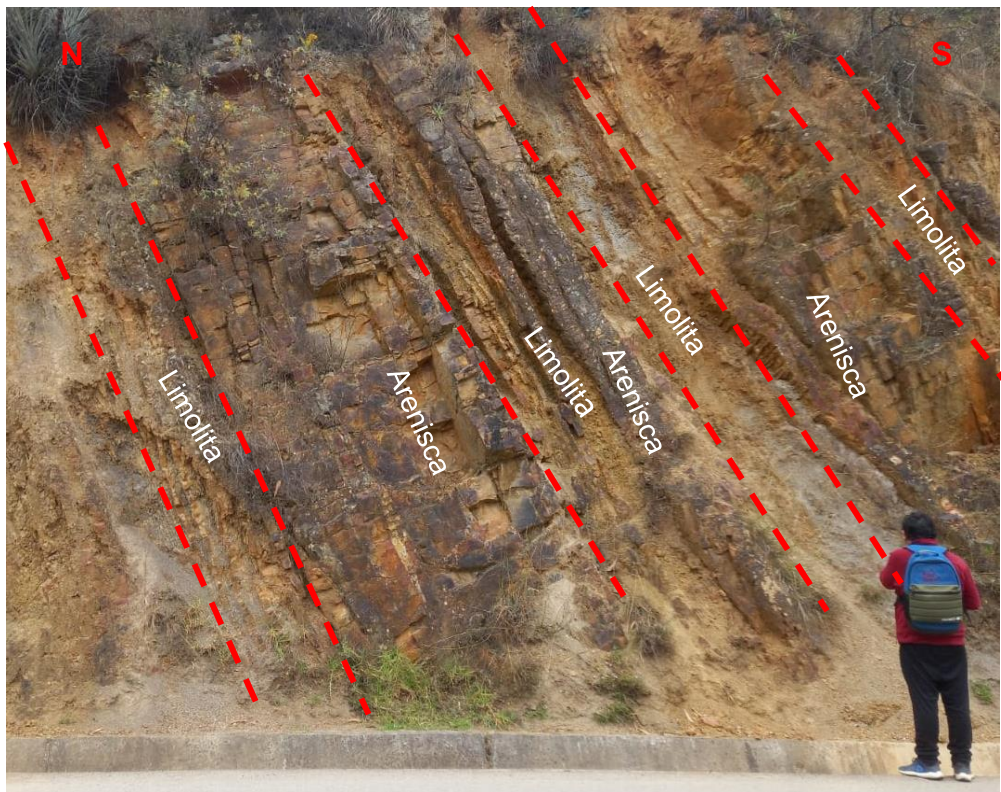
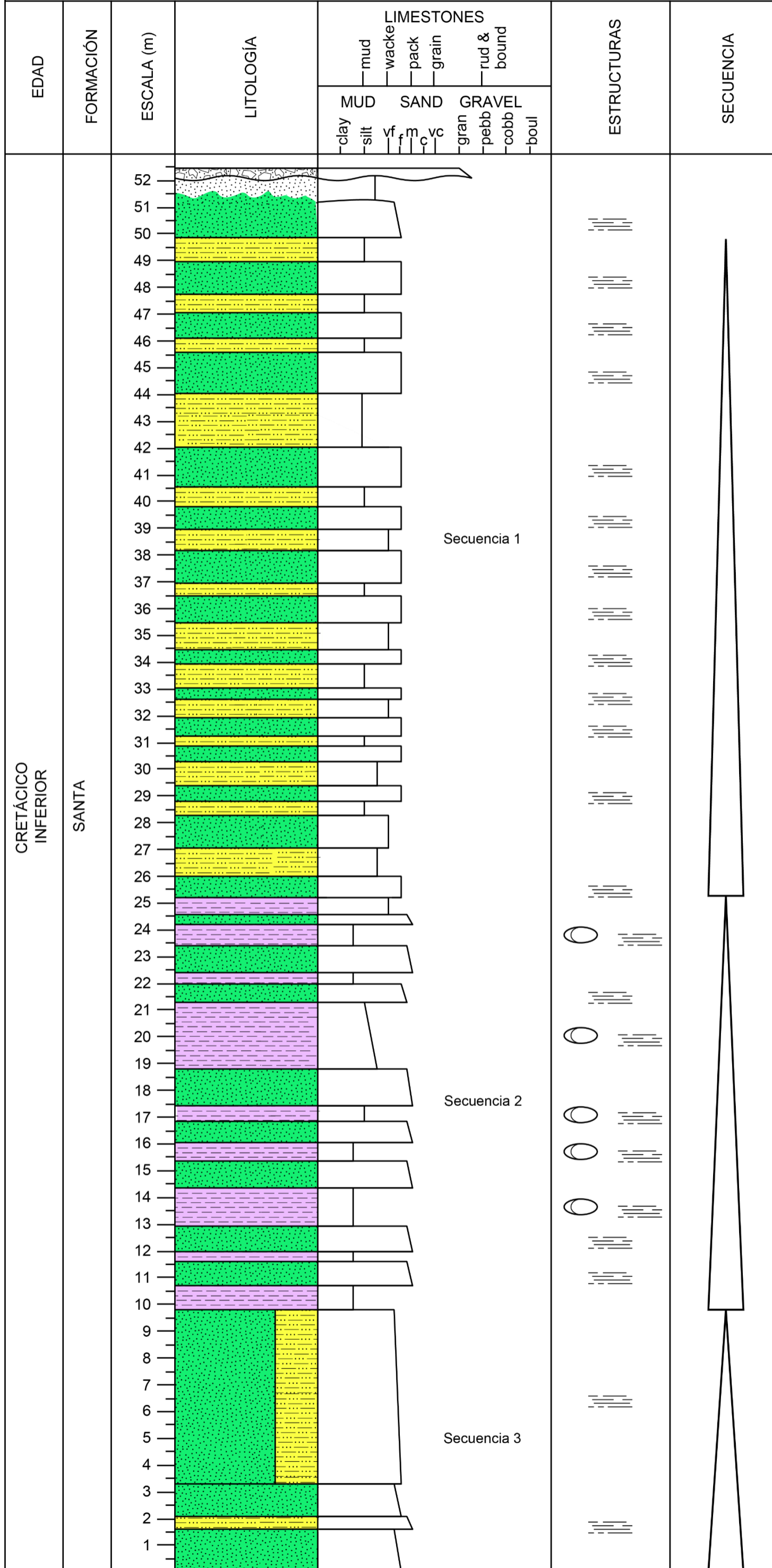



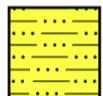
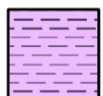
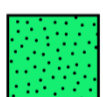
Foto 7: Intercalaciones de areniscas de grano fino con tonalidad rojiza producto de oxidación fuerte, con limolitas amarillentas con oxidación moderada.

El recorrido finaliza hacia el norte donde la repentina aparición de la Formación Farrat demuestra la presencia de una falla regional en la zona, la cual ha desplazado a la Formación Carhuaz.



COLUMNA ESTRATIGRAFICA ZONA LLACANORA



Litología

-  Cobertura aluvial
-  Limolita
-  Arcillita
-  Arenisca

Simbología

-  Laminación horizontal
-  Nodos

### 3.8.2. ZONA DE NAMORA

El recorrido inicia al noreste de Namora en el punto más cercano a la Formación Farrat, techo de la Formación Santa, con dirección al sur oeste, en el camino se logra identificar las mismas facies encontradas en la zona Llacanora de Areniscas de grano grueso – limolitas, Areniscas de grano fino – limolitas nodulosas, Areniscas – limolitas, además de una facies adicional próxima a la base de limolitas calcáreas.

#### 3.8.2.1. Facies arenisca intercaladas con limolitas (tercera secuencia):

Esta Facies se encuentra en la parte superior de la Formación Santa, cercana a la Formación Farrat, consiste en intercalación de areniscas de grano medio a grueso con una coloración parda, de espesores entre 20 centímetros y 150 centímetros y limolitas amarillentas de espesores entre 10 centímetros y 25 centímetros, esta secuencia se caracteriza por tener una gradación estrato decreciente, ya que inicia con la presencia de areniscas de grano medio y termina con el aumento de limolitas en la parte superior.

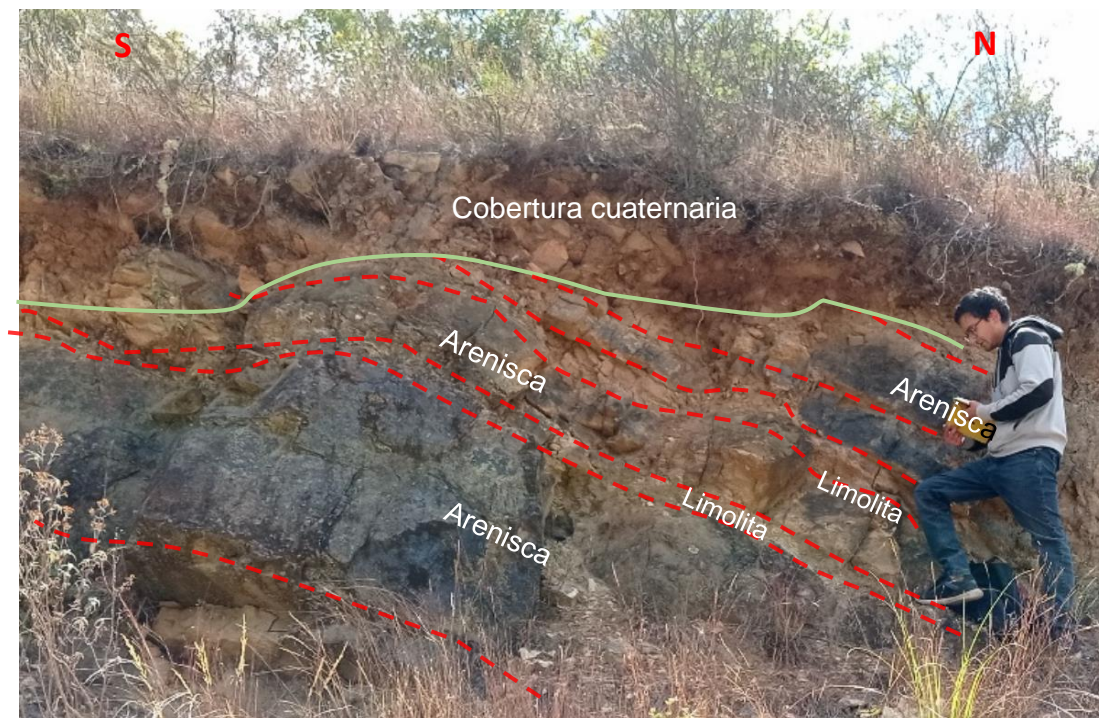


Foto 8: Zona más próxima al techo de la Formación Santa, caracterizada por una secuencia de areniscas de grano medio y limolitas.



### 3.8.2.2. Facies de areniscas intercaladas con arcillitas nodulosas (segunda secuencia):

En la zona central del recorrido se presenta intercalación de Areniscas de grano fino caracterizadas por tener un color rojizo, con espesores entre 20 centímetros y 110 centímetros, y Limolitas nodulosas con una coloración amarillenta, con espesores de entre 10 centímetros y 45 centímetros; al igual que en la zona Llacanora los estratos establecen una gradación estrato decreciente.

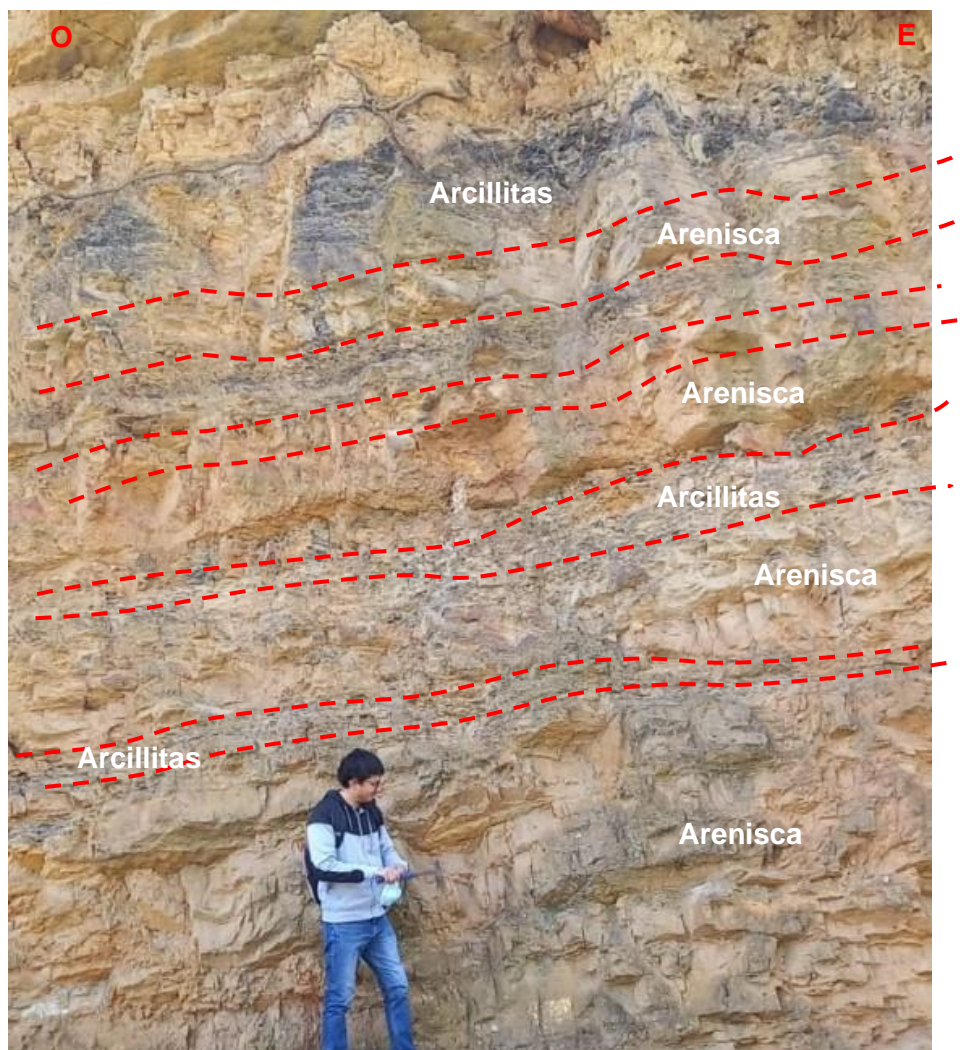


Foto 9: Intercalación de Areniscas de grano fino con arcillitas nodulosas.

### 3.8.2.3. Facies areniscas intercaladas con limolitas (primera secuencia):

Continuando hacia el sur oeste del punto inicial, Al noreste de Namora, encontramos esta facies compuesta por intercalaciones de areniscas, caracterizadas por un color rojizo y limolitas generalmente amarillentas, los estratos cuentan con unos espesores muy finos, de 10 a 25 centímetros aproximadamente, superficies de estratificación netas, y asociaciones entre estratos uniformes. La diferencia de gradación no es claramente percibida



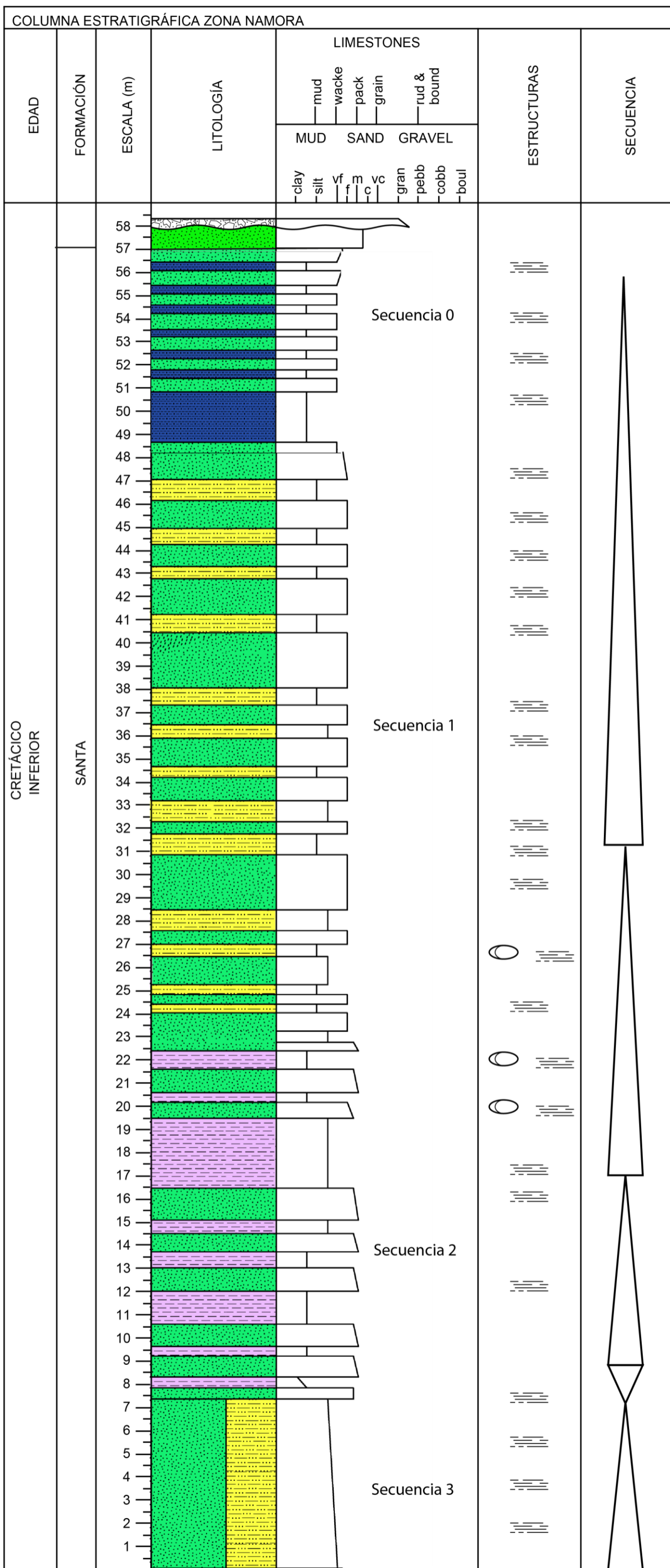
Foto 10: Facies de areniscas y limolitas, con estratos finos asociados entre si uniformemente.

#### 3.8.2.4. Facies de arenisca intercaladas con arenisca calcáreas (secuencia cero):


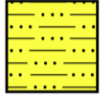
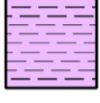
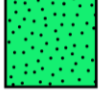
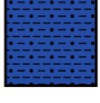
Continuando el recorrido hacia la zona inferior de la Formación Santa, exactamente ubicada en la zona norte de Namora, se encuentra la secuencia caracterizada por litofacies de areniscas finas color gris intercaladas con limolitas y arenisca calcáreas de color amarillo, esta secuencia no fue encontrada en la zona de Llacanora, y deja entender que se trata de una facies superior a las vistas en Llacanora y más próxima a la Formación Carhuaz.




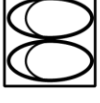
Foto 11: Se observa el afloramiento de areniscas intercaladas con arenisca calcáreas, bajo una capa de meteorización intensa.



**Litología**

-  Cobertura aluvial
-  Limolita
-  Arcillita
-  Arenisca
-  Limolita calcarea

**Simbología**

-  Laminación horizontal
-  Nodulos

## **CAPÍTULO IV**

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

Culminada la recolección de datos, habiendo identificado los principales afloramientos de Formación Santa y descrito petrográficamente las muestras, se procede con la realización de la interpretación de datos de campo y levantamiento de columnas estratigráficas, utilizando el software SedLog y Autocad.

Las columnas corresponden a las zonas de Llacanora y Namora, donde se han sido plasmadas las secuencias litoestratigráficas y cambios de facies.

En total se identificó cuatro secuencias estratigráficas distintas. En la columna litoestratigráfica de Llacanora se diferencian tres secuencias estratigráficas mientras que en la columna litoestratigráfica de Namora se diferencian cuatro secuencias. Se detallan a continuación

Secuencia cero, caracterizada por areniscas de grano fino intercaladas con limolitas calcáreas, esta secuencia fue ubicada únicamente en Namora y representa la zona más cercana a la Formación Carhuaz.

Primera secuencia, caracterizada por intercalación de areniscas amarillentas con matriz ferruginosa de grano fino con limolitas; en la zona Llacanora el tamaño de los estratos de arenisca son más gruesos que los de limolita, mientras que en la zona Namora, los estratos de ambas litologías tienen un espesor similar.

Segunda secuencia, compuesta por la presencia de areniscas de grano fino intercaladas con arcillolitas nodulosas; en la zona Llacanora se observa estratos pronunciados de limolitas, mientras que en la Zona Namora, los estratos de limolita son reducidos. En ambos casos se observa una secuencia estrato decreciente.

Tercera secuencia, caracterizada por intercalación de areniscas de grano medio a grueso con limolitas, ubicada en la zona más cercana al piso de la Formación Santa, en ambas zonas de investigación (Llacanora y Namora) se encontró un comportamiento litológico análogo.

Con lo mencionado se interpreta que la Formación Santa pertenece a la zona distal de un ambiente de sedimentación marino de baja profundidad cercano a la costa evidenciado por la presencia de areniscas y arcillitas granodecrecientes en la parte inferior a intermedia con nula presencia de carbonatos, aunque no se descarta que la meteorización química superficial haya eliminado los carbonatos en esta zona. Además, en ella ha transcurrido una secuencia transgresiva de corta duración, por lo cual se observan zonas calcáreas desde la zona intermedia hacia el techo de la formación.

La Formación Santa en la zona de estudio difiere de los hallazgos en el norte de Cajamarca y el centro del Perú donde la Formación Santa está compuesta en su mayoría por calizas, evidenciando mayor profundidad.

### **CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

En base a nuestra hipótesis planteada: La estratigrafía de las secuencias de la Formación Santa en los distritos de Llacanora y Namora guarda relación con los procesos sedimentarios ocurridos en la etapa transgresiva de corta duración de la edad Valanginiana, formando texturas clásticas, representadas en arcillitas finas y areniscas, y no clásticas en los esporádicos horizontes calcáreos; además de formar estructuras laminares.

Definimos que la estratigráfica secuencial de la Formación Santa está ligada a un ambiente marino de poca profundidad evidenciado litológicamente en zonas de limolitas, areniscas y arcillita. Además mientras nos acercamos al techo de la Formación encontramos un aumento de carbonatos en areniscas y limolitas calcareas, Según Monroe y Wicander (2015) la presencia de carbonatos evidencia un periodo transgresivo, por tanto se concluye que en miembro medio a superior hubo un avance

de mar pero no lo suficiente duradero para evidenciar más rocas carbonatadas compactas como caliza o marga.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

La Formación Santa en los sectores de Llacanora y Namora presenta cuatro secuencias litoestratigráficas: Areniscas intercaladas con limolitas, areniscas intercaladas con Nódulos de arcillitas y areniscas intercaladas con limolitas y Areniscas intercaladas con limolitas calcáreas.

Las condiciones para la sedimentación de la Formación Santa bajo la descripción de su litología y estructuras en las secuencias litoestratigráficas, determinan un ambiente marino de poca profundidad y un proceso transgresivo final evidenciado en el aumento de carbonatos.

Las columnas litoestratigráficas de la Formación Santa plasman estructuras de nódulos y laminaciones en cada horizonte de estratificación, predominando en estas una secuencia de depositación directa.

La correlación litoestratigráfica local, expone una variación mínima en espesor de las secuencias en Llacanora y Namora bajo la comparación de las mediciones de cada columna.



## **5.2. RECOMENDACIONES**

A los centros de investigación de Geología en el Perú y Cajamarca, a realizar mayores estudios estratigráficos, petrográficos sedimentológicos de la Formación Santa en diversas zonas, ya que existen escasas investigaciones sobre dicha formación.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, para que incentiven el estudio de la Formación Santa en los estudiantes de la escuela de geología para que se pueda desarrollar un conocimiento más amplio y óptimo de la mencionada Formación.

A los alumnos de escuela académico profesional de geología, para que consideren realizar investigaciones en la Formación Santa ya que en Cajamarca y en el centro del Perú, esta formación emplaza diferentes yacimientos minerales importantes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

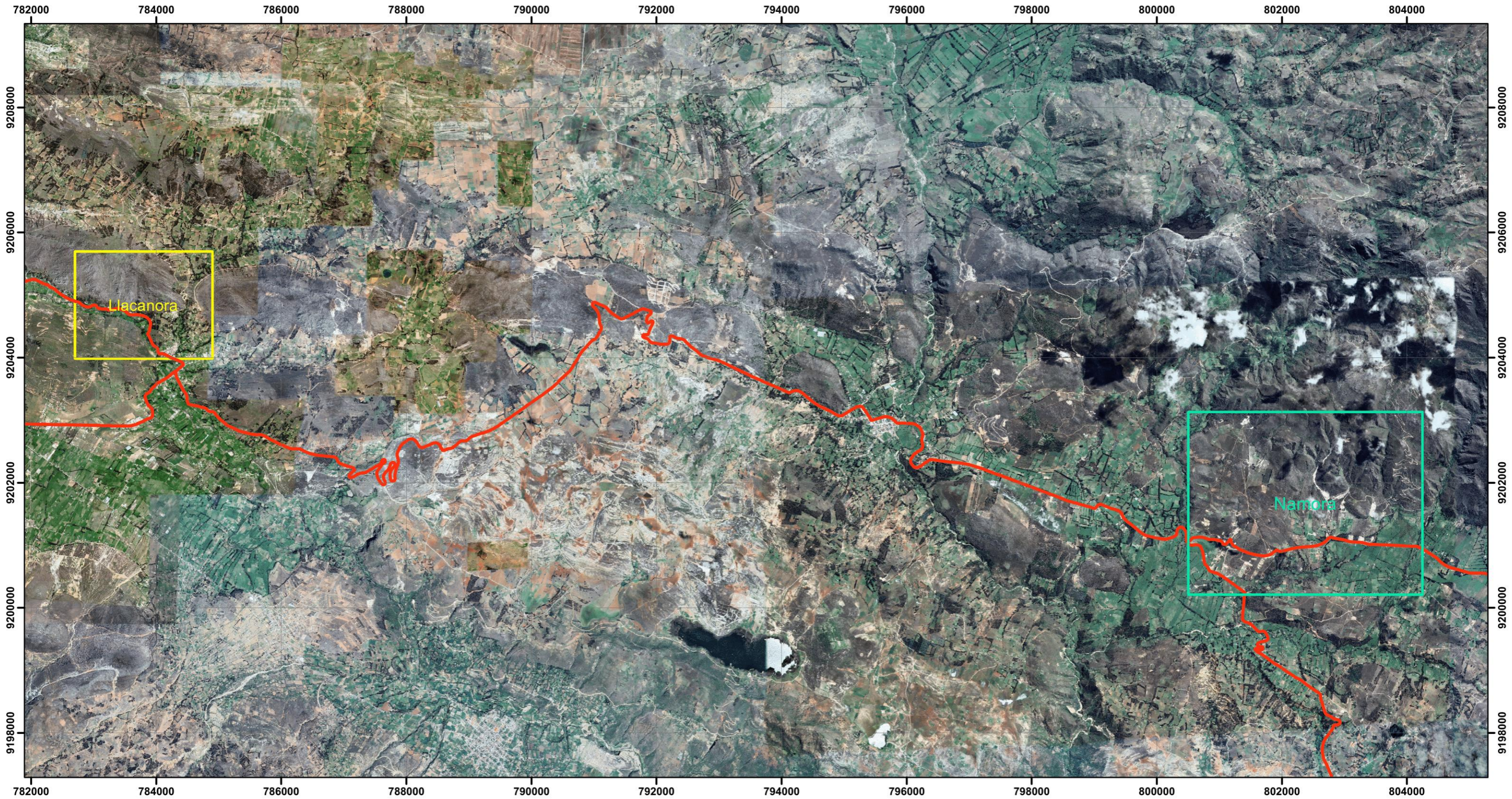
- Arche, A. 2010. Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (ed.). Madrid, Gráficas Blanco, S. L. 1287 p.
- Boggs, S. 2006. Principles of Sedimentology and Stratigraphy. Patrick, L (ed.). Upper Saddle River, Pearson Education. 676 p.
- Correns, C. 1949. Einführung in die Mineralogie. 1 ed. Berlín, Springer-Verlag. 282 p.
- Dunham, RJ. 1962. Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Textures. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists (1):108-121.
- Embry, AF; Johannessen, EP. 1992. T–R Sequence Stratigraphy, Facies Analysis and Reservoir Distribution in The Uppermost Triassic–Lower Jurassic Succession, Western Sverdrup Basin, Arctic Canada. Norwegian Petroleum Society Special Publications :121-146.
- Embry, AF; Klovan, E. 1971. A Late Devonian Reef Tract on Northeastern Banks Island, n.w.t.' Ashton. Bulletin of Canadian Petroleum Geology 19(4):730-781.
- Folk, RL. 1962. Spectral subdivision of limestone types. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists (1):62-84.
- Galloway, WE. 1989. Genetic Stratigraphic Sequences in Basin Analysis I: Architecture and Genesis of Flooding-Surface Bounded Depositional Units. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 73(2):125-142.
- Herrera, E. 2012. Estudio estratigráfico del cretáceo superior en los alrededores de la ciudad de Cajamarca. s.l., Universidad Nacional de Cajamarca. 120 p.
- Insalaco, E. 1998. The descriptive nomenclature and classification of growth fabrics in

- fossil scleractinian reefs. *Sedimentary Geology* 118:159-186.
- Krynine, D. 1948. Classification of sandstone: analysis and proposal. *Journal of geology* 56(2):130-165.
- Lagos, A; Quispe, Z. 2012. Caracterización litológica y paleontológica del Cretáceo inferior en Cajamarca: Las formaciones Santa y Carhuaz. *ECI Perú* 9(1):47-52. DOI: <https://doi.org/10.33017>.
- Monroe, JS; Wicander, R. 2015. *The Changing Earth Exploring Geology and Evolution*. Setima edi. Stamford, Cengage Learning, vol.1. 733 p.
- Olivo, MS; Schwarz, E; Veiga, GD. 2017. Modelo de acumulación y evolución secuencial del intervalo cuspidal de la formación Quintuco en su área tipo: Implicancias para las reconstrucciones paleogeográficas del margen austral de la Cuenca Neuquina durante el Valanginiano. *Andean Geology* 43(2):215-239. DOI: <https://doi.org/10.5027/andgeoV43n2-a04>.
- Pettijohn, F; Potter, P; Siever, R. 1987. *Sand and sandstone*. 2 ed. Heidelberg, Springer-Verlag. 572 p.
- Quispe, Z; Paúlspelucin, C. 2016. XVIII Congreso Peruano de Geología (en línea). Repositorio Institucional INGEMMET :1-4. Disponible en <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/CPG18-22.pdf>.
- Ramos, L. 2017. Estudio Estratigráfico De La Formación Jumasha Y Su Relación Estructural En El Distrito Minero Raura-Huánuco (en línea). s.l., Universidad Nacional de San Agustín. 85 p. Disponible en <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3353>.
- Rivera, H; Palacios, O; Sanchez, A; Herrera, F. 1995. Boletín N°55. Geología del Perú. INGEMMET Serie A(55):177.
- Roger, J. 1974. *Paléontologie Générale*. Paris, Masson & Cie, vol.1. 419 p.

- Tarbuck, EJ; Lutgens, FK; Tasa, D. 2005. Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física. 8 ed. Martín-Romo, M (ed.). Madrid, Pearson Education. 736 p.
- Teruggi, M. 1982. Diccionario sedimentológico. Ediciones Científicas Argentinas Librart (ed.). Buenos Aires, s.e.
- Vail, P. 1987. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 1(27):1-10.
- Vera, J. 1994. Estratigrafía Principios y Métodos. Madrid, Editorial rueda, vol.1. 799 p.
- Walther, J. 1894. Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. 1 ed. Fischer, G (ed.). Jena, s.e. 535-1055 p.
- Wright, V. 1992. A revised classification of limestones-reply. Sedimentary Geology 76:177-185.

## **ANEXOS**




1. Plano de accesibilidad a Namora y Llacanora
2. Plano de ubicación al distrito de Llacanora
3. Plano de ubicación al distrito de Namora
4. Plano geológico Llacanora
5. Plano geológico Namora
6. Correlación litoestratigráfica de las Formación Santa



1:60,000

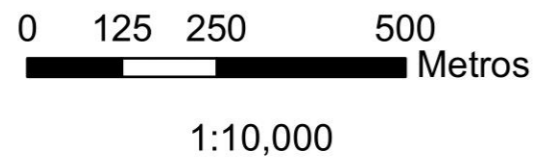
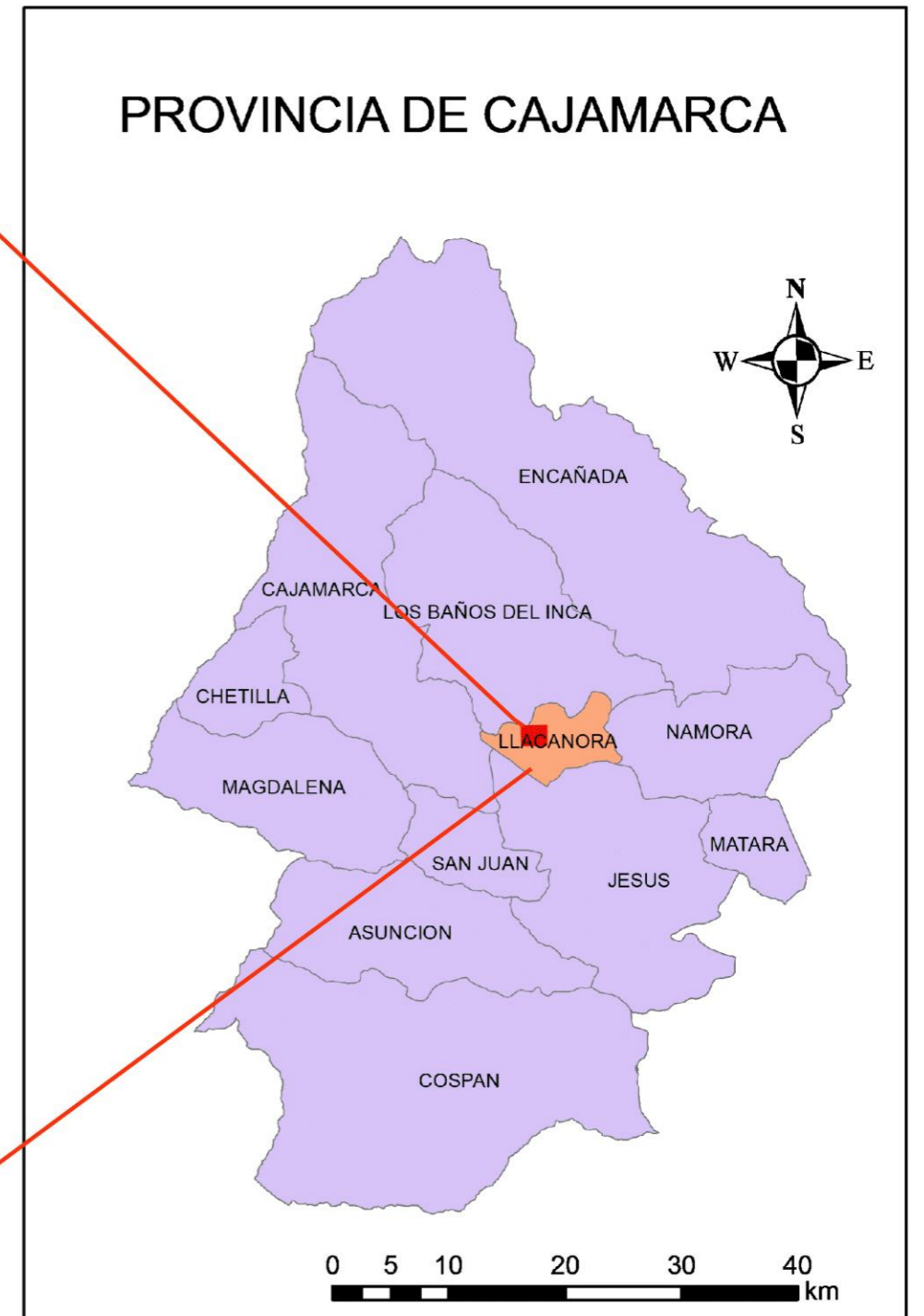
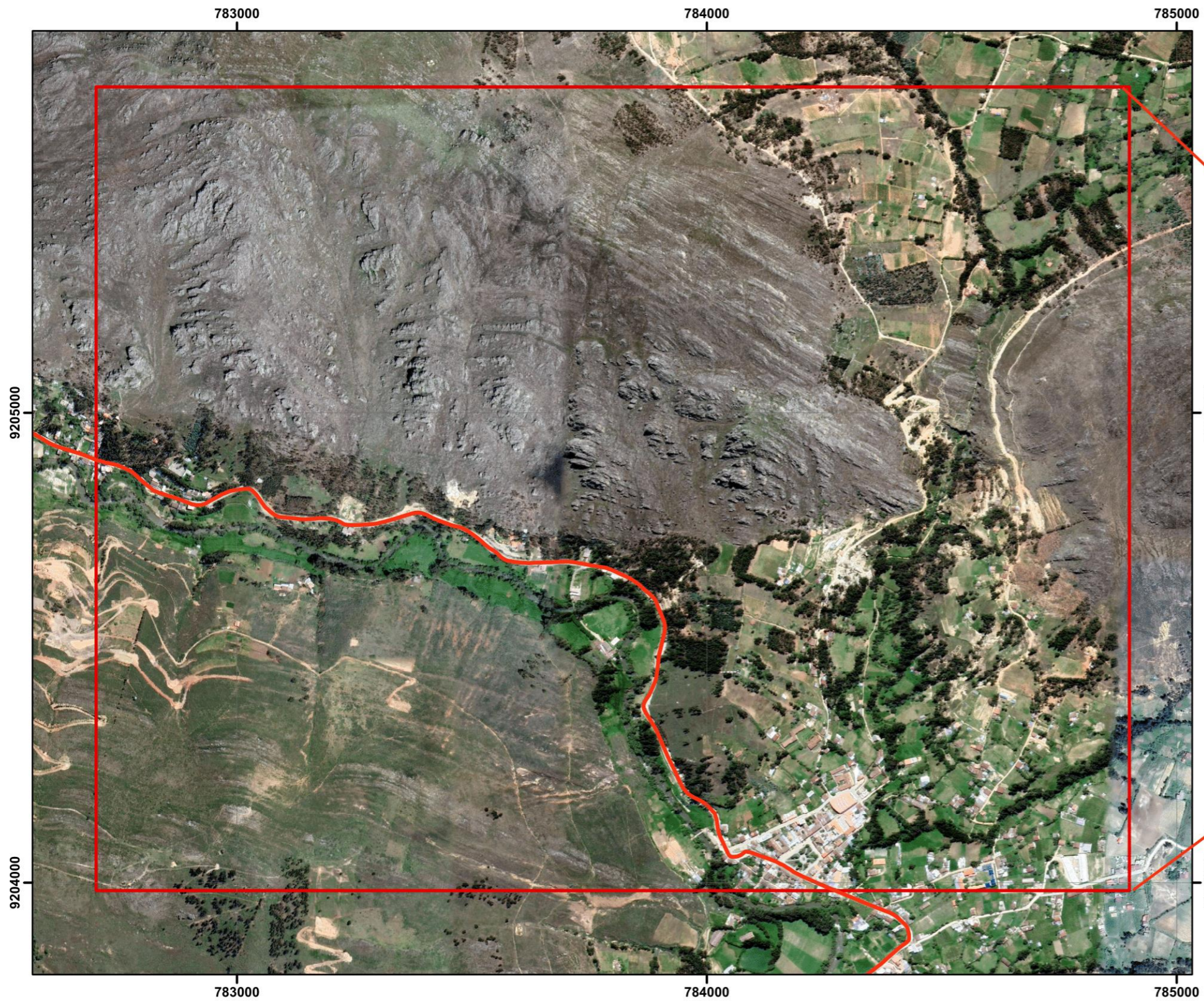
Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S  
 Proyeccion: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984  
 Unidadess: kilometrosr

**Leyenda**

-  Carretera
-  Area de investigación Llacanora
-  Area de investigación Namora.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
TESIS: Caracterización Estratigráfica de Secuencias de la Formación Santa en los Distritos de Llacanora y Namora.	
PLANO: De Accesibilidad.	
TESISISTA: Bach. Daniel André Carrión Ortiz.	
ASESOR: Dr. Crispin Zenón Quispe Mamani.	
ESCALA: 1:60000	FECHA: 1: 02/08/2022
PLANO N°: <b>01</b>	



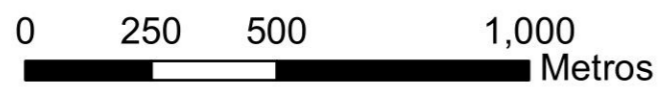
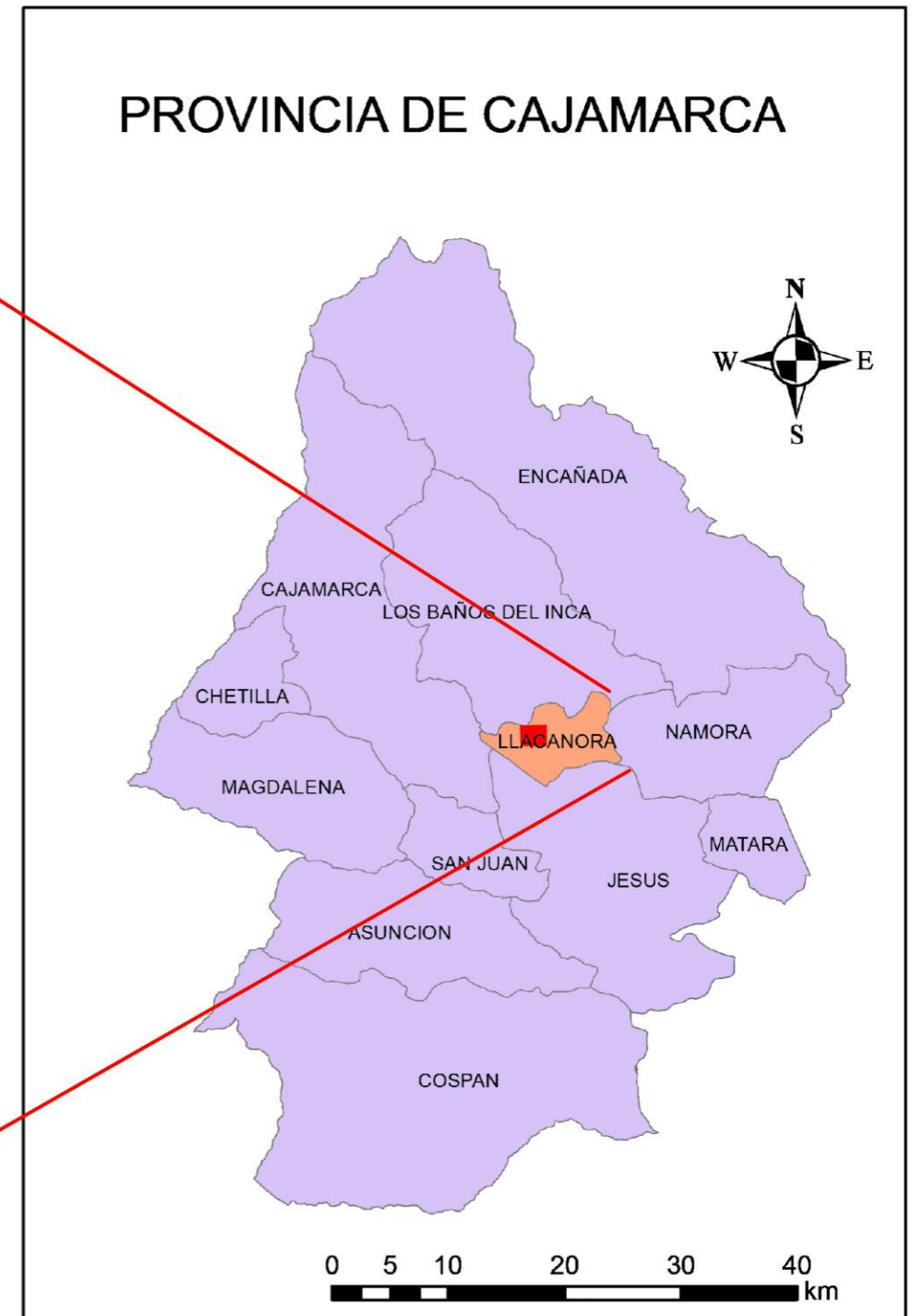
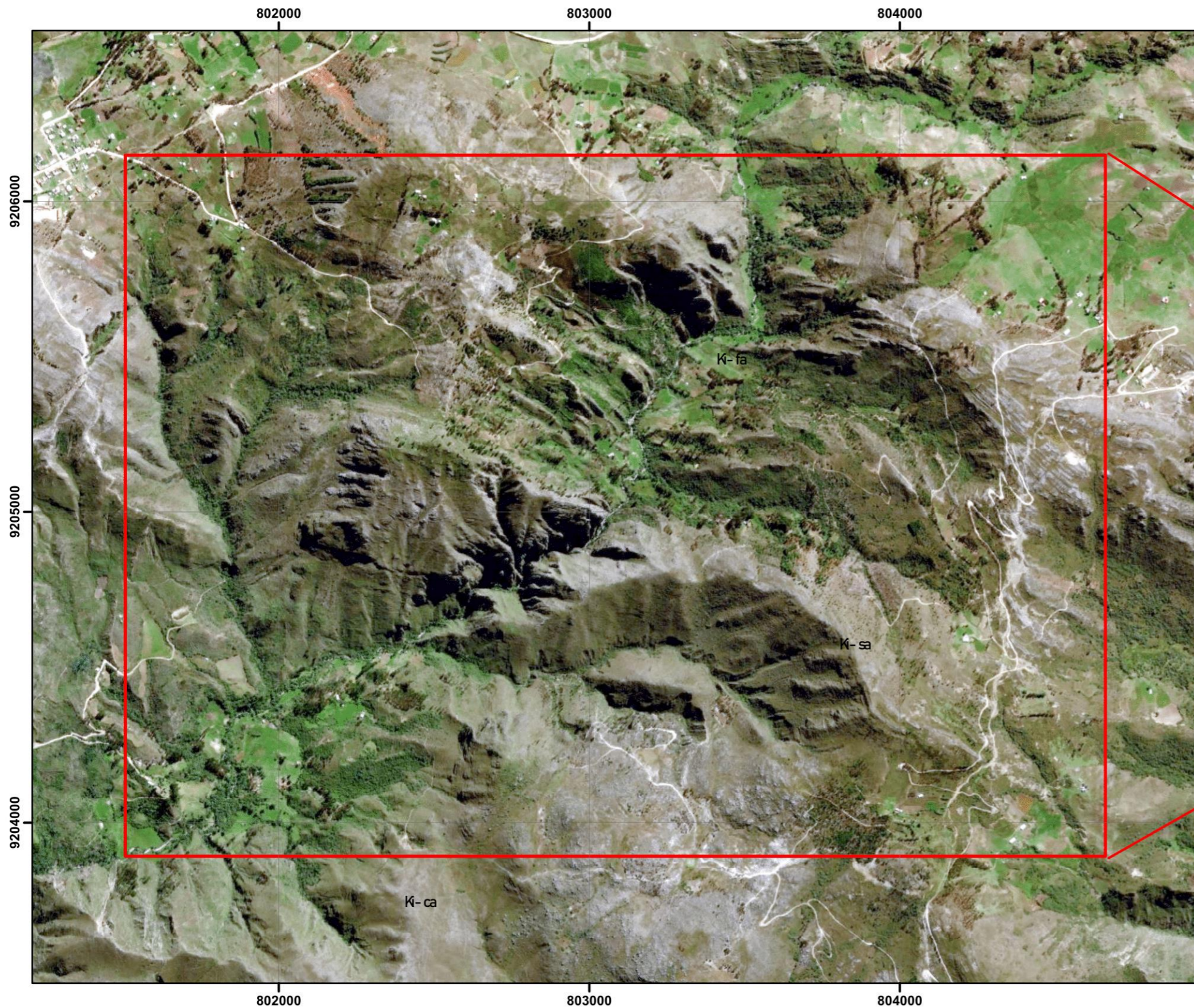
Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S  
 Proyección: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984  
 Unidadess: kilometrosr

**Leyenda**

- Carretera
- Area de investigación Llacanora



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
TESIS: Caracterización Estratigráfica de Secuencias de la Formación Santa en los Distritos de Llacanora y Namora.	
PLANO: De Ubicación de Llacanora.	
TESISISTA: Bach. Daniel André Carrión Ortiz.	<b>PLANO N°: 02</b>
ASESOR: Dr. Crispin Zenón Quispe Mamani.	
ESCALA: 1:10000	FECHA: 1: 02/08/2022



1:15,000

Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S  
 Proyección: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984  
 Unidadess: kilometros

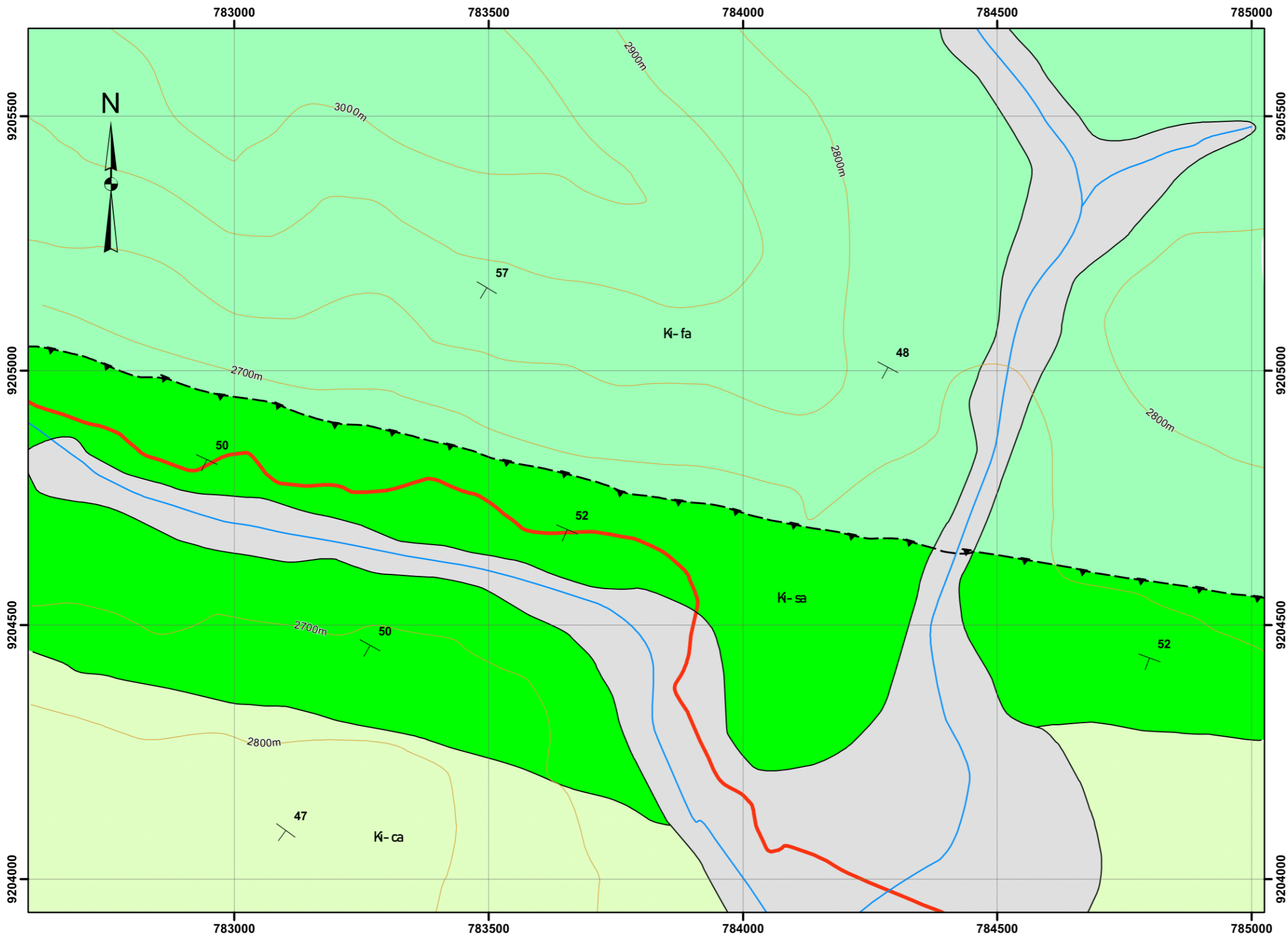
**Legenda**

Área de investigación Namora.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
TESIS: Caracterización Estratigráfica de Secuencias de la Formación Santa en los Distritos de Llacanora y Namora.	
PLANO: De Ubicación de Namora	
TESISTA: Bach. Daniel André Carrión Ortiz.	<b>PLANO N°: 03</b>
ASESOR: Dr. Crispin Zenón Quispe Mamani.	
ESCALA: 1:15000	FECHA: 1: 02/08/2022



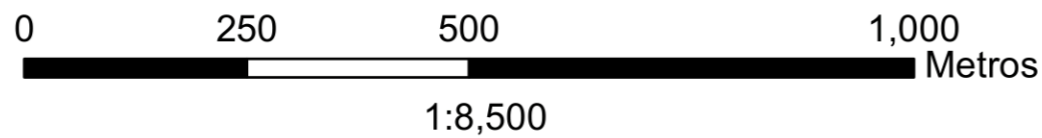


### Simbología

- Datos de rumbo y buzamiento
- Curvas de nivel
- Drenaje
- Falla inversa
- Carretera

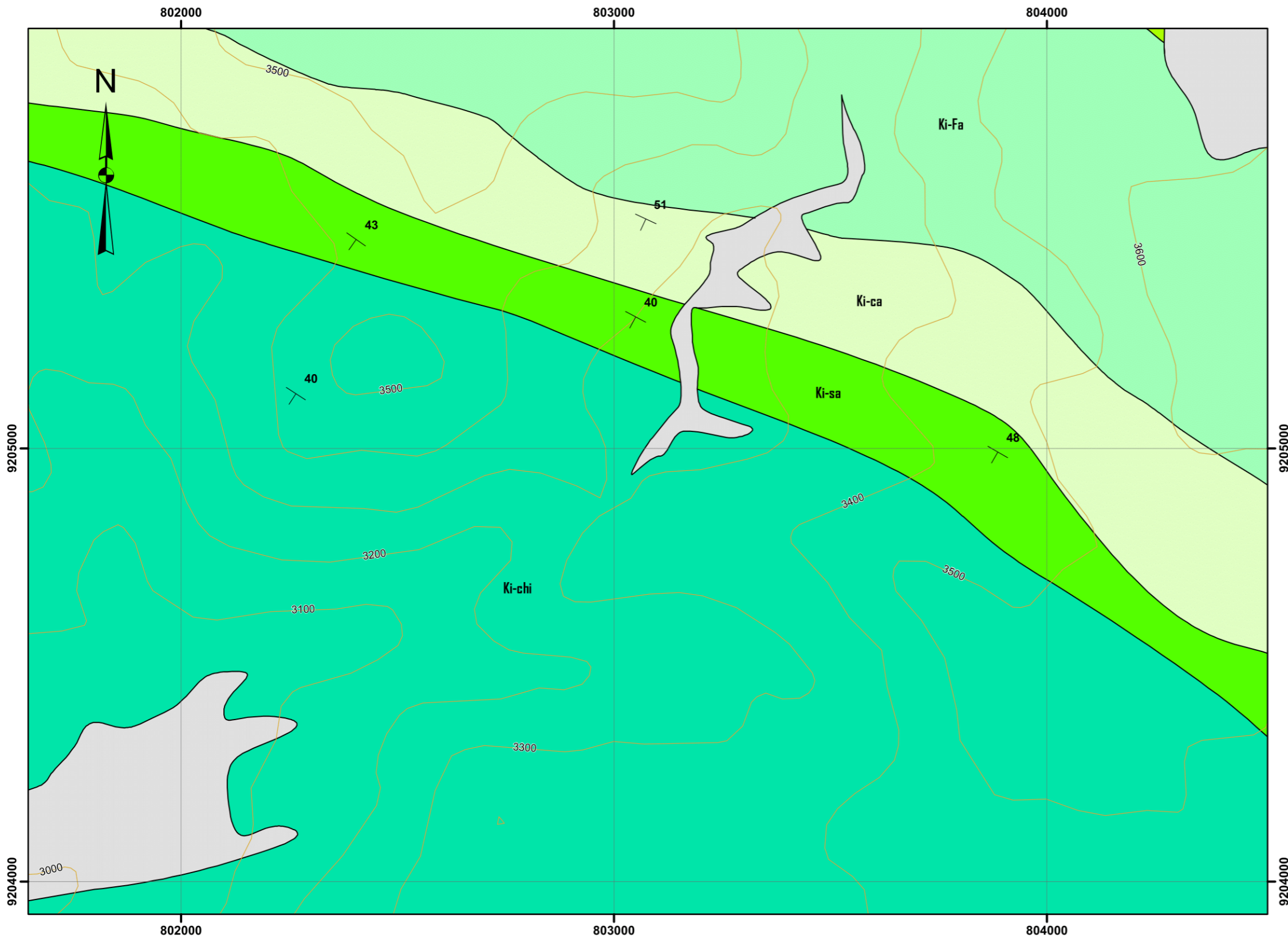
### Geología

- Depósitos cuaternarios
- Formación Carhuaz
- Formación Farrat
- Formación Santa



Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S  
 Proyección: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984  
 Unidades: kilometros

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
	TESIS: Caracterización Estratigráfica de Secuencias de la Formación Santa en los Distritos de Llacanora y Namora.	
	PLANO: Geológico de Llacanora.	
	TESISTA: Bach. Daniel André Carrión Ortiz.	
ASESOR: Dr. Crispin Zenón Quispe Mamani.		<b>PLANO N°: 04</b>
ESCALA: 1:8500	FECHA: 1: 02/08/2022	



### Simbología

├ Datos de rumbo y buzamiento

~ Curvas de nivel

### Geología

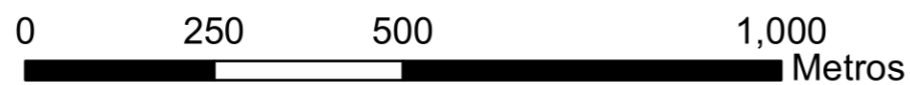
■ Depósitos cuaternarios

■ Formación Carhuaz

■ Formación Chimú

■ Formación Farrat

■ Formación Santa



1:10,000

Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zone 17S  
 Proyección: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984  
 Unidadess: kilometrosr



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

TESIS: Caracterización Estratigráfica de Secuencias de la Formación Santa en los Distritos de Llacanora y Namora.

PLANO: Geológico de Namora.

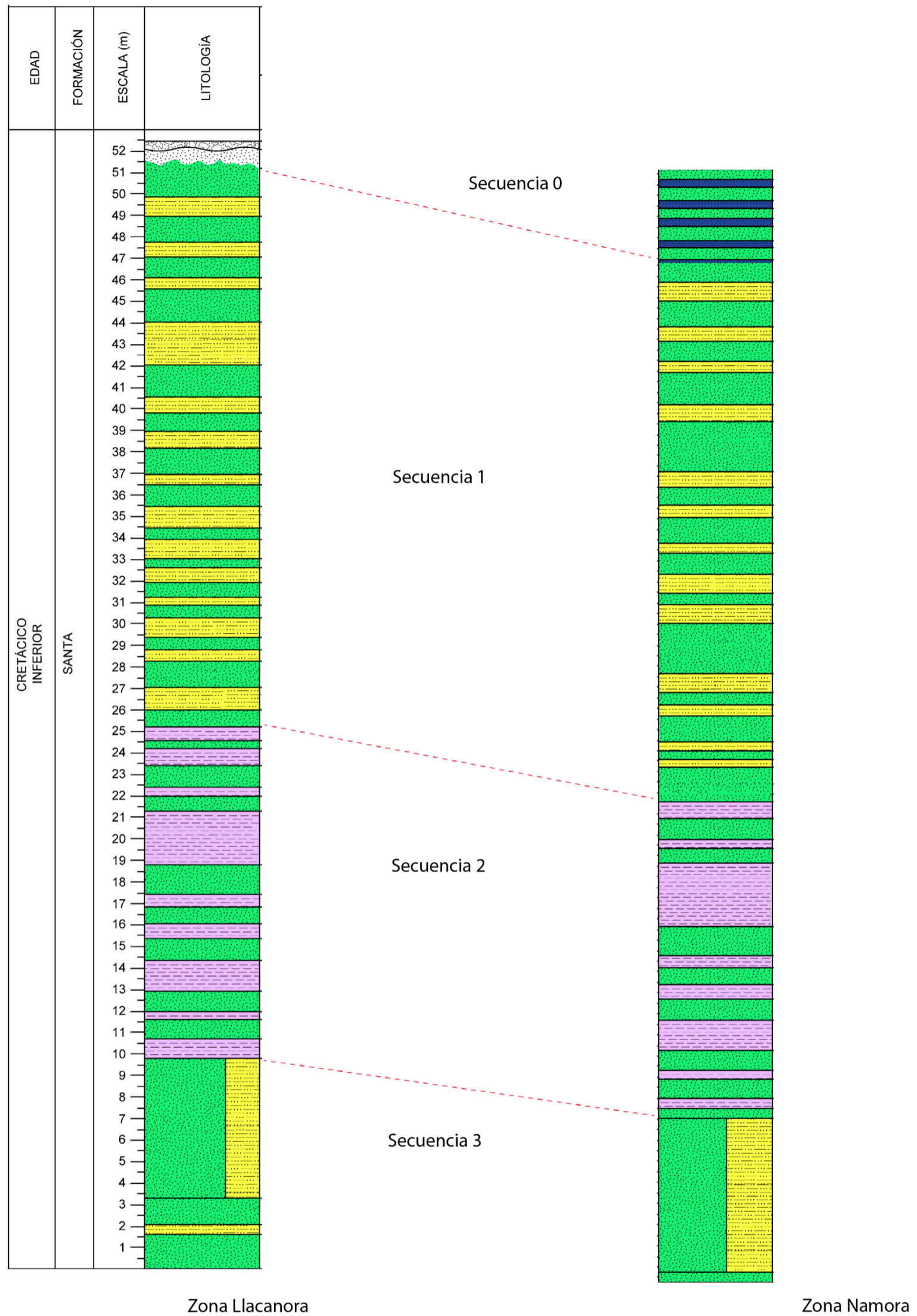
TESISTA: Bach. Daniel André Carrión Ortiz.

ASESOR: Dr. Crispin Zenón Quispe Mamani.

ESCALA: 1:10000      FECHA: 1: 02/08/2022

PLANO N°: **05**

# CORRELACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LA FORMACIÓN SANTA



### LEYENDA

Litología	
	Cobertura cuaternaria
	Limolita
	Arcillita
	Arenisca
	Arenisca calcarea

	Correlacion Llacanora Namora
--	------------------------------

0	785000
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
	TESIS: Caracterización Estratigráfica de Secuencias de la Formación Santa en los Distritos de Llacanora y Namora.
	PLANO: Correlación Litoestratigráfica de la Formación Santa.
	TESISISTA: Bach. Daniel André Carrión Ortiz. ASESOR: Dr. Crispin Zenón Quispe Mamani.
ESCALA: 1:150      FECHA: 1: 02/08/2022	PLANO N°: <b>06</b>