

Caracterización litológica de los acantilados de Juanchaco – Ladrilleros, Valle del Cauca,
mediante la tecnología de Escáner Láser Terrestre

Karla Castro Ramírez

201227501015

Universidad EAFIT

Escuela de Ciencias

Departamento de Ciencias de la Tierra

Medellín

2019

Caracterización litológica de los acantilados de Juanchaco – Ladrilleros, Valle del Cauca,
mediante la tecnología de Escáner Láser Terrestre

Karla Castro Ramírez

201227501015

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de geólogo(a)

Asesora

Constanza Ricaurte

Alejandro Beltrán-Triviño

Co-Asesor: Juan Felipe Paniagua

Universidad EAFIT

Escuela de Ciencias

Departamento de Ciencias de la Tierra

Medellín

2019

Agradecimiento

A Dios por todo.

A mi mamá y a mi hermanito por su amor, confianza y patrocinio en mi sueño.

A Cristhian Aguirre por su amor y comprensión.

A mi familia completa, que son mi mayor orgullo y motivación, a mis abuelitas, tíos, primos, pero en especial a mi tío Carlos Julio Moncada.

A mis asesores Constanza Ricaurte, Juan Felipe Paniagua y Alejandro Beltrán que se tomaron el tiempo de leer, comentar y corregir este trabajo este.

El trabajo contó con el apoyo del Programa de Geociencias Marinas y Costeras del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (INVEMAR) en el trabajo de campo y parte del análisis de laboratorio.

Tabla de Contenido

1.	Resumen	11
2.	Introducción	11
3.	Generalidades	13
3.1.	Objetivos Generales	13
2.1.1.	Objetivos Específicos	13
3.2.	Hipótesis	14
3.3.	Planteamiento del problema	14
3.3.1.	Antecedentes	14
3.3.2.	Descripción del problema	16
3.3.3.	Pregunta de Investigación	17
4.	Marco Conceptual	17
4.1.	Escáner Láser Terrestre	17
4.1.1.	Aplicaciones	19
4.1.2.	El espectro electromagnético y propiedad de la Luz	20
4.1.3.	RGB	21
4.1.4.	Reflectividad	21
4.1.5.	Intensidad	22
4.2.	Cámara	22
4.2.1.	¿Cómo funciona?	23
4.3.	Geología	23
4.3.1.	Geomorfología	24
4.3.1.1.	Geomorfología costera	24

5.	Zona de Estudio	25
5.1.	Localización	25
5.2.	Marco Geológico	27
5.3.	Marco Geomorfológico	30
5.4.	Estratigrafía	35
5.5.	Geología Estructural	37
5.6.	Paleontología y Biología	37
5.7.	Topografía y Clima	39
6.	Metodología	39
6.1.	Etapas de Consulta o Información Secundaria	40
6.2.	Precampo	40
6.3.	Campo	43
6.4.	Postcampo o Procesamiento de datos	47
6.4.1.	<i>Granulometría</i>	48
6.4.1.1.	Granulometría por Tamiz (Conglomerado y Arenas)	49
6.4.1.2.	Granulometría por Pipeta (Lodolitas y Arcillolitas)	50
6.4.2.	Mineralogía (SLIME SLIDE)	52
6.4.3.	Calcimetría	56
6.4.4.	Escáner Láser Terrestre (TLS)	56
6.4.4.1.	Descarga de Datos	56
6.4.4.2.	Procesamiento	56
7.	Resultados	60
7.1.	Descripción y columnas estratigráficas	61

7.1.1.	<i>Juanchaco</i>	61
7.1.2.	<i>Ladrilleros</i>	67
7.2.	Granulometría	76
7.3.	Mineralogía	85
7.4.	Calcimetría	87
7.5.	Escáner Láser Terrestre (TLS)	88
8.	Discusión	94
9.	Conclusiones	98
10.	Recomendación	99
11.	Bibliografía	100
12.	Anexo	113
12.1.	Captura de datos granulometría por Pipeta	115
12.1.1.	<i>Juanchaco</i>	115
12.1.2.	<i>Ladrillero</i>	116

Lista de Tablas

<i>Tabla 1 Levantamientos realizados anteriormente en la zona de estudios por INVEMAR.</i>	40
<i>Tabla 2. Estaciones de toma de muestras con coordenadas, se hizo tomas en la vertical del afloramiento</i>	47
<i>Tabla 3. Nomenclatura de cada tipo de Sedimento</i>	48
<i>Tabla 4 Descripción de base a techo de las columnas estratigráficas basado en litología, estructuras y características de cada una.....</i>	68
<i>Tabla 5 Porcentaje granulométrico (columnas) en cada estación (filas).....</i>	113
<i>Tabla 6 Porcentaje Mineralógico de Juanchaco y estación 5. Estaciones (columnas) y minerales (filas).....</i>	114

Tabla de Figuras

Figura 1. Localización del área de estudio en el pacifico colombiano, en el departamento del Valle del cauca, al occidente de la bahía de Málaga en los acantilados de los corregimientos de Juancho y Ladrilleros..... 26

Figura 2. Localización de la Cuenca San Juan y algunos elementos tectono-estructurales. Tomado de Cediel et al. (2009) 29

Figura 3. Acantilado de Juanchaco..... 32

Figura 4. Playa en baja mar 34

Figura 5. Algunas de las Cavernas en el área de estudio 35

Figura 6. Bioerosión y presencia de Fissurella virescens, liquen negro y litófagas 38

Figura 7. Metodología de trabajo 39

Figura 8. Mapa de Localización y nube de puntos en RGB de los acantilados de Juanchaco y Ladrilleros. 41

Figura 9. Nube de puntos crudos de Juanchaco 42

Figura 10. Clasificación no supervisada basada en la intensidad para Juanchaco (Cloudcompare)..... 42

Figura 11. Clasificación No supervisada basada en el RGB para Juanchaco (SCENE) ... 43

Figura 12. Toma de muestras Juanchaco 44

Figura 13. Afloramiento de Juanchaco (Base - Techo)..... 45

Figura. 14 Toma de muestras Ladrilleros 46

Figura 15. Muestras secas listas para triturar y desprender..... 49

Figura 16. Muestras con anticoagulante..... 50

Figura 17. Plancha para agitación 51

Figura 18. Probeta, pipeta, extractor, termómetro y placa de petri. 52

Figura 19. Porta objetos y cubre objetos..... 54

Figura 20. Plancha (Caliente)..... 55

Figura 21. Caja de almacenamiento de las secciones..... 55

Figura 22. Procesamiento de datos TLS..... 57

Figura 23. Acantilado de Juanchaco y puntos de ubicación del escáner..... 58

Figura 24. Altura del acantilado en la estación 3..... 59

Figura 25. Altura del acantilado en la estación 5..... 60

Figura 26. Columna estratigráfica estación 1 Ladrilleros 73

Figura 27 Columna estratigráfica estación 2 Ladrilleros 74

Figura 28. Columna estratigráfica de la estación 5 de Ladrilleros..... 75

Figura 29. Granulometría de Juanchaco..... 78

Figura 30. Estación 3. Nube de puntos (a). Clasificación por fotointerpretación de los estratos basado en Imagen en la intensidad (Blanco y Negro) (b) y en el RGB (c)..... 81

Figura 31. Estación 5: Nube de puntos (a). Clasificación por fotointerpretación de los estratos basado en Imagen en la intensidad (Blanco y Negro) (b) y en el RGB (c)..... 83

Figura 32. Granulometría de Ladrilleros 84

Figura 33. Mineralogía de fases densas de Juanchaco..... 86

Figura 34. Mineralogía de fases densas de Ladrilleros - estación 5 87

Figura 35. Porcentaje de Carbonato de Calcio (CaCO₃) en cada muestra..... 88

Figura 36. Afloramiento del acantilado de Juanchaco 2015-2016. Sacado de CloudCompare 89

Figura 37. Clasificación de acuerdo al RGB. Suelo con bioerosión y presencia de líquen (a). Oxidación de la roca (b). alta humedad, agua presente (c). Roca limolita (d). Playa (e) y falla (línea punteada)..... 89

Figura 38. Mapa de intensidad reflectada por los acantilados de Juanchaco (a) y Ladrilleros (b). Mediante ArcGIS..... 91

Figura 39. Mapa de intensidad reflectada por los acantilados de Juanchaco (a). Bioerosión y humedad (b), Arcillas húmedas (c), limos arcillosos con baja humedad (d), limolitas grises (e). Mediante Cloudcompare..... 92

Figura 40. Mapa de intensidad reflectada por los acantilados de Ladrilleros (a). Rangos de humedad (b), Limos arcillosos con >10% (c), Limos con arcillas entre (10% – 20 %) (d), limos con <10% de arcillas y suelos lixiviados. Mediante Cloudcompare. 93

1. Resumen

Este proyecto se realizó en la Formación Ladrilleros, ubicada en el corregimiento de Juanchaco y Ladrilleros (Pacífico colombiano), con el propósito de identificar cambios litológicos de acantilados utilizando el Escáner Láser Terrestre (TLS). Para este fin se identificaron acantilados y se compararon valores de intensidad reflejada y del modelo de color RGB (rojo, verde, azul) arrojados por el TLS. Este proyecto compara los métodos tradicionales con respecto a los TLS en la distinción litológica; en el caso de Juanchaco y Ladrilleros, se realizó un mapeo de los acantilados, de las columnas estratigrafías, además se analizaron las muestras recolectadas con granulometría y mineralogía para identificar factores (humedad, nubosidad, lixiviación), tipo de materiales (limolita, arcillolitas) y composición mineralógica que pueden afectar o variar la composición para establecer rangos litológicos de intensidad y RGB. La información mostró que condiciones como la humedad en las rocas, la nubosidad y la cantidad solar reflectada, no permitieron establecer rangos exactos para determinar la litología por la homogeneidad granulométrica y la poca variación de carbonatos entre las muestras. En cambio, la mineralogía determinó cambio de intensidad entre estratos. Aunque los valores de RGB no son similares en la variación anual, son útiles como referentes de variación superficial. La intensidad es un factor que permite la variación composicional.

2. Introducción

El Escáner Láser Terrestre (Terrestrial Laser Scanner “TLS”) se utiliza principalmente para adquirir nubes de puntos en 3D (coordenadas XYZ) que contienen información muy precisa y densa sobre la topografía de la superficie (Slob y Hack, 2004). Además, estiman el volumen

de roca de un cuerpo de deslizamiento de tierra y reconocen el desplazamiento por fracturas en paredes de roca inaccesibles (Slob y Hack, 2004; Franceschi *et al.*, 2009).

Los TLS son instrumentos utilizados en la actualidad para proporcionar la geometría de las superficies y al mismo tiempo permitir el modelamiento de datos. Este tipo de dispositivo provee el registro correcto de las observaciones geológicas realistas, hace posible un análisis tridimensional e inclusive ofrece un análisis cuantitativo (Verwer, 2008; Corradetti, 2016; Hassan *et al.*, 2017). asimismo, recopila la intensidad de reflectancia para cada punto de la nube de puntos. Este atributo se usa principalmente para mejorar la visualización de la nube de puntos (Carrea *et al.*, 2016). Igualmente, da valores en términos de RGB que es un modelo de “suma” de colores en el cual se representa un color mediante la mezcla de tres colores primarios rojo, verde y azul a cada punto de obtenido (Roncagliolo, 2013).

Los valores de intensidad registrados por los dispositivos TLS dependen de varios parámetros. Algunos están relacionados con el propio dispositivo TLS: longitud de onda del rayo láser, potencia de emisión, ángulo de apertura del rayo, atenuación del sistema y calibración interna (Larsson *et al.*, 2007). La distinción de diferentes tipos de rocas basado en la composición litologica, es de gran utilidad en aplicaciones geológicas. Las diferencias litológicas pueden influir en el comportamiento mecánico de las masas rocosas o impulsar el flujo de cualquier fluido (agua, petróleo) posiblemente contenido en ellas mediante su distribución espacial (Franceschi *et al.*, 2009).

El proyecto se realiza en la Formación Ladrilleros, ubicada en el corregimiento de Juanchaco y Ladrilleros (Departamento de Valle del Cauca, Pacífico colombiano); busca caracterizar los estratos de roca mediante la información de Intensidad de reflectancia y RGB derivados de los TLS; se realizó además análisis granulométrico, mineralógico y carbonato de calcio para correlacionar con los datos del TLS.

En este trabajo se muestran los resultados de una serie de experimentos dirigidos al reconocimiento de la litología directamente, dentro del conjunto de datos geométricos 3D adquiridos a través de TLS. El estudio investiga la influencia de los parámetros geométricos, ambientales (Humedad, temperatura, precipitación) y litológicos (contenido de limos y arcillas) en los valores de reflectancia en una adquisición de TLS.

3. Generalidades

3.1. Objetivos Generales

Caracterizar los estratos geológicos mediante los datos de intensidad reflectada y valores de RGB proporcionados por el TLS.

2.1.1. Objetivos Específicos

- Describir la litología de estratos geológicos en la zona de estudio mediante la tecnología TLS y los levantamientos tradicionales.
- Distinguir la variabilidad litológica mediante los valores de RGB y la intensidad del haz de luz.

3.2. Hipótesis

La aplicación de los TLS permite la clasificación litológica del macizo rocoso de acantilados costeros de cada punto georreferenciado, teniendo como base la relación entre la reflectividad del material y el RGB.

3.3. Planteamiento del problema

3.3.1. Antecedentes

La caracterización litológica constituye una actividad fundamental en la identificación de los acantilados litorales para conocer los tiempos de depositación, levantamientos, cambios de depositación y agentes erosivos. McCaffre y colaboradores (2005) indican que el levantamiento de las características de los afloramientos se ha hecho de manera similar durante los últimos 200 años. En esta vía, la aplicación de los métodos digitales en las disciplinas científicas se usa con el propósito de mejorar la gestión, el análisis y la visualización de datos. Por ello, estudios en la región de Namling (Bután), demuestran que la implementación de TLS para problemáticas de movimientos en masa pueden ser útiles. En este caso, los TLS permiten la extracción de la geometría del deslizamiento, la orientación de las discontinuidades y la identificación del modo de falla (Dunning *et al.*, 2009). Así mismo, estudios como el de Riquelme (2015) evalúan el espaciamiento de las discontinuidades mediante la aplicación de los TLS. Podría afirmarse que las nuevas tecnologías han sido de ayuda en la práctica de la geología debido a su resolución, precisión y su creciente utilización.

En el pasado, las herramientas TLS eran inexactas, costosas, poco versátiles (Corradetti, 2016), pero en la actualidad se encuentra gran variedad de equipos y software libres que garantizan una agrupación de datos con distintas características y con mayor exactitud. Es necesario conocer las herramientas que el mercado ofrece en la actualidad con el fin de mejorar y facilitar la toma de datos, sin dejar de lado la necesidad de levantamientos tradicionales, teniendo en cuenta su grado de detalle.

Los TLS presentan diversos usos y se han implementado en las geociencias para facilitar procedimientos y mejorar la calidad del levantamiento. Por ello autores como Voegtle *et al.* (2008) estudiaron la influencia de diferentes materiales en las medidas de un TLS. Por otro lado, Parian y Gruen (2005) realizaron una prueba de precisión de la nube de puntos del escáner láser basado en la imagen de intensidad del láser. Igualmente, Lemeš y Zaimović-Uzunović (2009) analizaron la influencia de la iluminación en la toma de datos por TLS. En este estudio, se determinaron las condiciones lumínicas durante los trabajos de escaneo, en función de la calidad y cantidad de datos que se obtienen, y la influencia del tipo de superficie, ya sea blancas, verdes y amarillas.

Teniendo en cuenta las características del afloramiento, Sheng *et al.* (2016) confirmaron que los TLS pueden proporcionar la información de intensidad de reflectancia de los afloramientos en función de sus características mineralógicas y petrofísicas. Estos autores indican que la intensidad es proporcional a la reflectancia del objetivo en la longitud de onda del láser de TLS y que la intensidad de TLS se puede usar para la clasificación de areniscas y lodolitas. En este trabajo demostramos que vincular los valores de reflectancia con los

parámetros litológicos proporciona una herramienta útil para el mapeo litológico de afloramientos, con posibles aplicaciones en diversos campos de la geología como la estratigrafía, la geología estructural, la geomorfología, entre otros.

3.3.2. Descripción del problema

Los métodos tradicionales de mapeo y análisis de datos de afloramientos geológicos se basan en una combinación de levantamientos geológicos, foto-mosaicos, datos de campo estructural, diagramas estéreo, diagramas de rosas y diagramas de bloques en 3D (Trinks *et al.*, 2005). Esta plétora de técnicas resalta la necesidad de unificar la adquisición de datos conforme avanza la tecnología. El enfoque específico de los métodos tradicionales impide utilizar la información en otras áreas, corroborar la información recolectada o complementar con nuevos datos.

Los cuerpos geológicos representados en forma tridimensional se incorporan en los análisis como herramientas de apoyo para alguno de los levantamientos previamente obtenidos. En geología las representaciones tridimensionales se conocen como modelos de afloramiento virtual (VOM) (Xu *et al.*, 2000; Buckley, Enge, Carlsson, y Howell, 2010), afloramientos digitales (Bellian, Kerans, y Jennette, 2005; García-Sellés *et al.*, 2011) o afloramientos fotorrealistas (Xu *et al.*, 2000; Kurz, Buckley, Howell, y Schneider, 2008; Minisini, Wang, Bergman, y Aiken, 2014). Estos productos son generados mediante el uso de las nuevas herramientas de mapeo detallado, como los TLS, los cuales buscan flexibilizar el uso de la información.

Los TLS ofrecen nuevos tipos de análisis espaciales que eran imposibles o poco prácticos con los métodos de mapeo convencionales (McCaffrey *et al.*, 2005). Es por esto que el presente trabajo busca caracterizar los estratos de roca mediante la información RGB y la Intensidad de reflectancia derivados de los TLS. Cabe anotar que existe gran cantidad de problemas en la toma de datos mediante los métodos convencionales, debido que la forma de adquisición de información muchas veces no puede ser usada con otros propósitos. Es importante conocer que los TLS permiten el análisis de los datos para obtener productos para ser usados con otros enfoques y pueden ser almacenados para controles.

3.3.3. Pregunta de Investigación

¿Es posible la caracterización de estratos mediante la reflectancia de los objetos y los valores de RGB obtenido por los TLS en Juanchaco y Ladrilleros?

4. Marco Conceptual

4.1. Escáner Láser Terrestre

El TLS está compuesto por dos subsistemas básicos: el primero es un dispositivo electrónico de emisión del rayo láser comúnmente llamado *light detection and ranging* (LIDAR), y el segundo es un dispositivo mecánico y óptico capaz de dirigir el haz de láser en forma de escaneo sobre el área de interés (Fernández Díaz, 2007). El TLS se desplaza sobre su eje y utiliza un sistema de espejos rotativos o prisma el cual hace un barrido de todo su campo visual mediante un láser que se encuentra estacionado sobre la superficie. El método de los

espejos es el que más se utiliza, por el hecho de ser ligeros, precisos y rápidos. Con el propósito de levantar todo objeto presente en su campo visual, la dirección del rayo láser varía para poder escanear los diferentes puntos objeto de medida (Jiménez-Perálvarez, 2012; Rodríguez-Juárez, 2016); genera una nube de puntos con gran detalle en la geometría y con un alto grado de precisión, que se captura de una manera rápida y eficiente (Yan, Liy Xie, 2010).

Una de las herramientas más efectivas para el monitoreo, caracterización y cuantificación de la evolución del relieve, es la tecnología LIDAR (Láser Imaging Detection and Ranging) mediante el empleo de Tecnología TLS (Teza, Pesci, Genevois, y Galgaro, 2008; Dunning, Massey, y Rosser, 2009; Abellán, Calvet, Vilaplana, y Blanchard, 2010; Irigaray y Palenzuela, 2013). Por ello es importante conocer que la tecnología LIDAR se divide en terrestre o aérea y a su vez en estática o dinámica. En el caso terrestre, la estabilidad del sensor y las cortas distancias a las que se encuentran los modelos a levantar, permiten conseguir resoluciones milimétricas de una manera más rápida que las técnicas habituales de levantamiento. Se puede estacionar el instrumento frente al objeto del levantamiento (una fachada), o bien embarcarlo en un vehículo para la adquisición de datos en varios puntos de un recorrido (Rodríguez-Juárez, 2016).

La ventaja del TLS es la captura masiva de puntos con alta precisión, gran rapidez y exactitud para minimizar errores debido a la disponibilidad de un gran número de puntos 3D precisos, pero el dispositivo también puede llegar a tomar datos que almacenan un error de fabricación, debido a esto es importante, realizar una limpieza de los datos o un post procesamiento

(Lerma-García y Biosca-Tarongers, 2008; Ojeda-Pardo, Belete-Fuentes, y Batista-Legrá, 2014; Rodríguez-Juárez, 2016). Así mismo es necesario realizar múltiples capturas desde diferentes estaciones para garantizar una cobertura completa de una estructura (Lerma García y Biosca Tarongers, 2008), para obtener datos que permitan diferenciar el movimiento de la deformación al milímetro o al centímetro; igualmente medir distancias tanto horizontales, como verticales e inclinadas en 3D (Bonilla, 2016).

4.1.1. Aplicaciones

El campo de aplicación de estos dispositivos ha incrementado con el tiempo, al ser un recurso de gran necesidad en ramas como la Ingeniería, la Arquitectura y para la documentación y monitorización patrimonial de obras de arte. Además, en la construcción de subestaciones eléctricas, plantas industriales, caracterización de bosques, estudios forenses y militares, entre otros.

Actualmente el avance tecnológico y la investigación científica, ve la necesidad de implementar nuevas herramientas para la búsqueda de la información a través de la educación. Una de las herramientas más efectivas para el monitoreo, caracterización y cuantificación de la evolución del relieve, es la tecnología LIDAR. Además, se han desarrollado nuevas metodologías y técnicas de levantamientos topográficos, geológicos y geomorfológicos sin dejar de lado la necesidad de aplicar las técnicas tradicionales (Teza *et al.*, 2008; Dunning *et al.*, 2009; Dunning, Rosser, y Massey, 2010). Igualmente se usa este tipo de dispositivos para estudio de riesgos naturales, levantamientos mineros a cielo abierto y subterráneos, estudios de cárcavas, erosión de suelo y presas; de igual forma en topografía,

ha sido de tanta importancia como la estación total para la trazabilidad de vías de comunicación (taludes, estructuras) y viaductos (Rodríguez-Juárez, 2016).

4.1.2. El espectro electromagnético y propiedad de la Luz

El motivo por el cual podemos ver los objetos es porque emiten, reflejan o transmiten una parte de la parte visible del espectro, denominada como luz. La parte visible del espectro electromagnético está compuesta por los colores que vemos en el arco iris que a su vez se expresan en términos *de energía, longitud de onda o frecuencia* (Contreras, 2014).

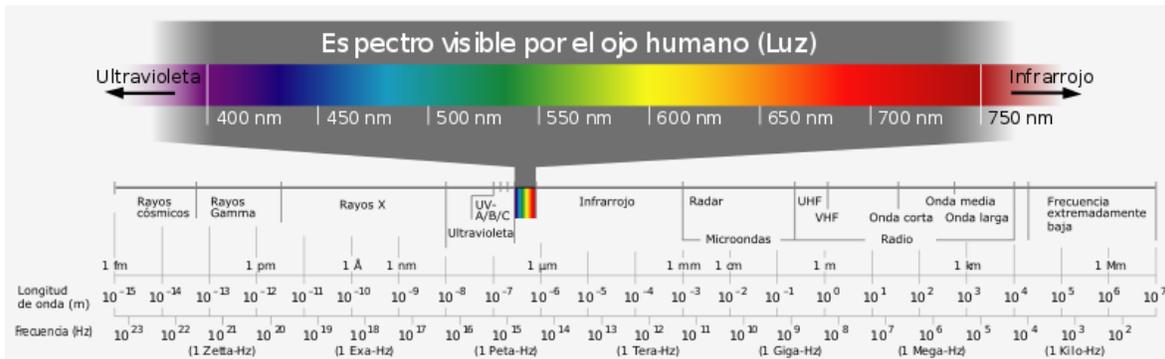


Ilustración 1 Rangos del espectro visible

Cada uno de los colores corresponde a una longitud de onda diferente (Ilustración 1). Por lo que es importante conocer tal y como lo indica Contreras (2014) que la luz láser presenta algunas propiedades muy especiales cuando es generada mediante un instrumento láser:

- Alto grado de coherencia espacial, propagándose en una dirección bien definida. Esta es la razón por la que un haz láser se puede propagar en largas distancias y se focaliza produciendo manchas de luz muy pequeñas.

- La luz láser también tiene un alto grado de coherencia temporal (cuanto más monocromático sea un haz luminoso mayor coherencia temporal tendrá) a través de intervalos de tiempo relativamente largos, correspondientes a largas distancias de propagación (a menudo algunos kilómetros).
- Se obtiene un ancho de banda espectral (o ancho de línea) estrecho, que produce un cierto color puro, por ejemplo, rojo, verde o azul.
- La luz láser puede ser visible, pero la mayoría de láseres emiten en otras regiones del espectro, particularmente en el infrarrojo cercano, que el ojo humano no puede percibir.
- La luz láser no siempre es continua, puede ser emitida en forma de pulsos cortos o ultra cortos. Como consecuencia de esto, los máximos de potencia pueden ser extremadamente altos.
- La luz láser viaja con una velocidad finita y constante en un determinado medio.

4.1.3. RGB

El RGB utiliza un valor integral de 0 a 255 de cada uno de los colores lo que permite que el balance de blancos sirva para ajustar el brillo de los colores básicos lo que proporciona al objeto que la parte más brillante de la imagen aparezca como color blanco, y la menos brillante como negro (Curso Sarmiento, 2015; Universidad de Murcia, 2006).

4.1.4. Reflectividad

La fracción de energía que se refleja se denomina albedo o reflectividad (ρ); algunos materiales tienen una capa semitransparente no homogénea (como el mármol, la madera,

entre otros), lo que permiten el paso del láser y su haz se refracta, reflejándose en el propio material, esta refracción y reflexión se traducen en ruido en la superficie.

4.1.5. Intensidad

La mayoría de los escáneres operan fuera del espectro visible para el ojo humano, lo cual permite recoger la información de intensidad que suele ser ligeramente diferente a la observada en campo, siendo útil en algunos casos, para diferenciar tipos de materiales o niveles de la superficie (Corso Sarmiento, 2015).

Dependiendo del TLS que se use, la intensidad cambia de acuerdo a la distancia y se ve afectada por factores de luz, en el caso del Faro Focus^{3D} la intensidad se puede graduar de acuerdo a una distancia, escalando los valores entre un rango preestablecido, que permite una mayor homogeneidad de la información, la información que sobrepase este rango predefinido se pierde (©FARO Technologies Inc., 2015; Corso Sarmiento, 2015). Los puntos se almacenan como coordenadas 3D en un sistema fijo al escáner y también se almacenan las amplitudes de la señal reflejada (intensidad).

4.2. Cámara

Se denominan cámara, porque su visibilidad, campo de acción y operatividad, son muy parecidos a los de una cámara de fotogrametría terrestre, por lo general el cuerpo de una cámara convencional no gira horizontalmente y su campo de vista está limitado a ángulos desde 30 a 45 grados en horizontal, hasta unos 60 grados máximos en vertical (Márquez, 2010). En cambio, los TLS tienen distintos parámetros de medición lo que intensifica o

reduce en color de acuerdo a la cantidad de luz presente en el espacio. Existen mediciones ponderada al centro, al horizonte o al ángulo cenital (©FARO Technologies Inc., 2015).

4.2.1. ¿Cómo funciona?

El funcionamiento se encuentra bastante limitado a un ancho de escena específicos, y consisten desde el punto de vista óptico, en un espejo interno que incrementa su ángulo horizontalmente, para que otro espejo interno realice un barrido desde arriba hacia abajo o viceversa, dispara el láser en los incrementos adecuados al sistema (Contreras, 2014).

Estos escáneres giran horizontalmente, y tienen a su vez un espejo rotativo vertical de alta velocidad, que les permite tomar prácticamente todo lo que tienen a su alrededor (Márquez, 2010), del mismo modo que una cámara fotográfica, se pueden seleccionar parámetros predefinidos según la escena y/o la calidad de escaneo deseado, por lo que es la bases de la fotogrametría moderna (Quimbay Lopez y Leiva Fonseca, 2016).

4.3. Geología

La palabra geología deriva del griego "geo" que significa Tierra, y "logos" tratado o conocimiento, por lo tanto, se define como la ciencia que persigue el conocimiento de la Tierra y se divide en dos áreas: la física y la histórica (Lutgens y Tarbuck, 2005). Estudia sus materiales, estructura, procesos, minerales y rocas, fósiles, terremotos y volcanes, montañas y océanos, suelos, paisaje, erosión y depositación. Igualmente, el origen de los planetas y evolución de las especies (ANH, 1997).

4.3.1. Geomorfología

Geomorfología, igualmente que la palabra anterior viene del griego Geos (Tierra), pero morphos (forma) y logos (estudio, conocimiento); por lo tanto, corresponde a la ciencia que estudia las formas de la Tierra (Gutiérrez, 2008). Además, se encuentra vinculada por elementos bióticos, geológicos, geográficos y antrópicos.

Se ha estandarizado la clasificación geomorfológica de acuerdo a la inclinación, origen y edad (Finkl, 2004), pero también de acuerdo al componente de terreno (Van Zuidam, 1986), forma del terreno (Zinck, 1988), componente geomorfológico (Carvajal, 2008), elemento del paisaje (Villota, 1991) o geoforma (Instituto de Estudios Ambientales, 2002), que constituyen la base de los sistemas de jerarquización geomorfológica basados en un orden taxonómico (Gomez, Carvajal, y Otero, 2013).

4.3.1.1. Geomorfología costera

En la clasificación de las costas se ha separado por su génesis: Emergentes, sumergentes, neutras y compuestas. Asimismo, por primarias y secundarias, de acuerdo a agentes terrestres o agentes marinos (Finkl, 2004; Bird, 2008; Gomez *et al.*, 2013; Castro-Ramirez, 2018). Shepard, establece una clasificación de costas de acuerdo a las características morfológicas y ecológicas; por ello las divide en primarias y secundarias. Las primarias se originan por procesos no marinos y las secundarias procesos marinos (Curry, 1985; Silva-Casarín *et al.*, 2011).

5. Zona de Estudio

5.1. Localización

El área de estudio se encuentra al occidente de Colombia en el departamento del Valle del Cauca, en el municipio de Buenaventura, en los corregimientos de Juanchaco y Ladrilleros (Figura 1). Está delimitada al oeste por el océano Pacífico, al este por bosques de manglares que se extienden a lo largo del estero y una serie de colinas en la margen trasera (INVEMAR, 2013). El presente estudio se enfoca en algunos de los acantilados de la bahía de Málaga. La bahía se ubica entre los $3^{\circ} 56' - 4^{\circ} 05' N$ y $77^{\circ} 19' - 77^{\circ} 21' W$, a 36 km aproximadamente al NW del puerto de Buenaventura (Cantera, 1991 en INVEMAR, UNIVALLE, y INCIVA, 2006).

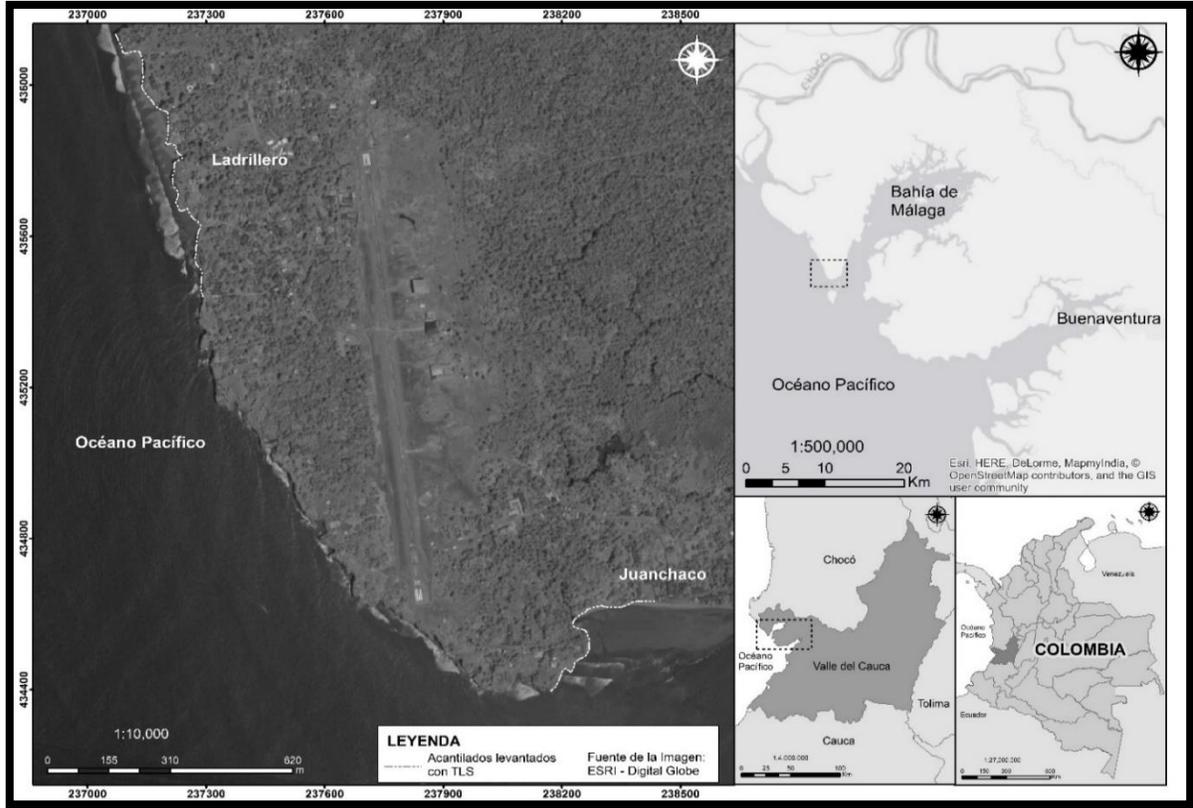


Figura 1. Localización del área de estudio en el pacifico colombiano, en el departamento del Valle del cauca, al occidente de la bahía de Málaga en los acantilados de los corregimientos de Juancho y Ladrilleros.

La presencia de estos acantilados se debe a las variaciones locales del nivel relativo del mar producto de la acción neotectónica y la transgresión durante el Holoceno (González, Shen y Mauz, 2014). Además, las características geomorfológicas de los acantilados están influenciadas por los sedimentos del río San Juan (Stronkhorst, van der Spek, y van Maren, 2013). La evolución de estos acantilados depende principalmente de la dinámica del océano Pacífico y por la bioerosión de los estratos. Los afloramientos están constituidos por una sucesión terrígena compuesta principalmente por lodos en la parte inferior con presencia creciente de lecho de areniscas finas hacia la parte superior, calizas, tobas, arcillolitas grises

y tufitas (Montoya, 2003; Servicio geológico colombiano, 2014), de edad Mioceno - Mioceno superior como se indica en la plancha geológica Malaguita 259 del Servicio Geológico Colombiano (2014) y Correa (1996). La zona de estudio se ubica en una secuencia sedimentaria continua de ~ 700 metros de espesor, bien conservada y casi sin deformación tectónica conocida como Sedimentitas de Ladrilleros (Plata, 2012; Vallejo, 2012).

La zona ha sido de gran interés por la variedad de fauna, flora y variación geomorfológica por lo que se han realizado análisis micropaleontológicos en diatomeas (Plata, 2012), foraminíferos, nannofósiles calcáreos (Vallejo *et al.*, 2016), radiolarios y palinomorfos (Plata *et al.*, 2018), biotopos localizados en forma dispersa (INVEMAR, UNIVALLE e INCIVA, 2006). Estos análisis han permitido conocer el comportamiento y las variaciones geomorfológicas que debido a las acciones ambientales, biológicas, tectónicas y antropológicas se presentan.

5.2. Marco Geológico

El territorio colombiano presenta interacción con distintas placas, como la Caribe, Nazca, Cocos y Sudamericana. Identificándose los eventos tectónicos regionales debido al cierre del Istmo de Panamá que ha conllevado cambios paleoceanográficos en el occidente colombiano, así como el levantamiento de la Cordillera Occidental, y a eventos de magnitud global, como la intensificación de las corrientes oceánicas durante el Mioceno (Garzón-Oyola, 2017). En el margen pacífico se encuentra la convergencia de la placa Nazca con la placa Suramericana (Megard, 1984; Mégard, 2011), lo cual provoca una topografía muy dinámica por efectos

tectónicos (ANH, 2008). Esto hace que la zona de estudio sea cambiante debido, en gran parte, a esta conversión de placas que originó el sistema montañoso en Colombia (Montoya, 2003).

La sección de Juanchaco-Ladrilleros, se localiza en la cuenca de antearco de San Juan (Pacífico colombiano), donde se encuentran afloramientos casi continuos del Mioceno medio – superior (Correa-Valero, 2015; Gomez-Gutiérrez *et al.*, 2014; INVEMAR, 2002) hasta depósitos del Cuaternario. La cuenca del San Juan se localiza entre el alto de Istmina (Duque-Caro, 1991 en González, 2006) y la falla de Garrapatas (Cossio, 2002 en Mora, 2011) (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Está constituida por biomicritas, cherts, areniscas, limolitas, conglomerados y algunos silos de dioritas de formaciones como Tadó (Eoceno superior), Formación Istmina, Conglomerados de La Mojarra y Formación Condoto del Mioceno (Cossio, 1994).

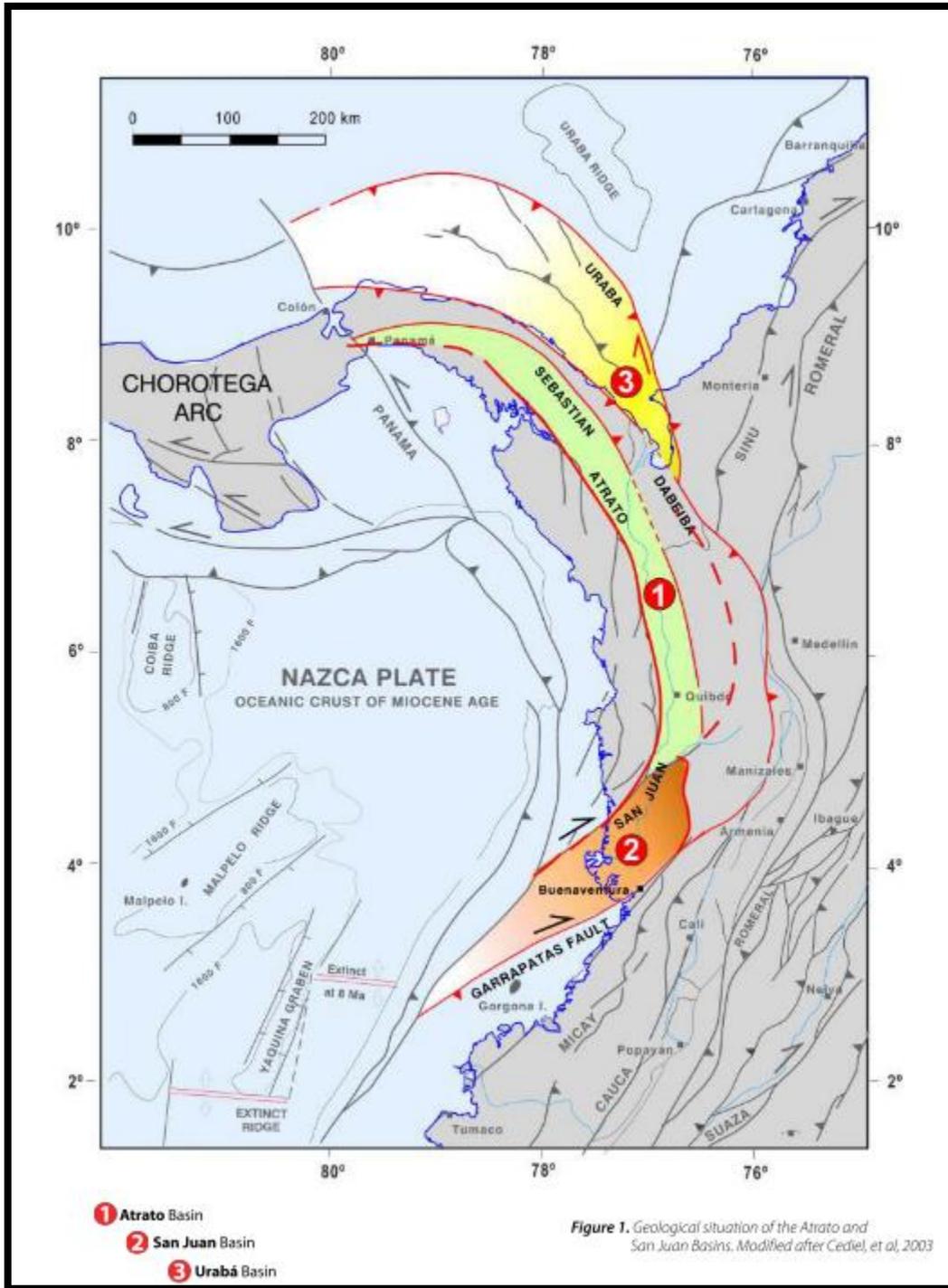


Figura 2. Localización de la Cuenca San Juan y algunos elementos tectono-estructurales. Tomado de Cediel et al. (2009)

Los aspectos geológicos y geomorfológicos de Bahía Málaga están influenciados por la tectónica de placas y las estructuras, así como, por los procesos que ocurren en la interfase mar-continente y constituyen una de las fuentes de diversidad ecosistémica que está presente en el Pacífico colombiano (INVEMAR, 2002). La constitución geológica y geomorfológica son determinantes en los procesos ecológicos integrales y además representan por sí solos una característica que define la particularidad de esta área (INVEMAR *et al.*, 2006). Se han identificado en el área de estudio depósitos cuaternarios de origen marino costero, como playas y depósitos de mareas; depósitos de origen marino continental, como el sustrato de los manglares y depósitos continentales, como terrazas y llanuras aluviales, localizadas a lo largo de los ríos (INVEMAR *et al.*, 2006).

5.3. Marco Geomorfológico

Los municipios de Juanchaco y Ladrilleros presentan rasgos geológicos muy marcados debido a la acción de las mareas, el oleaje y las continuas lluvias que han sido determinantes a la hora de formar y deformar el paisaje. Para poder categorizar los rasgos geomorfológicos basado en sus características, el IDEAM (2013) y el Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2017) establecen parámetros para nombrarlos de acuerdo a su ambiente de formación. Los rasgos presentes en Juanchaco y Ladrilleros son:

- ❖ Acantilado (Ma): Superficie de pendiente abrupta a vertical, escarpes que marcan el límite entre las terrazas o montañas, de longitud muy corta a corta, de forma cóncava

a convexa, generado a partir de procesos de erosión marina y movimientos en masa en materiales de litología variada (INVEMAR-GEO, 2015; SGC, 2013).

Estos acantilados pueden alcanzar desde 1 hasta 30 m de altura, pero sólo entre los 3 y 4 m inferiores se encuentran descubiertos, ya que el resto está cubierto por vegetación de selva húmeda muy espesa. Debido a que la roca constituyente de estos acantilados se encuentra muy fracturada, es muy común la presencia de erosión por caída de bloques, además de una intensa bioerosión en la parte baja de los taludes. En algunos sectores, como Ladrilleros y Juanchaco, estos acantilados conforman bahías irregulares de diferente tamaño en donde generalmente se forma playas (Idárraga-García, Posada, 2011; INVEMAR-GEO, 2015). Los acantilados estudiados están conformados principalmente por rocas sedimentarias de limolitas, limo-areniscas y arcillolitas, que están expuestos debido a la acción mareal y al levantamiento de las terrazas (**Figura 3**). Todo este material sedimentario está dispuesto en capas de acuerdo con gradientes de sedimentación, lo que ha determinado la existencia de capas alternadas de rocas duras y blandas (Cantera, Neira, y Ricaurte, 1998).

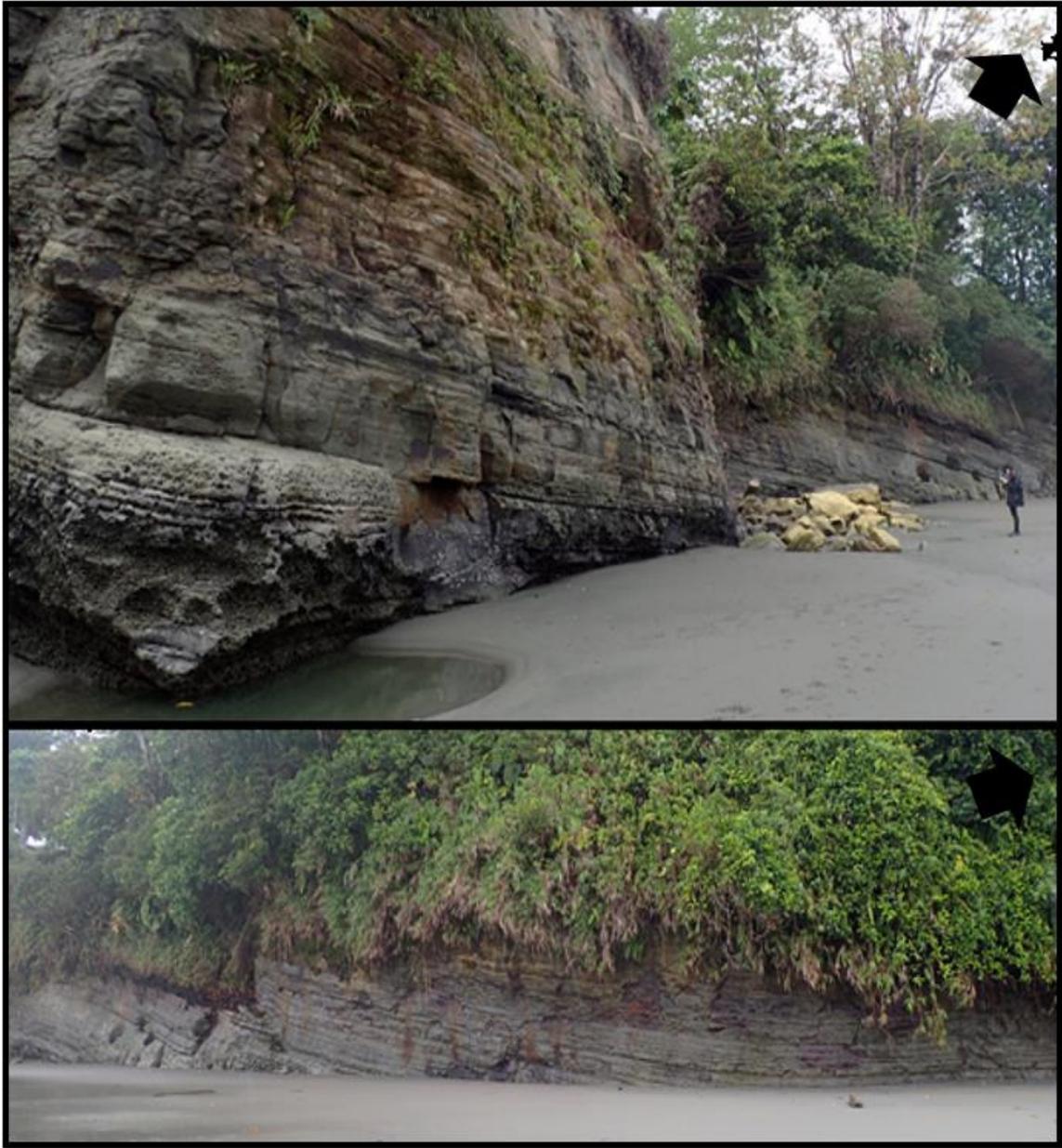


Figura 3. Acantilado de Juanchaco

- ❖ Playas (Mpl): En términos amplios la playa se identifica como zona de acumulación de sedimentos no consolidados que son transportados a la costa por el oleaje y las corrientes (SGC y Universidad Nacional de Colombia, 2014)

Las playas en el Pacífico colombiano se distribuyen tanto en las costas altas como en las bajas, con longitudes variables entre 1 y 10 km aproximadamente y amplitudes en mareas bajas entre 200 y 400 m (**Figura 4**), mientras que en marea alta escasamente pueden llegar a tener 2 a 3 m (Idárraga-García, Posada, 2011). Su pendiente es en general baja, entre 4 y 8°, y están compuestas por arenas finas a medias, ocasionalmente gruesas a gravosas, de color oscuro, debido a que provienen ya sea de la descomposición de las rocas volcánicas, o del alto contenido de materia orgánica y minerales ferromagnesianos (Posada, Henao, y Guzmán, 2009).

Las playas de la zona de estudio presentan amplitudes variables entre 10 y 150 m, su pendiente varía entre 2° y 10°, y están compuestas por arenas finas de color gris con gran cantidad de minerales ferromagnesianos, además, presentan amplitudes desde 50 a 100 metros (msnm) en régimen de bajamar, con es muy común, a lo largo de la zona de estudio, que las playas muestren signos de erosión como escarpes de playa y vegetación desarraigada y muerta. Se destacan, por su gran acogida turística, las playas de Ladrilleros y Juanchaco, que anteceden acantilados activos. (Idárraga-García, Posada, 2011; INVEMAR-GEO, 2015).



Figura 4. Playa en baja mar

- ❖ *Terrazas marinas (terrazas costeras, plataforma arrecifal) (Mtm):* Las terrazas son superficies elevadas horizontales a subhorizontales que sufren un desnivel respecto al nivel del mar. El origen de este desnivel puede ser tectónico o por cambios en el nivel del mar. Previo a la formación de una terraza marina es necesario un medio propicio para el crecimiento de corales y algas coralinas, o formación de playas. En contraste, también pueden generarse terrazas marinas a partir de plataformas de abrasión levantadas (SGC y Universidad Nacional de Colombia, 2014).

Las poblaciones de Ladrilleros y Juanchaco, se asientan sobre terrazas fluvio-marinas de superficie plana, subhorizontal conformada por depósitos fluviales y fluviomarinos, forjadas en rocas sedimentarias tipo lodolitas y areniscas de la Formación Mayorquín (Idárraga-García, Posada, 2011; Mora, 2011).

❖ Cavernas: Apertura entre rocas que se desarrolla donde la erosión marina ha penetrado en zonas de debilidad, y son comunes en formaciones rocosas que tienen numerosas articulaciones o fallas, o segmentos de roca más débil. Las cuevas tienen menos probabilidades de desarrollarse en formaciones rocosas débiles, donde la penetración del mar en repetidas ocasiones, provoca el colapso de la roca socavada (INVEMAR-GEO, 2015).

Se presentan cavernas asociadas a los acantilados en el sector, que alcanzan hasta 3 m de alto en marea baja y hasta 5 m de ancho y algo más de profundidad (**Figura 5**), y se forman por el continuo choque de las olas a lo largo de una zona de debilidad de la roca, como una fractura (Idárraga-García, Posada, 2011).



Figura 5. Algunas de las Cavernas en el área de estudio

5.4. Estratigrafía

Estratigráficamente la formación ubicada sobre la zona de interés son las sedimentitas de ladrilleros. La formación sedimentitas presenta particularidades importantes como su disposición en estratos paralelos a la base, igualmente presenta una fuerte inclinación como consecuencia de movimientos tectónicos durante su levantamiento (INVEMAR *et al.*, 2006).

Además, se evidencia gran variedad de fallas que interceptan los estratos, lo que muestra su actividad posterior a su depositación.

La Formación es una secuencia detrítica, constituida por rocas de grano fino. Montoya (2003) explica que la secuencia presenta capas muy gruesas con estratificación plana, paralela y continua, pero a medida que se asciende en la secuencia, las capas son de mayor espesor, medios a gruesos, y se torna monótona y repetitiva. Se evidencian Lodolitas de color gris claro, Lodolitas de color negro, arcillolitas y calizas. Areniscas de color gris y blanco amarillentas claras; de diferente tamaño, planas, paralelas y se presentan niveles de arena con estructuras de deslizamiento slump.

De norte a sur en Ladrilleros se encuentran Lodolitas grises con estratos desde muy gruesos a medios, así mismo tienen intercalaciones de Areniscas y Arcillolitas en capas más delgadas. Las areniscas son de color gris, negro y amarillo claro, tienen estructura granodecrecientes desde finas a limos, o desde gruesas a medias, o gruesas a muy finas. En el sector de Juanchaco se presenta intercalaciones entre lodolitas y arcillolitas dispuestas en capas continuas, homogéneas, con contactos netos, planos y paralelos; además Lodolitas con lentes de areniscas y arcilla y presenta bastante formas de bioturbación en la parte baja del acantilado (Montoya, 2003).

5.5. Geología Estructural

Los acantilados se encuentran presentes en la cuenca San Juan, de edad Mioceno temprano. Las rocas de las unidades del Oligoceno y Mioceno medio (sedimentitas calcáreo arenosas y sedimentitas arcillo lodosas) fueron plegadas y tienen buzamientos altos, mientras que las rocas más jóvenes, unidad lodoso arenosa y las formaciones Raposo y Mayorquín, se presentan subhorizontales a horizontales; además, las pocas fallas cartografiadas en esta región están asociadas a la Zona Deformada de Istmina, caracterizada por tener un estilo compresivo con estructuras de dirección N60° E (González, 2006; Nivia, 2001; Servicio Geológico Colombiano (SGC) y Universidad Nacional de Colombia, 2014).

5.6. Paleontología y Biología

En la secuencia Juanchaco-Ladrilleros se han realizado estudios que muestran que la acción de los organismos en los estratos rocosos, es de gran importancia para la variación geomorfológica del terreno. Cantera *et al*, (1998) argumentan que la acción de los organismos se combina con factores abióticos como la intensidad de los vientos, el oleaje, las mareas (amplitud), la naturaleza y la inclinación de las rocas. Además, se evidencia que las formaciones tienen procesos como la bioabrasión y la bioperforación; lo que provoca la pérdida constante de los estratos y da a origen a caída de roca.

La bioerosión ha sido descrita como un importante proceso biológico-geológico, responsable de la pérdida de estabilidad geomorfológica y los principales grupos que participan en el

proceso de Bioerosión son moluscos y crustáceos (Cantera, 2016). Además, Cantera, Neira y Ricaurte (1998) describen la presencia de gasterópodos, moluscos, crustáceos, microalgas que realizan la bioabrsión, igualmente, organismos como crustáceos y moluscos son los bioperforadores con el propósito de realizar refugios dentro de la roca (**Figura 6**). La zona ha sido de gran interés debido a la exposición de la roca y autores como Hernández-Rendón (2015) hacen una caracterización bioestratigráfica y sedimentológica asociada con nanofósiles calcáreos, por otro lado se realizan estudios de microfósiles de diatomeas y algunos silicoflagelados para ver los bioeventos de nanofósiles calcáreos (Plata, 2012). Igualmente se observó el comportamiento de los foraminíferos bentónicos en un intervalo de 42 m (comprendido entre 380-422 metros), y su respuesta a los cambios más importantes (Garzón-Oyola, 2017).

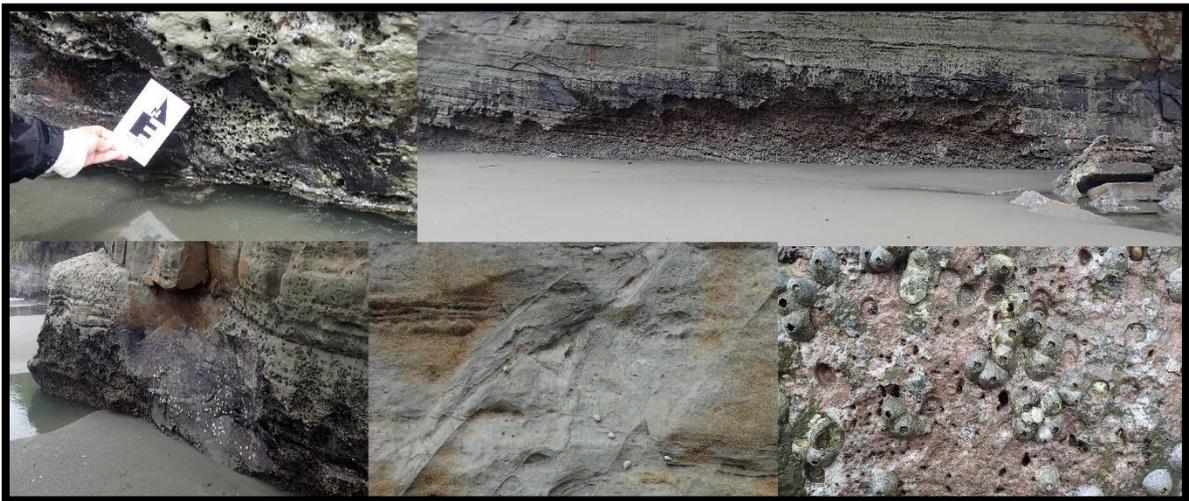


Figura 6. Bioerosión y presencia de *Fissurella virescens*, liquen negro y litófagas

5.7. Topografía y Clima

La zona presenta características topográficas e influencia del litoral, además, diversas condiciones locales de clima, caracterizado principalmente por el de tipo tropical que no indica periodos secos sino de menor pluviosidad. Los meses de abril a septiembre oscilan entre 4.000 y 8.000 mm/año (INVEMAR, 2013).

6. Metodología

La metodología que se emplea se basa en información primaria y secundaria de la zona, donde se utilizan las técnicas de trabajo de Pre-campo, campo y procesamiento de datos, las cuales en conjunto generan como resultado final la cartografía y caracterización de los estratos (*Figura 7*).

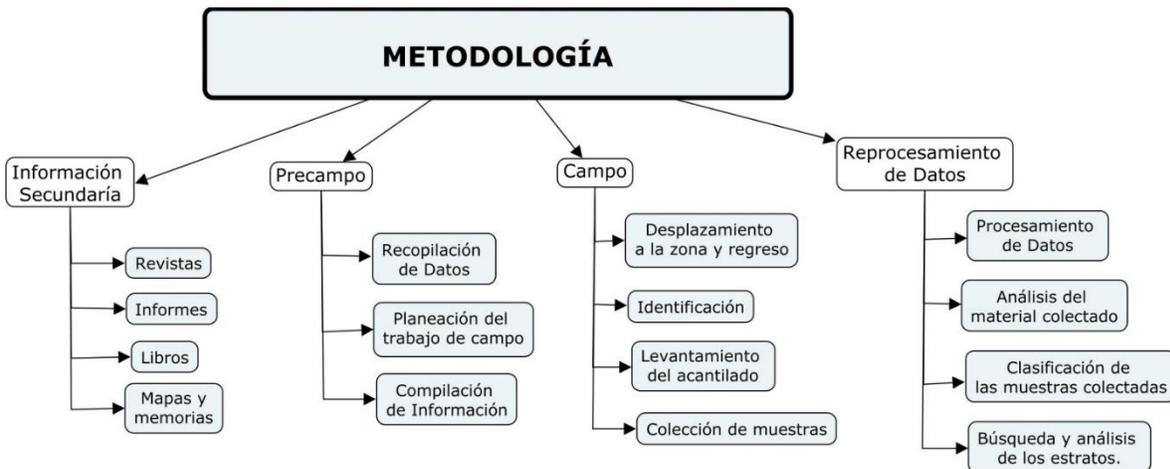


Figura 7. Metodología de trabajo

6.1. Etapa de Consulta o Información Secundaria

Se recopiló información de distintas bases de datos, libros, revistas indexadas e informes realizados por universidades y por el INVEMAR con el propósito de conocer diferentes metodologías y características tanto de la zona como de los escáneres.

6.2. Precampo

Se recopiló la base de datos estratigráficos, estructurales y geomorfológicos con el propósito de conocer los posibles datos a encontrar en la zona de interés. Posterior a ello se realizó una recolección de documentos con información de las características de los TLS, datos de RGB, rangos de intensidad de otros estudios con el que se caracterizó estratos rocosos. Igualmente se agruparon los distintos levantamientos realizados previamente con el TLS para generar las rutas de trabajo y zonas de posible cambio litológico basado en la coloración u intensidad (Tabla 1).

Tabla 1 Levantamientos realizados anteriormente en la zona de estudios por INVEMAR

<u>LEVANTAMIENTOS CON EL ESCANER LÁSER TERRESTRE</u>			
<u>JUANCHACO</u>		<u>LADRILLEROS</u>	
2015	2016	2015	2016
Número de Escaneos 4	Número de Escaneos 3	Número de Escaneos 6	Número de Escaneos 9

Los levantamientos realizados previamente en la zona de estudio se realizaron durante el 2015 y 2016 en temporada de lluvia, lo que nos indicó que la humedad fue un factor de

influencia durante estos análisis (**Figura 8**). Por ello fue necesario hacer la implementación de softwares como el SCENE, para realizar la georreferenciación y la depuración de información poco necesaria para el enfoque de estudio, como lo son las playas en la parte inferior y la vegetación en la parte superior (**Figura 9**), debido a que esto provocaba ruido. Se determinó el número de muestras a levantar, basado en una clasificación no supervisada, teniendo en cuenta el cambio de percepción de la intensidad (**Figura 10**) y el RGB (**Figura 11**).

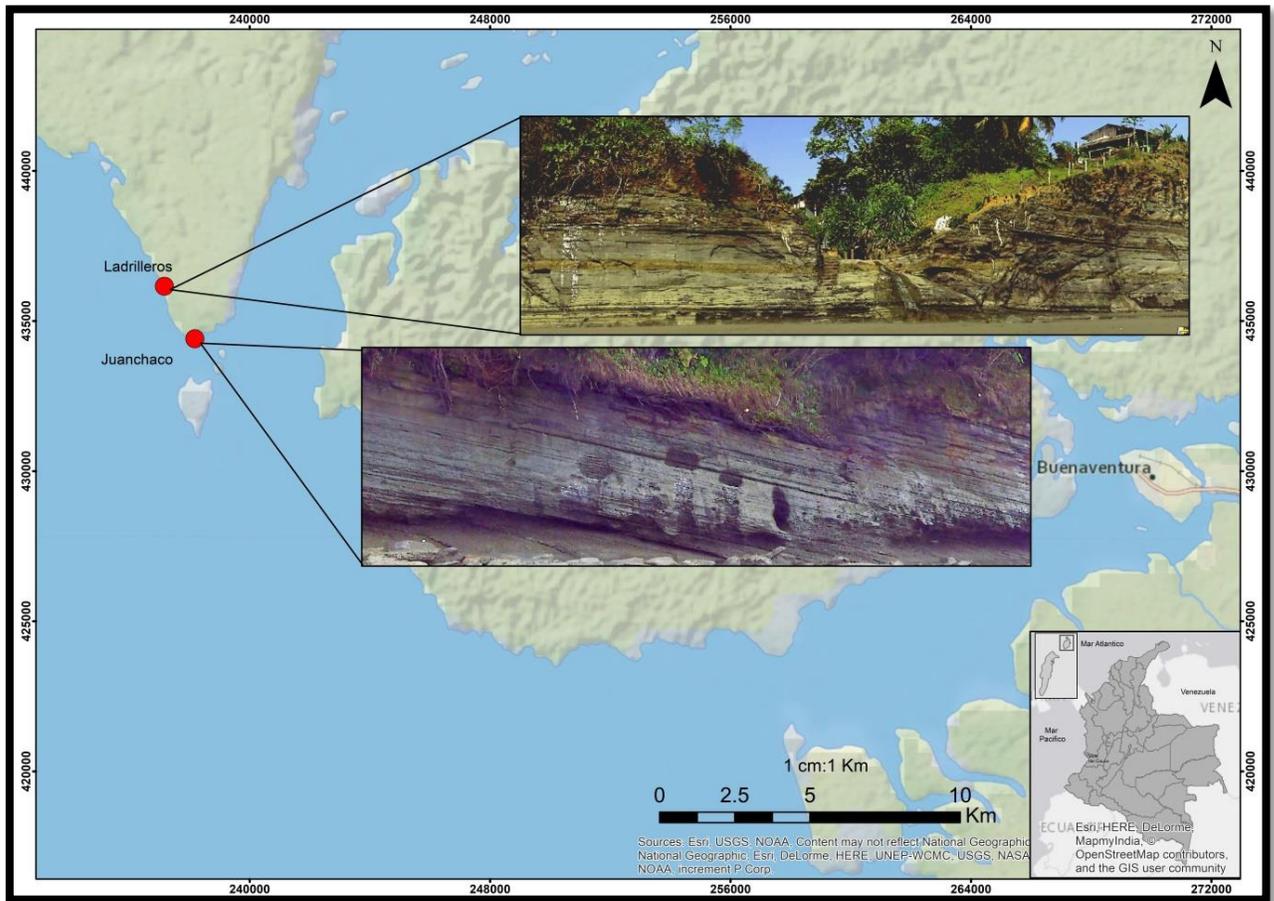


Figura 8. Mapa de Localización y nube de puntos en RGB de los acantilados de Juanchaco y Ladrilleros.

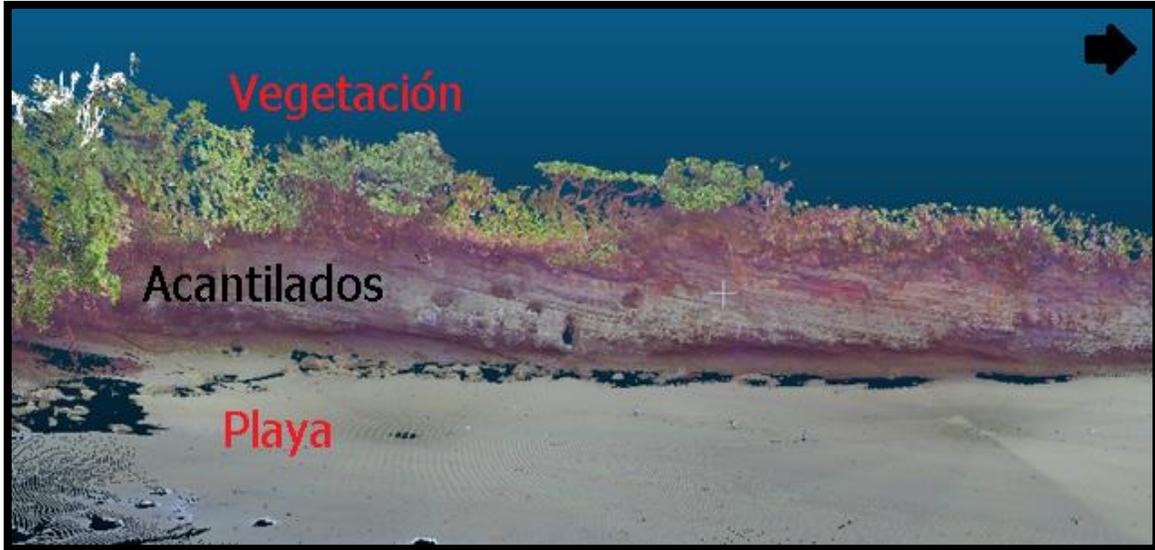


Figura 9. Nube de puntos crudos de Juanchaco

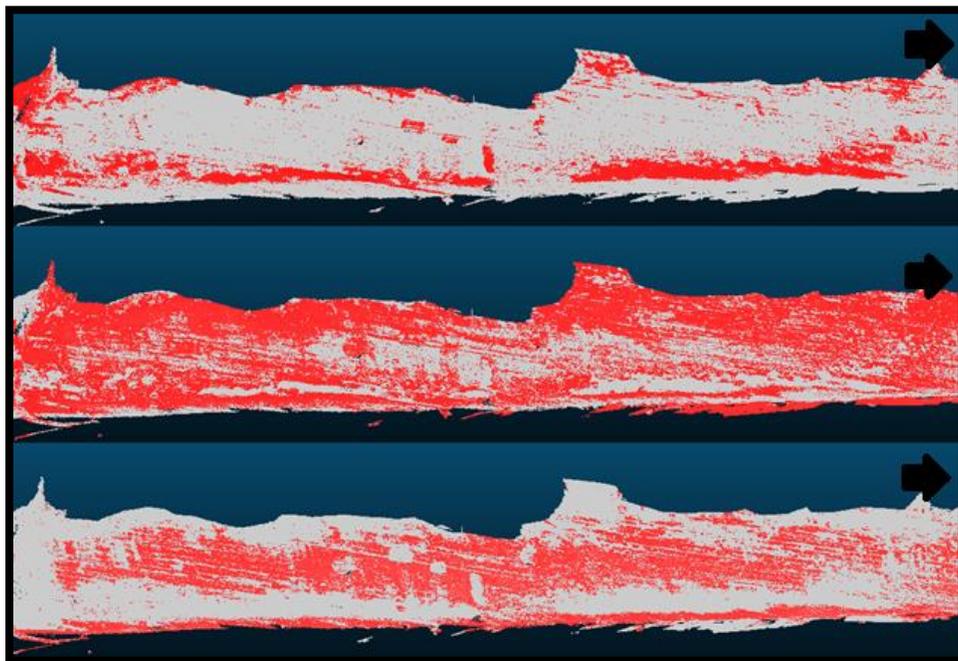


Figura 10. Clasificación no supervisada basada en la intensidad para Juanchaco

(Cloudcompare)



Figura 11. Clasificación No supervisada basada en el RGB para Juanchaco (SCENE)

6.3. Campo

El día 8 y 9 de noviembre del 2018 se realizó levantamiento de campo de los acantilados de Juanchaco y Ladrilleros, donde se obtuvieron 18 muestras previamente seleccionadas a partir de los posibles cambios litológicos basados en el cambio de intensidad y en el cambio RGB proporcionado por los levantamientos previos con el TLS.

El levantamiento de los afloramientos se planteó de acuerdo al pronóstico mareal proporcionado por el IDEAM (2018). Conforme a lo anterior se determinó iniciar labores el día 8 de noviembre en horas de la mañana de las 10 de la mañana, hasta las 2 pm y para el día 9 de noviembre de 11 a.m. a 5:30 p.m.



Figura 12. Toma de muestras Juanchaco

En el caso de Juanchaco se levantó el día 8 de noviembre 2018 donde se evidenciaron los distintos estratos, litologías, fallas y estructuras. El acantilado presentó alturas desde los 2 a 12 metros. Posteriormente se levantó una columna estratigráfica que por la inclinación de los estratos se realizó de base a techo. El levantamiento se ejecutó en el acantilado entre las coordenadas 238269.984 Este y 434474.163 Norte y 238226.304 Este y 434429.813 Norte, donde se establecieron 3 estaciones con el fin de obtener la columna estratigráfica completa y a la vez poder tomar las muestras. Además, se tomaron distintos puntos de control en los que se colectaron 6 muestras de roca (**Figura 12**) con el fin de ver si había variedad en su composición basados en la interpretación realizada anteriormente. Se buscó poder ver si su cambio en el RGB y en la Intensidad se debió a factores como composición mineralógica, porcentaje granulométrico, porcentaje de carbonato de calcio en las rocas (calcimetría).



Figura 13. Afloramiento de Juanchaco (Base - Techo)

El día 9 de noviembre se realizó el levantamiento del acantilado de Ladrilleros. Debido a la amplitud del acantilado, a la acción de las mareas y a las fuertes lluvias de ese día; se

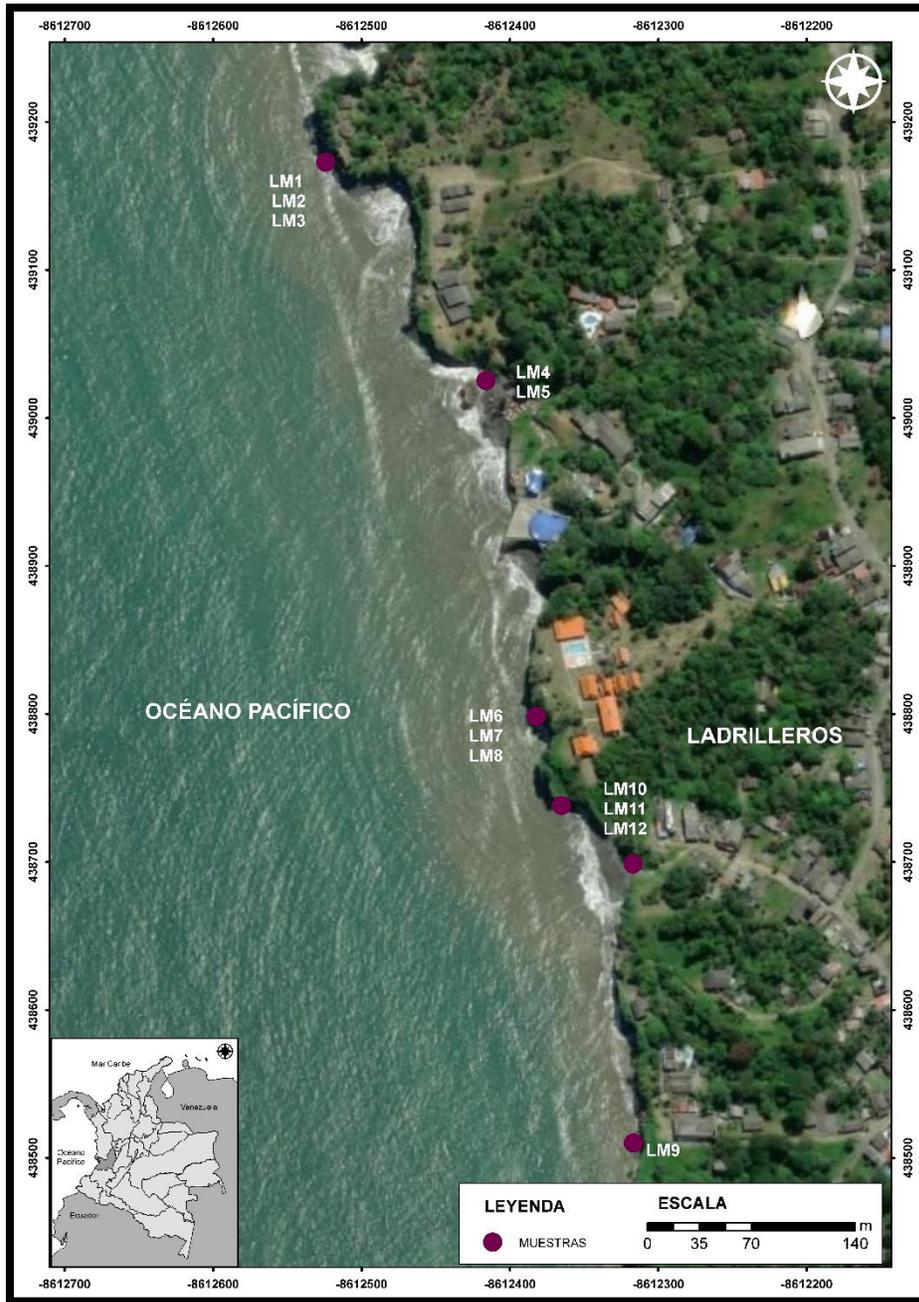


Figura. 14 Toma de muestras Ladrilleros

estableció levantar la zona desde sus extremos hasta el centro del poblado. Se establecieron 5 estaciones en las cuales se recolectaron alrededor de 12 muestras (Figura. 14); y se procede de base a techo en las zonas de interés. Así mismo se determinaron puntos de

control de acuerdo a las variaciones observadas en el precampo, y mediante el GPS garmin se determinaron el lugar donde extraer muestras para el análisis de laboratorio (Tabla 2).

Tabla 2. Estaciones de toma de muestras con coordenadas, se hizo tomas en la vertical del afloramiento

PUNTO	X	Y
JM1	-77.357	3.927544
JM2	-77.357	3.927544
JM3	-77.357	3.927544
JM4	-77.357262	3.927334
JM5	-77.357262	3.927334
JM6	-77.357262	3.927334
LM1	-77.367689	3.94206
LM2	-77.367689	3.94206
LM3	-77.367689	3.94206
LM4	-77.366846	3.940565
LM5	-77.366846	3.940565
LM6	-77.366345	3.938688
LM7	-77.366345	3.938688
LM8	-77.366345	3.938688
LM9	-77.365759	3.936104
LM10	-77.365841	3.937827
LM11	-77.365847	3.937825
LM12	-77.365922	3.938008

6.4. Postcampo o Procesamiento de datos

El estudio se enfocó en las muestras con mayor variación composicional basado en la “tonalidad” que se determina en el precampo mediante la información de intensidad reflejada y RGB. El procesamiento de datos se dividió en 3 partes. Primero el análisis del material colectado y la clasificación de las muestras obtenidas en campo mediante la granulometría,

mineralogía y calcimetría presente en cada muestra. Posterior a esto, la clasificación de los estratos mediante una categorización supervisada de acuerdo a los rangos de intensidad de reflectancia y RGB.

6.4.1. Granulometría

Para el análisis granulométrico de las muestras se realizó el procedimiento de acuerdo con la naturaleza de los sedimentos y su grado de litificación. En el caso de Juanchaco y Ladrilleros se determinó la granulometría por tamiz y pipeta sugerido por Folk (1974) y Pardo-Trujillo (2003). Las muestras fueron diluidas y trituradas para poder realizar la granulometría (**Figura 15**), se le asignaron letras a cada tamaño de grano para mayor facilidad (Tabla 3).

Tabla 3. Nomenclatura de cada tipo de Sedimento

TAMIZ	PIPETA
A: Conglomerado	G: Limo grueso
B: Arenas muy Gruesas	H: Limo Medio
C: Arena Gruesa	I: Limo Fino
D: Arena Media	J: Limo muy fino
E: Arena Fina	K: Arcilla
F: Arena muy Fina	

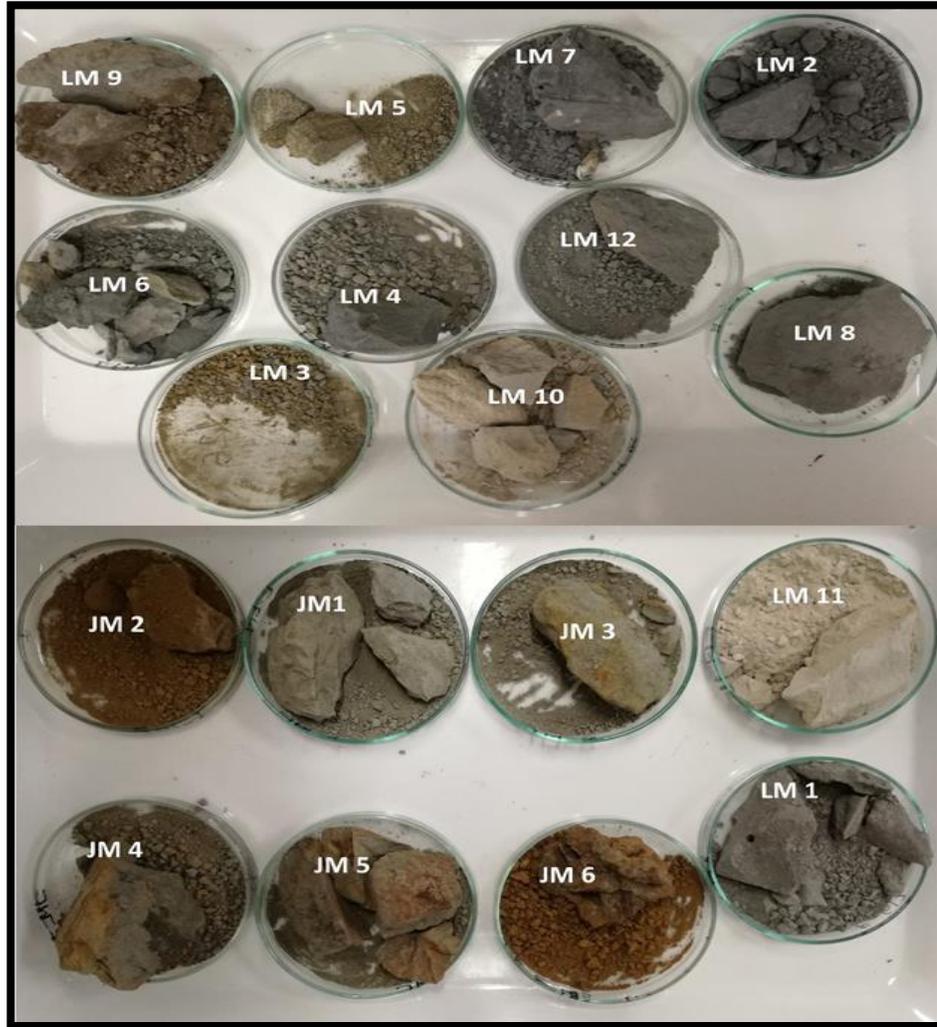


Figura 15. Muestras secas listas para triturar y desprender

6.4.1.1. Granulometría por Tamiz (Conglomerado y Arenas)

Con respecto a la granulometría por tamiz el porcentaje de material presente en cada muestra al pasar por cada tamiz con tamaños desde < 2 mm hasta los > 0.063 mm que pasa por tamices como (Tabla 4):

Tabla 4. Tamaño de Tamices

>2.0mm	1.0 - 2.0 mm	0.5 - 1.0 mm	0.25 - 0.5 mm	0.125-0.25 mm	0.063 - 0.125	<0.063mm
(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	mm (g)	(g)

6.4.1.2. Granulometría por Pipeta (Lodolitas y Arcillolitas)

1. Se tomaron 15 gr de cada muestra y se enumeraron de acuerdo a lo programado en campo (Jm1, Jm2, Jm3...Lm12).
2. Se diluyeron la muestra con un anticoagulante (hexametáfosfato de sodio) (FiguraFigura. 17) por varios días.

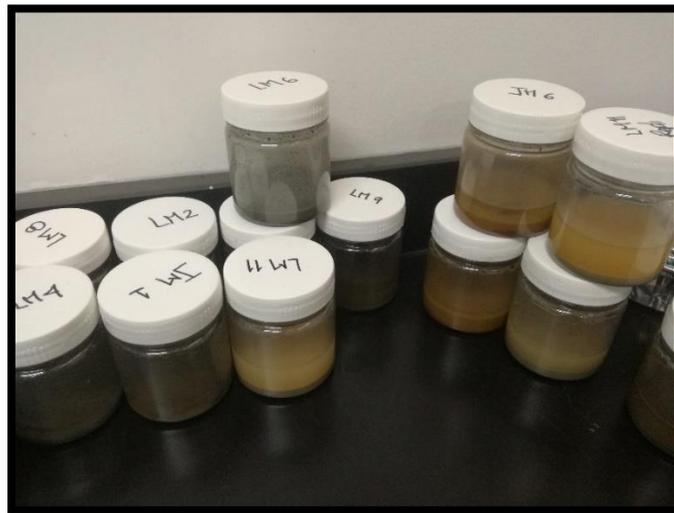


Figura 16. Muestras con anticoagulante

3. Se puso en un agitador mecánico (FiguraFigura. 18) hasta que la dispersión fue completa durante una semana.



Figura 17. Plancha para agitación

4. Se mezcló el dispersante más los 15 gr de muestra más agua destilada en una probeta de 1000 ml
5. Se tomó una cantidad fija de suspensión por medio de una pipeta graduada (20 ml) (**FiguraFigura**. 19), a una temperatura determinada entre los (19-26 °C) y durante los tiempos de 2 segundos, 1 min. 45 s, 6 min. 58 s, 28 min., 1 h 51min. con el fin de calcular la relación entre asentamiento de las partículas y el tiempo.

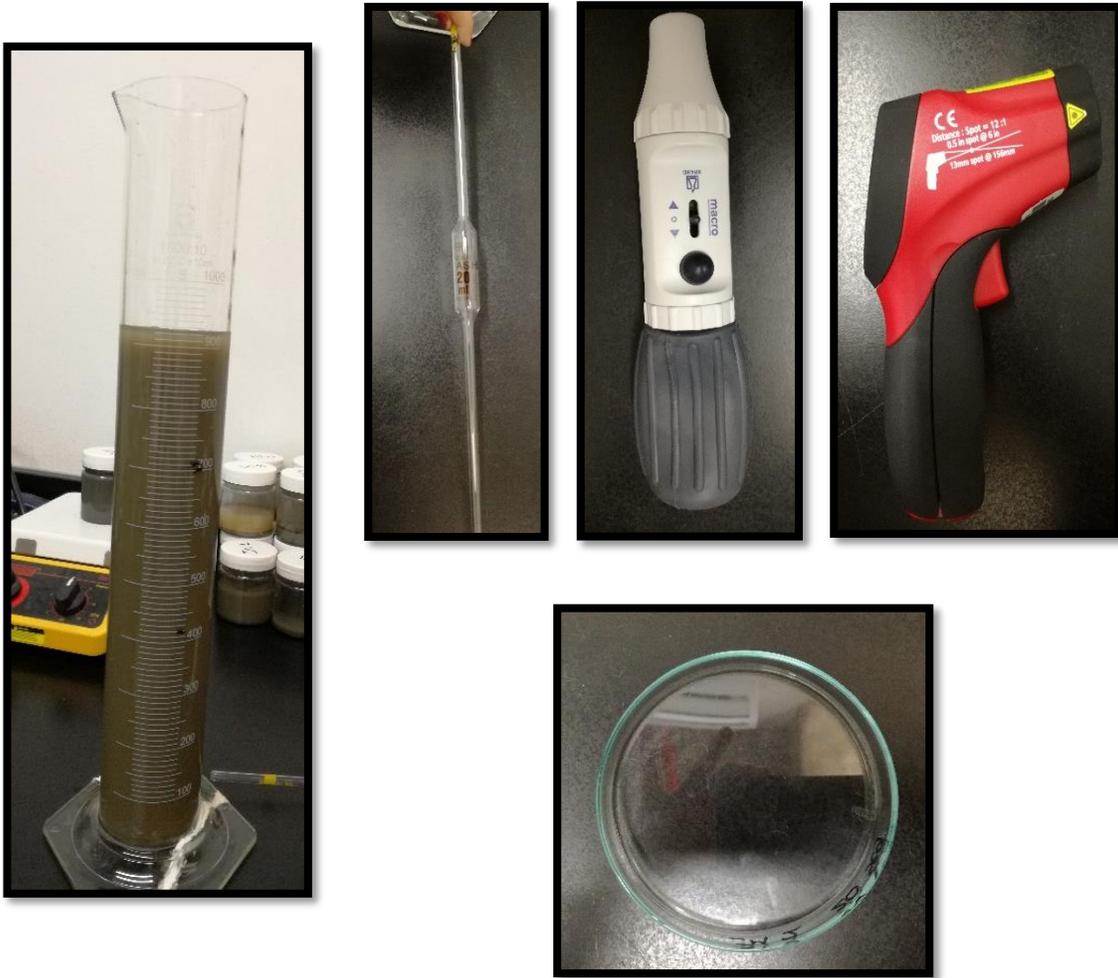


Figura 18. Probeta, pipeta, extractor, termómetro y placa de petri.

6. Se lavó cada muestra y se secó.
7. Por último, se pesó y se clasificó de acuerdo al porcentaje granulométrico.

6.4.2. Mineralogía (SLIME SLIDE)

El análisis de la mineralogía de los densos permite establecer cambios composicionales de los estratos que componen las sucesiones en los acantilados ya que estos minerales son

representativos porque solamente constituyen el 1% del total composicional de una arenisca. Adicionalmente, el estudio de los minerales densos puede establecer la procedencia de los sedimentos. Sin embargo, la variación composicional y mineralógica es mucha en ambos acantilados, por ello se decidió tomar 2 secciones para poder establecer rangos de intensidad de acuerdo al tipo de roca, que ya fue determinada; especialmente se tomó la sección del acantilado de Juanchaco (6 secciones) y la estación 5 de Ladrilleros (3 secciones). Por su variación composicional, variación en coloración de las rocas y a la estructura paralela de los estratos.

Las muestras se tamizaron y posterior a ello se batearon con el propósito de conservar los minerales densos; después se hizo el montaje de muestras para ser observadas a través del microscopio de luz transmitida empleando el método de cinta planteada por Galehouse (1971), con lo que se contaron los granos y fue maniobrado por medio del carro transportador, fijado en la platina giratoria. Se contaron aproximadamente más de 300 granos.

1. Como todo procedimiento en laboratorio se desinfecto la zona de trabajo, se colocaron los guantes respectivos.
2. Se limpió todo objeto a utilizar como los portaobjetos, los cubre objetos (**FiguraFigura**. 20), la navaja (aplicar alcohol después de cada uso), los clips, entre otras cosas; con el propósito de no almacenar otro tipo de sedimento o contaminante que con lleve a la mal interpretación de los datos.

3. Posteriormente se ubicó el portaobjeto sobre la plancha menor a los 65°C para no alterar las condiciones estables de los minerales y que con ello se perdiera algunos minerales valiosos.



Figura 19. Porta objetos y cubre objetos

4. Se depositaron los minerales densos sobre un pedazo de papel mantequilla y se realizó el cuarteo de los granos las veces que fueran necesarias con el propósito de mezclar y dejar lo necesario para poner sobre el portaobjetos. Una vez fueron divididos los minerales de acuerdo a la concentración, se taparon con los Petri esterilizados.
5. Sobre el portaobjeto que se ubicó sobre la plancha caliente (**FiguraFiguraura. 21**) se preparó la resina LM 36B (3 gotas) con el reactivo LM 36A (3 gotas) y se mezcló con el clip.



Figura 20. Plancha (Caliente)

Posteriormente se le adicionaron los sedimentos y se mezclaron nuevamente en forma de cuadrado.

6. Por último, se colocó el cubre objetos y se dejó secar por alrededor de 24 horas. Después de esto se pudo visualizar los distintos minerales en el microscopio y se almacenaron para futuros estudios (**FiguraFigura. 22**).



Figura 21. Caja de almacenamiento de las secciones

6.4.3. Calcimetría

El análisis del porcentaje de carbonato de calcio presente en las muestras se realizó de acuerdo a los protocolos establecidos en el Laboratorio de sedimentología del INVEMAR, según la metodología del Calcímetro Bernard (Duchaufour, 1965).

56

6.4.4. Escáner Láser Terrestre (TLS)

6.4.4.1. Descarga de Datos

Inicialmente los datos interpretados fueron los realizados por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (INVEMAR) durante los años 2015 y 2016. El escáner almacenó la información en la SD con el fin de conservar la información conforme al avance. En la tarjeta se creó una carpeta con el Nombre del proyecto en formato *.fls, en donde se guardó dos carpetas una llamada Bitmaps y otra Scans; al mismo tiempo se crearon los archivos llamados .classid, main y uno complementario de tipo Láser Scan *.fls los cuales almacenaron la información levantada en campo (Castro-Ramirez, 2018).

6.4.4.2. Procesamiento

Los levantamientos utilizados para la caracterización litológica se procesaron en softwares como SCENE, posteriormente en Cloudcompare y ArcGis. La captura de la imagen (nube de puntos) del terreno con una resolución milimétrica, fue usada para ajustar las coordenadas (xyz) de amarre; los puntos de control tomados en el 2016 mediante la estación total topcom

gpt-3205, con la que se estableció puntos de amarre con coordenadas exactas (Figura 23).

Inicialmente, los datos fueron descargados y manipulados en el software SCENE (INVEMAR-GEO, 2015), con el objeto de hacer el amarre entre los mapeos con estación y tils al mismo sistema de coordenadas y obtener una georreferenciación más exacta.

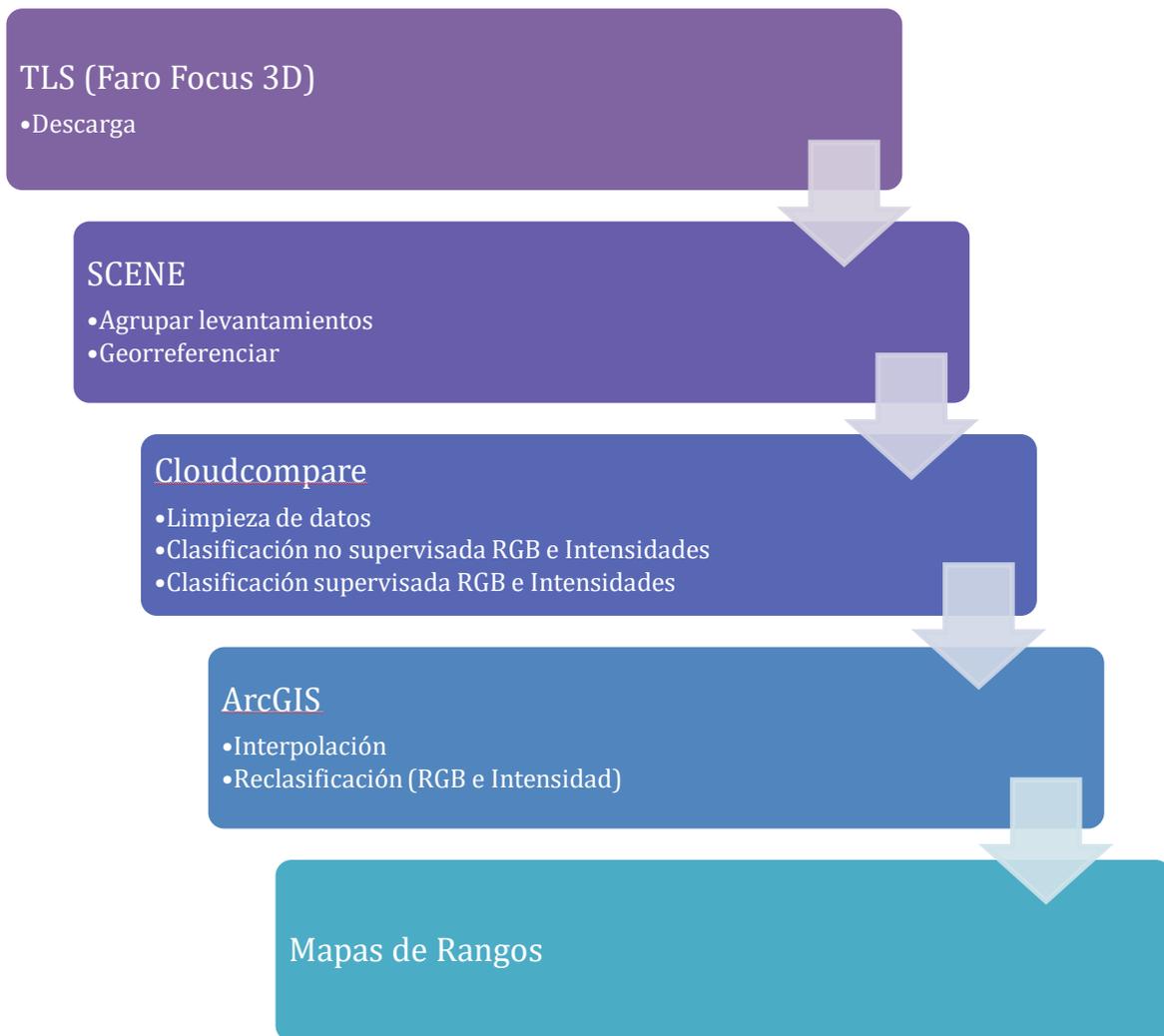


Figura 22. Procesamiento de datos TLS

La información durante el 2015 indica que el dispositivo se armó en dos estaciones para capturar el afloramiento completo; se ubicó entre 38 m y 33 m de distancia del afloramiento, además abarcó una amplitud de 60 m hacia el margen izquierdo y 56 m en la margen derecha del acantilado (**Figura 23**). La altura del acantilado no superó los 11.4 m en la parte más alta y la parte más baja llegó hasta desaparecer con la playa. Por otra parte, durante el 2016 el escáner se ubicó entre 14 m y 16 m y captó una amplitud de 20 m hacia el margen izquierdo y 30 m en el derecho.

58

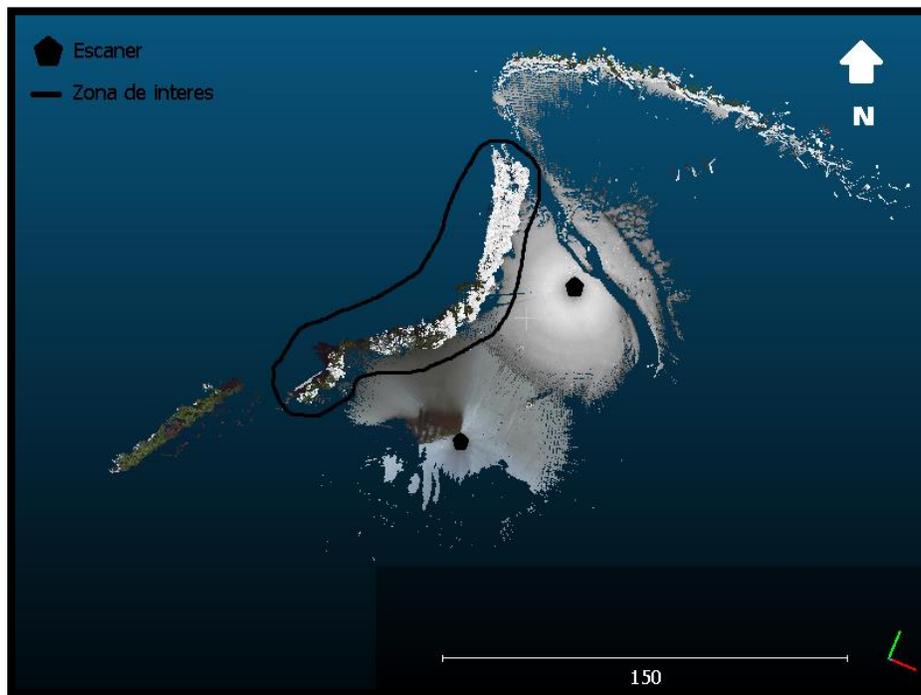


Figura 23. Acantilado de Juanchaco y puntos de ubicación del escáner

Con relación a Ladrilleros el escáner calculó una longitud del acantilado de alrededor de 882 m, debido a la amplitud y a la homogeneidad del material se decidió, tomar 3 partes para tener secciones cortas, pero bien definidas. Donde la variación composicional y estructural de los estratos se comparó en campo con la fotointerpretación.

La estación 3 mostró una altura del acantilado de 14 m en su zona más alta y unos rangos de levantamiento entre los 25.42 m (Izquierda) y 22 m (Derecha) para el levantamiento del 2015 (Figura 24).

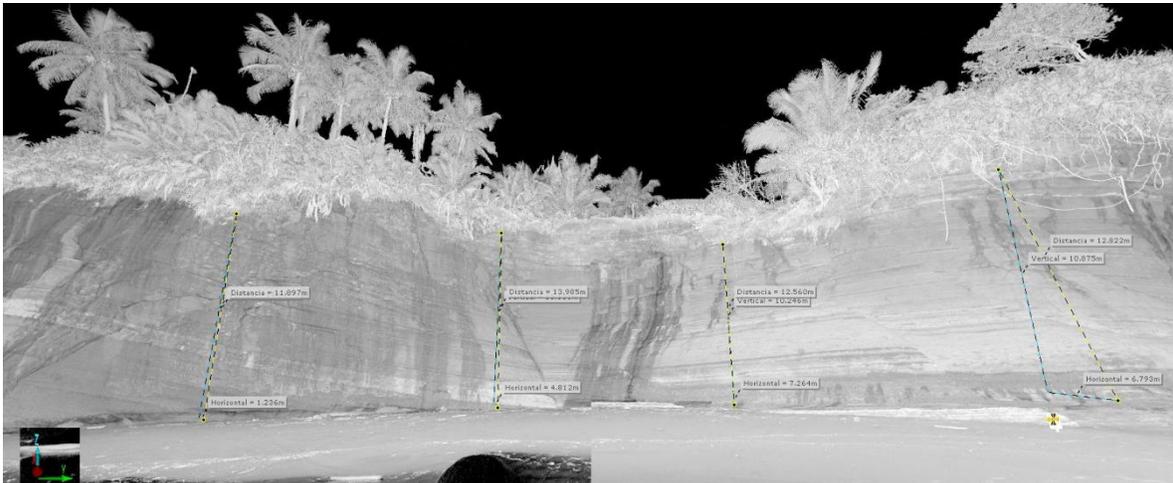


Figura 24. Altura del acantilado en la estación 3

En La estación 5, la amplitud del levantamiento abarcó 62 m hacia la margen izquierda y 56 m hacia la margen derecha del acantilado. Esta sección se realizó con 2 posicionamientos del escáner. Las alturas estuvieron entre los 5 m y los 11 m, en los datos recolectados en el 2015 (Figura 25).

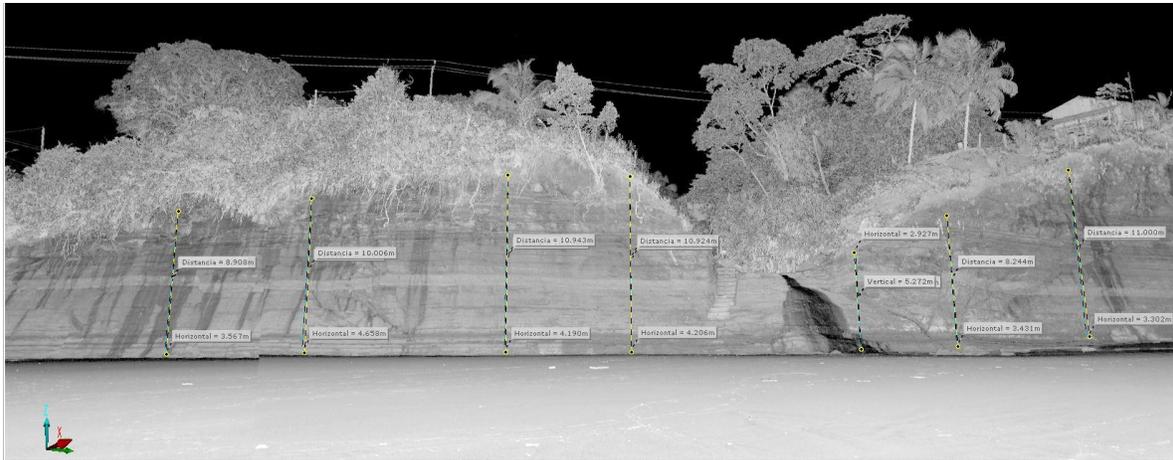


Figura 25. Altura del acantilado en la estación 5

Posteriormente se hizo una depuración de los datos innecesarios en el software CloudCompare como Arboles, Playa, Rocas y personas, con el propósito de conservar solo los acantilados. La clasificación basada en la intensidad reflejada se realiza mediante 2 software con el fin de observar variación en la clasificación. La nube de puntos se procesó en el software **ArcGIS®** y Cloudcompare.

Una vez la información se introdujo en ArcMap (x,y,z,r,g,b,i) se procedió a convertir los valores de x en (y) los de y en (z) y los z en (i intensidad) para poder ser observados en vertical, donde se hizo una interpolación (Natural Neighbor), que arrojó una mejor correlación de los datos y se reclasificaron de acuerdo a las características granulométricas y mineralógicas con la intensidad.

7. Resultados

En campo se corroboró que no todos los afloramientos presentaban variación composicional litológica, sino que se debía a una variación superficial en el terreno por lixiviados y

vegetación ausente, que corresponde a agentes erosivos que se encuentran de manera superficial (patina). Además, el terreno tiene una alta humedad relacionada con las condiciones atmosféricas de la zona.

7.1. Descripción y columnas estratigráficas

61

7.1.1. Juanchaco

El levantamiento del acantilado de Juanchaco permitió hacer una columna estratigráfica continua para la zona de comparación (Figura 27). La orientación de los estratos es entre los N55E - N75E, buzando a los 5, 10, 11 y 12. El afloramiento completo se encontró estratificado, erosionado y bioerosionado.

A continuación, se describen los diferentes estratos de base a techo encontrados en la columna estratigráfica de Juanchaco de acuerdo a su espesor y litología:

A: una capa de Lodolita de color gris con alta presencia de bioturbación de 0.678 metros. La roca presenta presencia de un liquen de color negro del genero *Verrucaria*. tal y como lo indican Cantera, Neira y Ricaurte (1998), este liquen hace parches circulares sobre la roca sirve como alimento para algunos gasterópodos y crustáceos (**FiguraFiguraura. 28**).



Figura 28. Lodolita de color gris con presencia de liquen en la zona superficial

B: La capa siguiente es una capa de 3.24 metros compuesta de lodolitas de color gris oscuro (**FiguraFiguraura. 29**) con presencia de bioturbación y de organismos gasterópodos

(*fissurella virescens* y *scurria mesoleuca*). Además, presenta intercalaciones de roca arcillolita con espesores de 0.02 metros. Esta estratificación se diferencia de las anteriores debido a la escasa presencia de líquen verrucaria y a la pérdida de organismos en su superficie. Los estratos miden alrededor de 0.8 cm a 1cm entre estratos; por otro lado, presenta alta oxidación en su parte superficial, las arcillolitas se encuentran levemente laminada al tener un tipo de plegamiento debido al peso de las rocas superiores.



Figura 29. Arcillolita laminada con oxidación.

C: Lodolita con estratificación plana, de color gris oscuro y altamente alterada debido a materia orgánica previamente sujeta a este estrato, dándole un color amarillo en superficie (**FiguraFigura** 30), debido a la lixiviación de los suelos. El estrato tiene un espesor

alrededor de 6.56 metros de alto lo que se corroboró con el equipo faro láser. Y entre sus estratos tiene un espesor de 0.08 m. igualmente, presenta material vegetal sujeto en el estrato.



Figura 30. Lodolita con bioturbación de litófagas

D: Lodolita de color gris oscuro con bioturbación alta y presencia de líquen en todo su espesor de alrededor 1.875 m

E: Lodolita de color gris oscuro estratificado con un ancho de 3.607 metros de espesor y con presencia de material vegetal sujeto al acantilado.

F: Capa de Lodolita de color gris con presencia de nódulos de arena oscura con alta presencia de bioturbación (**FiguraFigura** 31), esta bioturbación está acompañada de líquen negro de género *Verrucaria* igualmente tiene cavidades en cortes transversales, tiene un espesor de 1.45 metros.



Figura 31. Lodolita (gris) con lentes de arenisca (gris)

G: Lodolita de color gris con intercalaciones de arcillolita (**FiguraFigura** 32) con espesor entre 0.009 m y 0.025 m de ancho entre los lodos, alberga conchitas. Puntos blancos en la roca.



Figura 32. Capa de arcillolitas con presencia de Scurri mesoleuca

H: Lodolita con estratificación planar, de color gris oscuro y altamente alterada debido a materia orgánica en la parte superior, dándole un color en superficie de rojizo debido a la lixiviación de los suelos este estrato tiene un espesor alrededor de 1.5 metros de alto lo que se corroboró con el equipo faro láser. Sus estratos tienen un espesor de ~8cm., con presencia de raíces y puntos blancos en la roca.

7.1.2. Ladrilleros

Ladrilleros fue dividida en 5 estaciones de norte a sur (Tabla 4):

e cada estrato en las estaciones de la localidad de Ladrilleros

Tabla 4 Descripción de base a techo de las columnas estratigráficas basado en litología, estructuras y características de cada una

LOCALIDAD	ESTACIÓN	ESTRATO	DESCRIPCIÓN
LADRILLEROS	1	Limolita de color gris oscuro alrededor de ~3 metros.	Las 3 primeras muestras se clasifican de acuerdo a su porcentaje de material fino en ellas, aunque en su coloración es distinta debido a factores como la humedad, la bioerosión y el porcentaje mineralógico entre estas (Figura 26).
		Areniscas de color gris oscuro, de tamaño de arena fina. Arena bien seleccionada, submadura con una redondez angulosa y subprismático a medida que se avanza hacia la zona urbana, la capa de arena tiene un espesor de ~0.3 m	
		Limolita similar a la de la base.	
		Areniscas de color gris oscuro, de tamaño de arena fina. Arena bien seleccionada, submadura con una redondez angulosa y subprismático a medida que se avanza hacia la zona urbana, la capa de arena tiene un espesor de ~1 cm	
		Limolita de color gris claro con alta tasa de Bioerosión y presencia de líquen; dándole un aspecto de color negro. El	

	<p>espesor de este estrato es de ~1.5 metros, con estratificación de lodolitas sin bioerosión</p>	
2	<p>Areniscas poco consolidadas, arenas de playa con laminación plano paralelas.</p>	<p>Los contactos de estas 3 litologías es un contacto inferido debido a que no es claro el inicio y final de cada estrato (Figura 27).</p>
	<p>Arenisca con gradación decreciente en la parte superior de este estrato la arena es de tamaño fino con espesor de capa ~0.9 cm.</p>	
	<p>gradación de arenas granodecreciente con espesor de ~2 cm</p>	
	<p>Láminas de arcilla menor a 1 cm</p>	
	<p>Areniscas granodecreciente a tamaño fino de color pardo amarillento además es una roca matriz soportado, con una selección moderada a pobre, submadura, subprismatico en esfericidad y redondez subanguloso.</p>	

		Limolita de color negro con un contacto neto entre la lodolita de color negro y una depositación areniscas de tamaño medio	
	3	Limolita de color gris oscura con intercalaciones de areniscas en la parte alta del afloramiento de color claro.	El afloramiento presenta una estructura de falla que corta el afloramiento, falla normal, la horizontalidad de los planos no permite realizar el levantamiento de la columna estratigráfica completa. El afloramiento es de 10 metros de alto hasta los 15 metros en la parte central.
	4	Limolita de color gris sin estructuras, ni estratificada.	Se evidencia variación de color debido a la influencia

			de las olas en el proceso de aumento de marea y debido a los porcentajes de materia orgánica, posiblemente.
5	Limolita de color gris con espesor de 1.43 metros.	Se considera una unidad informal, puesto que no se pudieron determinar la base ni el techo en el área cartografiada. Se evidencia estructura convoluta en las areniscas de la parte alta (Figura 28).	
	Limolita de color claro con espesor de 0.738 metros, se evidencia estructuras slumps.		
	Arcillolitas y limolitas de color gris claro y beige laminadas e intercaladas con espesor de 0.60 metros.		
	Limolita de color gris claro con espesor de 2.38 metros.		
	Arenisca de color amarillento con presencia de granos medios a muy finos de forma decreciente, muy consolidado. Presenta un espesor alrededor de 0.50 metros.		

	<p>Limolita de color gris con espesor entre los 5 metros y los 3.6m en la parte baja además se encuentra estratificada la roca, lo que permite ver los distintos regímenes de depositación, aunque no hay variación composicional .</p>	
--	---	--

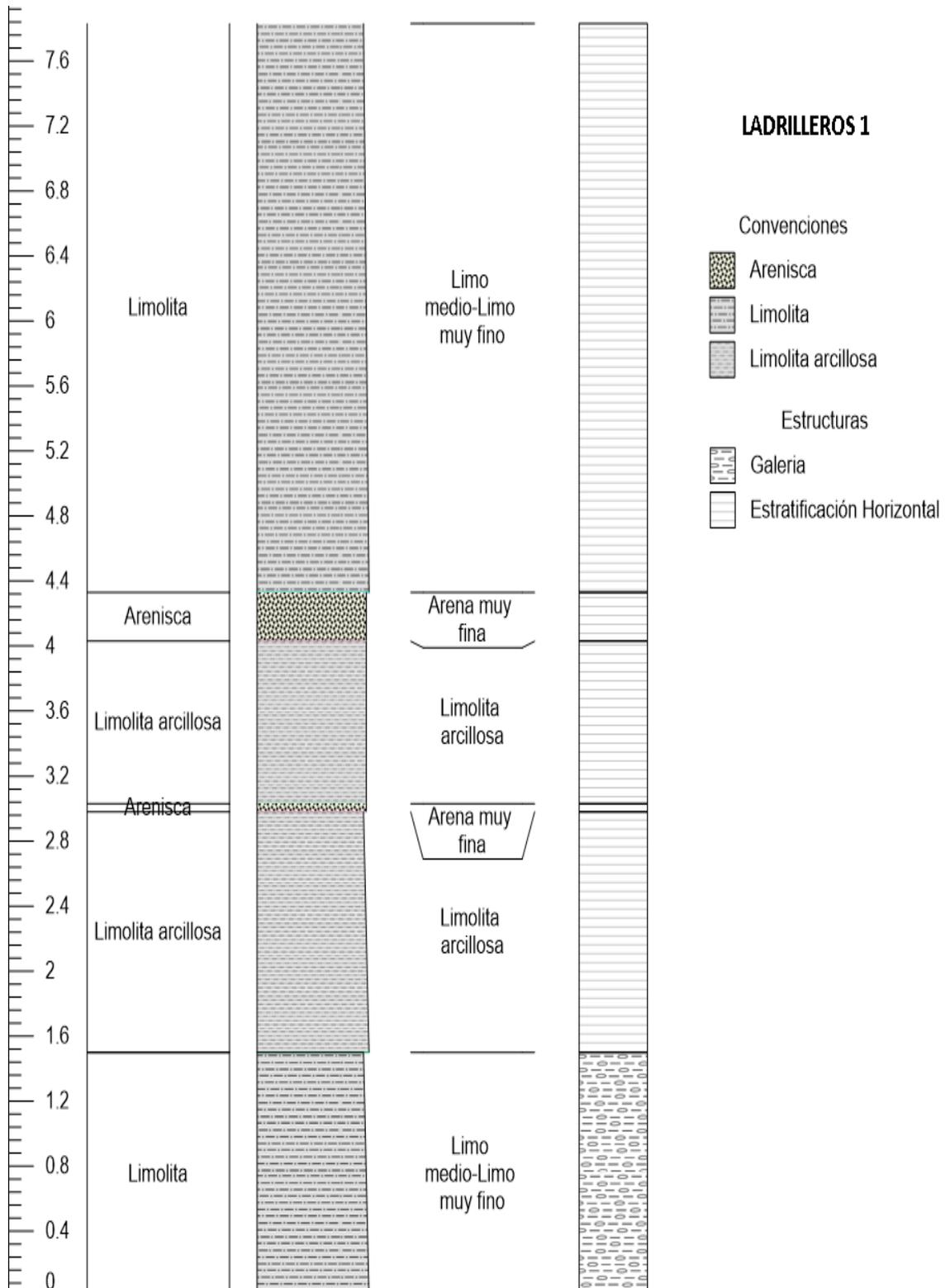


Figura 26. Columna estratigráfica estación 1 Ladrilleros

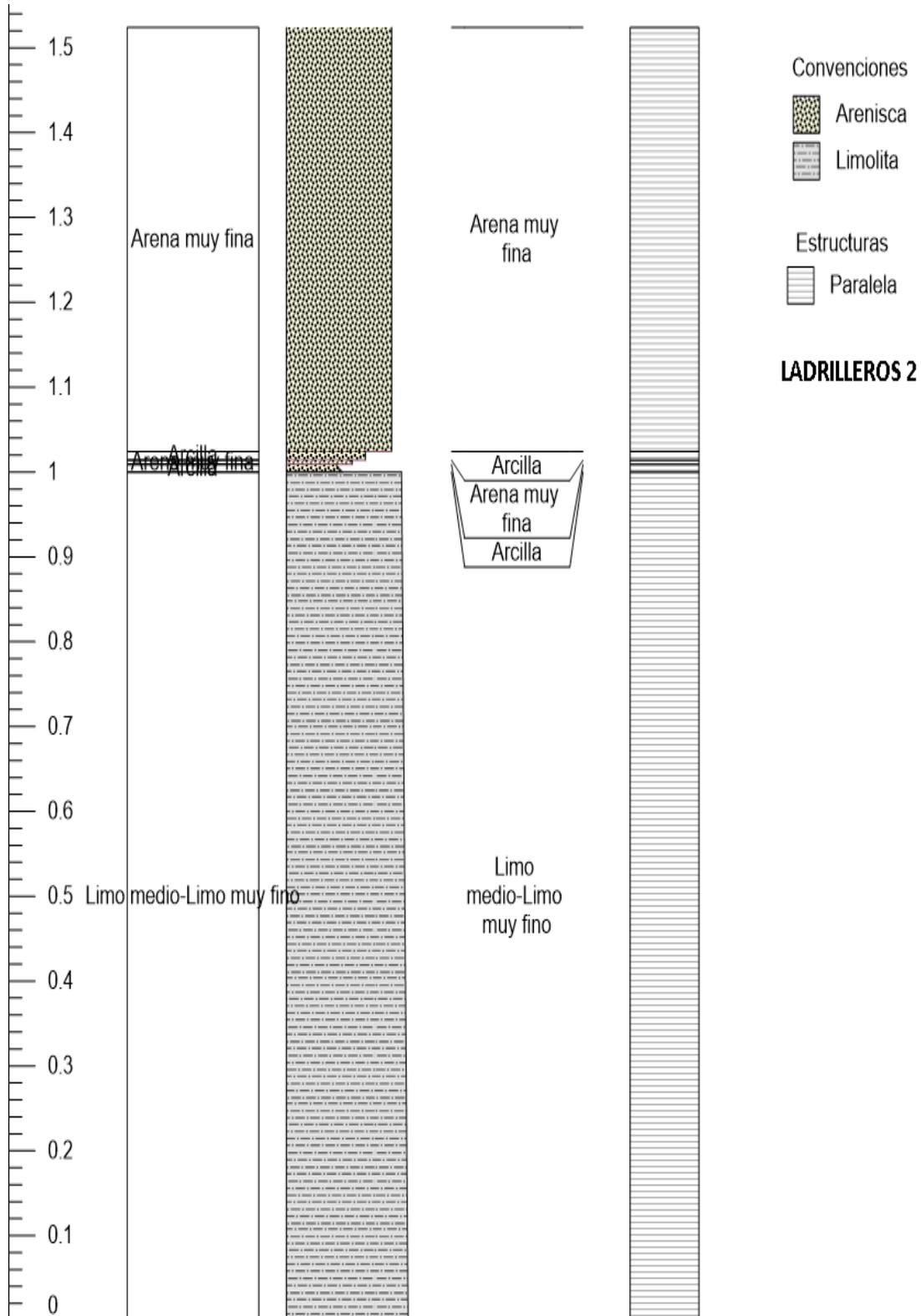


Figura 27 Columna estratigráfica estación 2 Ladrillos

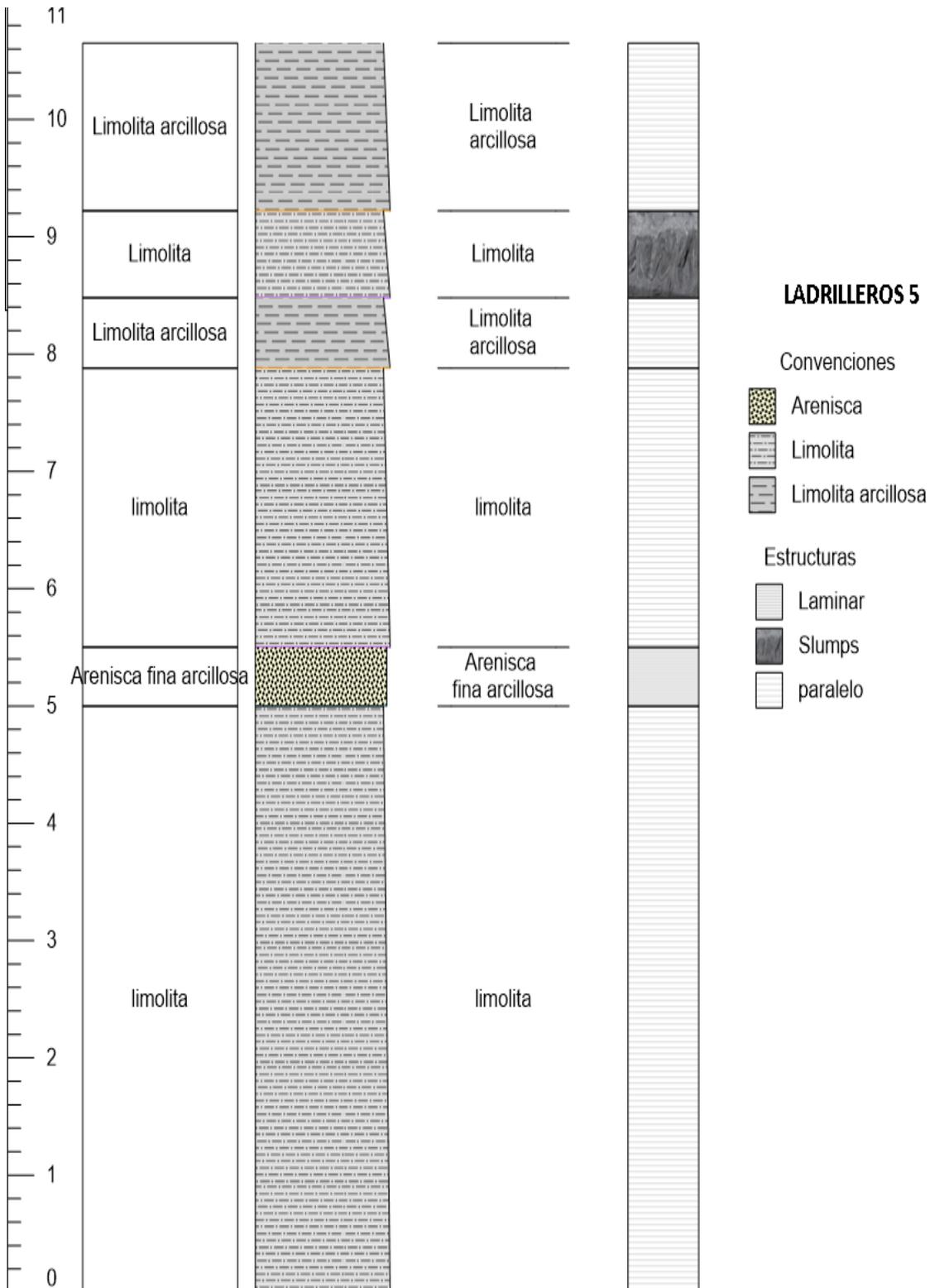


Figura 28. Columna estratigráfica de la estación 5 de Ladrilleros

Se concluye el levantamiento a hacer un reconocimiento de las zonas de mayor variación composicional, aunque no de corrido debido a zona de alto riesgo donde se presenta desprendimiento de roca.

7.2. Granulometría

El caso de **Juanchaco** (Figura 29) se evidenció una intercalación de capas de limos gruesos a arcillas, pero a su vez una disminución entre muestras en el porcentaje granulométrico de limos finos, un contenido constante de limos muy finos y un crecimiento de arcillas. Aunque la mayor composición granulométrica son los limos (gruesos, medios, finos y muy finos), también se observó una pequeña cantidad de arenas (medias, finas y muy finas) que no supera el 10% de la composición de la roca.

Se tomaron 6 muestras que fueron clasificadas como limolitas, además la JM3 se catalogó como limolita-arcillosa. La variación granulométrica fue de:

JM1: Presentó un 30.6% de limo grueso del peso neto de la muestra, seguido de limo muy fino y un 20% de arcillas. Además, se observó que la concentración total de arenas en la muestra es del 9%. Roca limolita.

JM2: La muestra estuvo conformada con un 69% de limos entre gruesos a finos, y una menor cantidad de arenas con un 5%. Roca limolita.

JM3: Se estuvo conformada por un 33% de arcillas, pero un 61% de limos lo que facilita su clasificación por la concentración de limo; clasificándola como limolita-arcillosa.

JM4: La mayor agrupación de limos medios con un 33.3%, en comparación con otras muestras, asimismo al sumarle los otros limos da un total de un 66% en la muestra. Roca limolita

JM5: La roca posee 71.8% de limos y un 26% de arcillas. Roca limolita.

77

JM6: Acoge el 27% de arcillas y con un 73% de lodos en la roca. El 24% equivale al limo fino, 21% a limo muy fino, 11% limo grueso y el 17% es limo medio. Roca Limolita.

El total de las 6 muestras tuvieron una concentración mayor al 60% de limo en la roca por lo que el acantilado es clasificado como limoso.



Figura 29. Granulometría de Juanchaco

Con respecto a Ladrilleros la granulometría obtenida no vario con respecto a Juanchaco, debido a que ambas pertenecen a la formación sedimentitas de Ladrilleros. Además, se evidenció una intercalación de limos, arcillas, y algunas capas de areniscas (Figura 39). El tipo de material con mayor concentración fueron los limos.

79

En la *Estación 1* se tomaron 3 ejemplares de rocas en donde se buscó ver la variación composicional.

LM1: Estuvo compuesta de Arenas, limos y arcillas. Sin embargo, un 58% de la composición de la roca fueron limos (limo medio 28%, limo fino 15% y limo muy fino 15%) que, aunque variaron en su tamaño todos entran a ser considerados como el mayor porcentaje de roca. El contenido de las arcillas equivale correspondió al 38.86%, con un pequeño porcentaje de arenas; clasificada como roca limolita.

LM2: Esta roca incrementó su porcentaje de arenas en un 22% del total de la roca, a pesar de esto el porcentaje de limos presente en la roca, siguió siendo mayor con un 53% y un menor porcentaje de arcillas (24%). Roca limolita.

LM3: Esta roca estuvo compuesta por Limos (37%), arcillas (10%) y arenas (53%); clasificada como arenisca-Limosa.

Estación 2 se tomó como referente 2 rocas de un remanente del acantilado erosionado

LM4: El porcentaje presente de arcillas equivale al (20.5) de la roca, seguido de las arenas (21.3) entre medias, finas y muy finas. Aunque el porcentaje de concentración de limos (58.1) es mayor. Por lo tanto, se le da el nombre de limolita.

LM5: Esta roca está conformada en su mayoría por arenas. las arenas medias equivalen al 43% seguidas de las arenas medias con 33%, arenas gruesas 10% y las arenas muy finas con un 9.3%. como el porcentaje de limos y arcillas es inferior al 1% no se considera significativa. Es una arenisca.

Estación 3: Zona con presencia de Falla NE, que debido al cambio composicional se tomaron muestras

LM6: La concentración de esta muestra equivale a mayor porcentaje de limos, siendo limo grueso el 23%, luego limo medio con 16%, seguido de limo fino con 16% y el limo muy fino con el 3%. El porcentaje de arcillas es el 22% y el de arenas con el 20% (**Figura 30b**); se clasifica como limolita.

LM7: En la porción de roca obtenida se calcula que de la roca es limolita al igual que la anterior pero que su porcentaje de limos disminuye, siendo el 56% debido a la ausencia de limos tamaño medio. Igualmente, las arcillas con un 14% dándole a las arenas una mayor presencia en esta roca con 30%, sin dejar de ser limolita (**Figura 30.b**).

LM8: Esta muestra se extrajo debido al cambio composicional que se evidencia en campo, a nivel granulométrico se confirmó un mayor porcentaje de arcilla en la roca, dándole una clasificación a la roca de Limo-Arcilloso. Siendo las arcillas un equivalente en la roca del 45%, los limos de 50% y las arenas con los líticos un porcentaje del 5% (**Figura 30.b**).

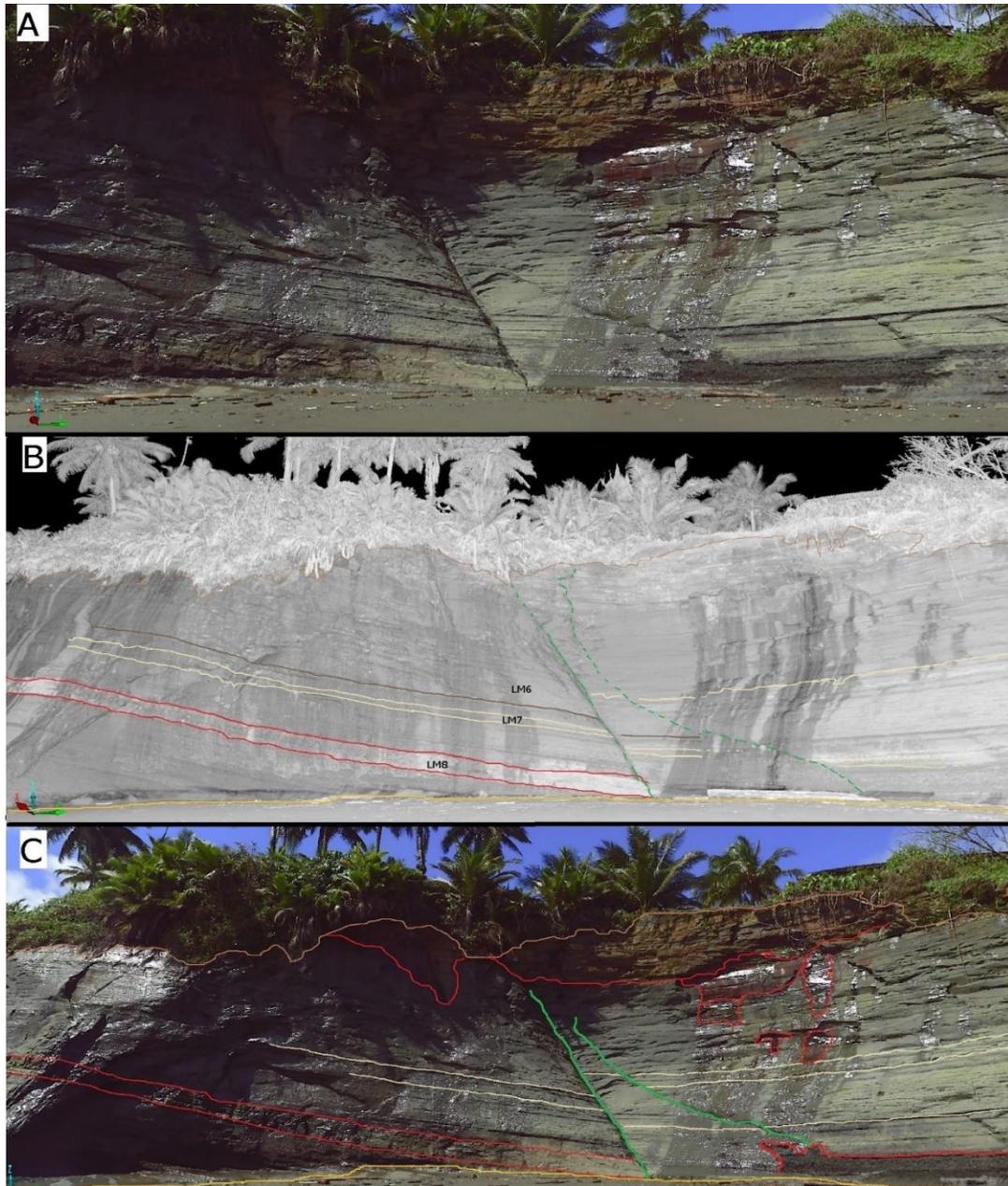


Figura 30. Estación 3. Nube de puntos (a). Clasificación por fotointerpretación de los estratos basado en Imagen en la intensidad (Blanco y Negro) (b) y en el RGB (c).

Estación 4: La recolección de la muestra fue debido inicialmente al cambio litológico, basado en la coloración (RGB) y la intensidad. Esta estación se realizó en una caverna, por lo que en el precampo se decidió extraer 3 rocas, pero el análisis de laboratorio determinó que no existe variación composicional, sino que corresponde con un cambio en el recubrimiento por la acción de las mareas y por el cambio de luz. Se decidió tomar 1 muestra (LM9) con la que se calculó que el porcentaje de arenas (42%), limos (46%) y arcillas (12%). Se clasificó como Limolita.

Estación 5: Los estratos se encuentran paralelos, pero que debido a las acciones antrópicas se pueden caminar de forma vertical en 2 partes del acantilado mediante escaleras (**Figura 31**).

LM10: La roca presentó una variación composicional de arenas medias a muy finas (6%). En cambio, los limos gruesos (16%), limo medio (25%), limo fino (25%) a limo muy fino (19%) equivalen a más del 85%, y con un porcentaje del 8% de arcillas. Clasificándola como limolita.

LM11: Esta muestra tuvo un porcentaje demasiado alto en limos (89%) por lo que su clasificación fue como limolita, sin embargo, presentó granos de arenas (8%) y arcillas (2%).

LM12: Esta muestra varió en su color y composición de arenas (11%), limos (47%) y arcillas (42%), aunque fue clasificada como una limolita se puede decir que es limo-arcillosa porque el porcentaje de arcillas es casi de igual proporción.

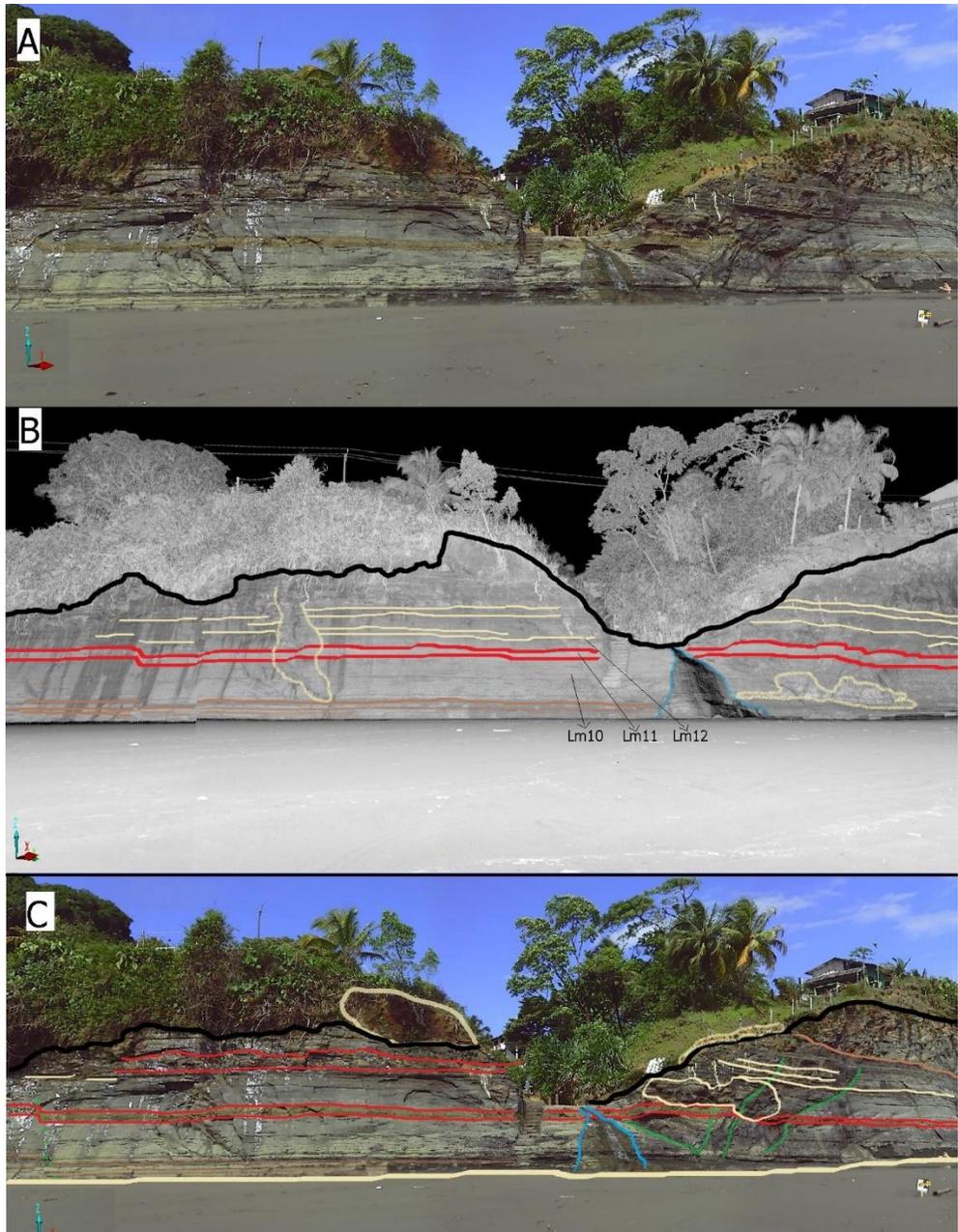


Figura 31. Estación 5: Nube de puntos (a). Clasificación por fotointerpretación de los estratos basado en Imagen en la intensidad (Blanco y Negro) (b) y en el RGB (c)



Figura 32. Granulometría de Ladrilleros

7.3. Mineralogía

Las rocas de los acantilados de la zona de Juanchaco y Ladrilleros se encuentran muy alteradas y presenta gran variedad mineralógica de anfíboles, micas, epidotas, zircones, apatitos, cloritas, carbonatos y algunos granates. Se encuentran plagioclasas cloritizadas, macladas y zonadas. Existen otros minerales que, aunque no son densos se pueden observar en las placas, tales como calcita, líticos, livianos (cuarzos, plagioclasas), magnetita.

85

En el caso de Juanchaco las muestras presentaron homogeneidad porcentual de minerales en opacos, micas, anfíboles y clorita (**Figura 33**); estos minerales fueron los más presentes en las secciones, pero fue evidente que minerales como el apatito en la muestra JM3 y JM4 fue mayor en comparación a las otras muestras. Los minerales con mayor porcentaje en la muestra Jm1 (37%) fueron los opacos, al igual que en la Jm2 (63.5%). En la Jm3 la cantidad de clorita fue similar a la de anfíboles con un 33.7%, la Jm4 fueron micas, pero los valores de composición fueron muy equilibrados porque son menores a 28% todos, en cambio en la Jm5 y la jm6 su mayor compuesto fueron los minerales opacos (46% - 48%).

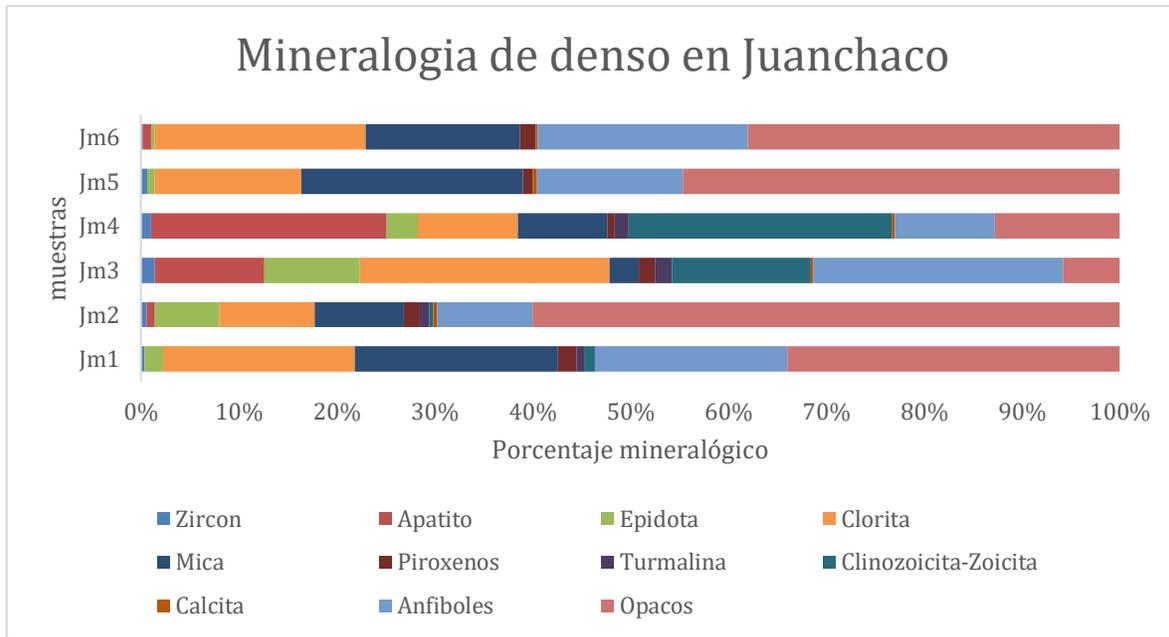


Figura 33. Mineralogía de fases densas de Juanchaco

En Ladrilleros se evidencia una variación de base a techo del porcentaje mineralógico (Figura 34). La reducción de zircones desde LM10 a LM12, un incremento de apatitos, clinozoicita-zoicita. Menor concentración de anfíboles y micas en LM11 (32%). El comportamiento de los minerales (epidota, granate, piroxenos, turmalina, opacos) se ascendente entre LM10 y LM11, pero inferior a todos en LM12.

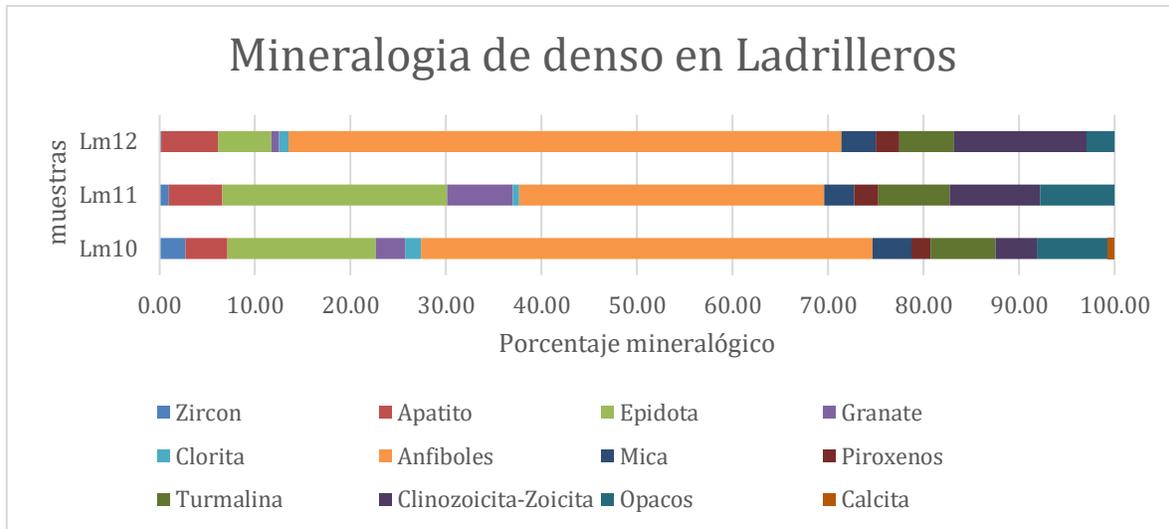


Figura 34. Mineralogía de fases densas de Ladrilleros - estación 5

7.4. Calcimetría

El porcentaje de Carbonato de Calcio obtenido en las muestras de rocas de Juanchaco (**Figura 35**) tuvo un promedio de 7.2%. Mientras que, para ladrilleros, se observaron 2 picos, pero que no excedieron el 13.2% de la composición de la roca, las rocas tuvieron un promedio de concentración del CaCO₃ del 8.1%.

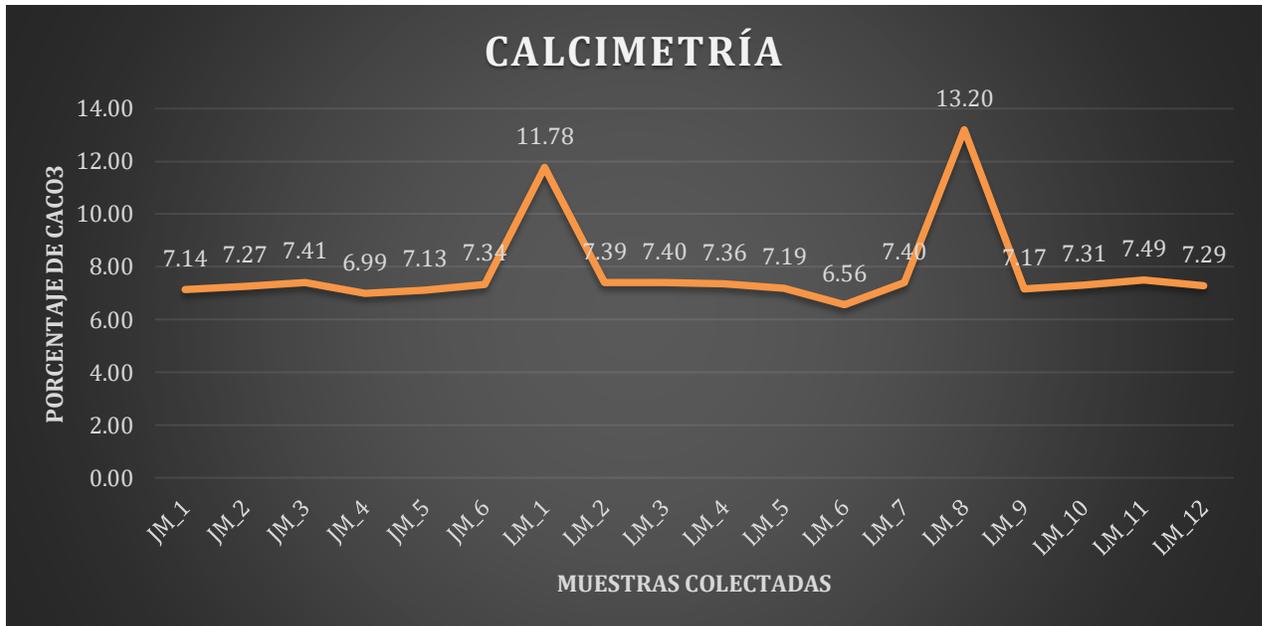


Figura 35. Porcentaje de Carbonato de Calcio (CaCO₃) en cada muestra

7.5. Escáner Láser Terrestre (TLS)

Con respecto al escáner en Juanchaco se calculó una longitud del acantilado que abarca alrededor de 70 m, durante el 2018 solo se conservó una pátina sobre la roca de color amarillo, de igual manera se evidenció una variación de los valores en RGB debido a la cantidad de luz presente en cada uno de los levantamientos como se muestra en la **Figura 43**; además la distancia (cercanía) del escáner con al afloramiento, varió en cada sección; aunque mantuvo una distancia <50 m.

La clasificación de los estratos basados en el RGB presentaron cambios por procesos de bioerosión, presencia de líquen en la roca, oxidación fraccionada, alta humedad y desplazamiento de las estructuras por fallas (**Figura 37**).

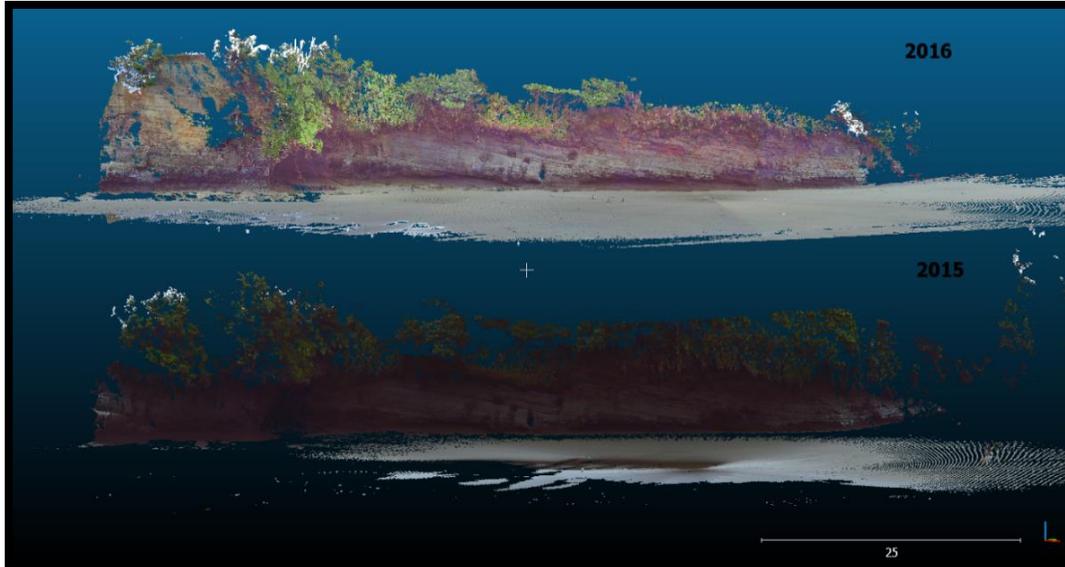


Figura 36. Afloramiento del acantilado de Juanchaco 2015-2016. Sacado de CloudCompare

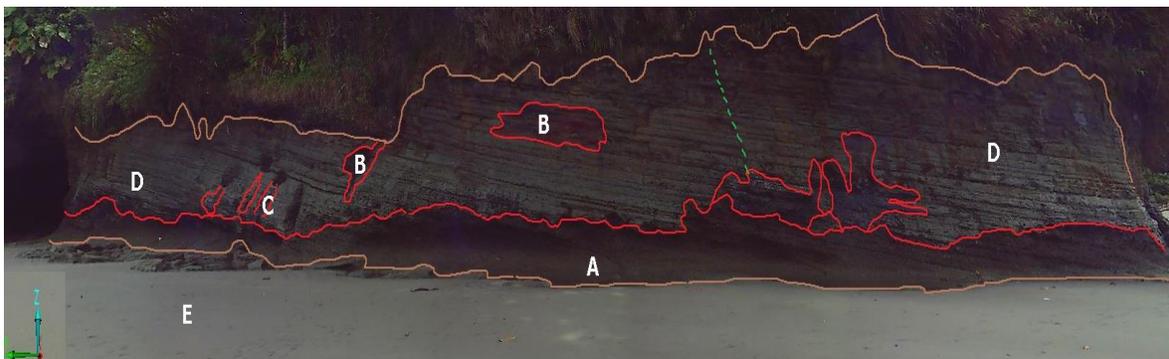


Figura 37. Clasificación de acuerdo al RGB. Suelo con bioerosión y presencia de líquen (a). Oxidación de la roca (b). alta humedad, agua presente (c). Roca limolita (d). Playa (e) y falla (línea punteada).

La clasificación de los estratos a través de ArcGis. Muestra que la reclasificación se realiza de acuerdo a la humedad de la roca, al porcentaje de limolitas finas, limolitas gruesas y rangos de bioturbación con sombras (**Figura 38.a**). En el caso de Ladrilleros debido a la distancia a

la que se encuentra el escáner se determina que los rangos de humedad, bioturbación y sombras se agrupan en la misma intensidad (**Figura 38.b**).

La clasificación de los estratos mediante Cloudcompare arrojó que los valores de intensidad según Juanchaco 2015 (96 – 1088) y las de Juanchaco 2016 (-2047 – 1425). Solo se tomó el levantamiento del 2016. Se determinó los valores de acuerdo a la Bioerosión y humedad, porcentaje de arcillas húmedas, limos arcillosos con baja humedad y limolitas grises (**Figura 39**).

90

En ladrilleros se estableció que los rangos mínimos (-831) y máximo (2033) se distribuyen por el porcentaje de arcillas en los limos <10%, entre 10-40% y >40%, además, de acuerdo a la humedad y al porcentaje de lixiviados del suelo (**Figura 40**).

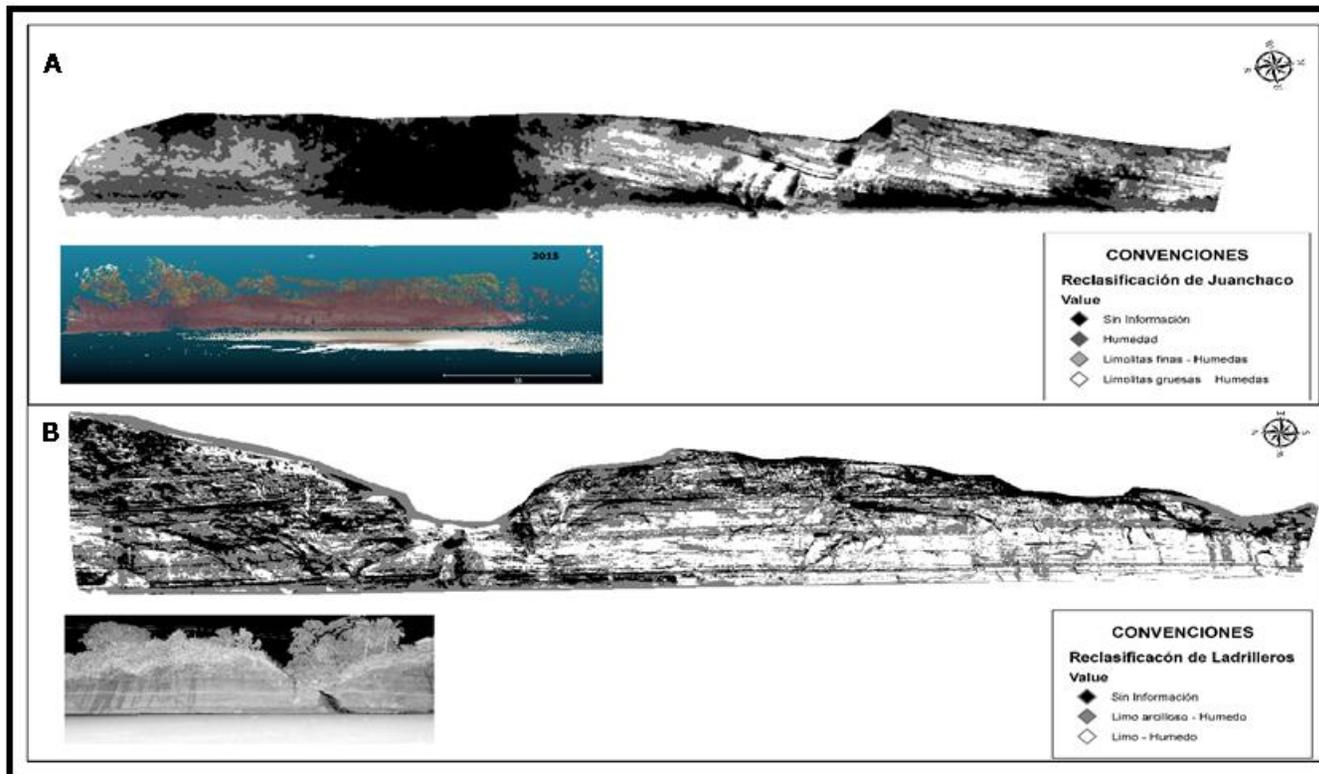


Figura 38. Mapa de intensidad reflectada por los acantilados de Juanchaco (a) y Ladrilleros (b). Mediante ArcGIS.

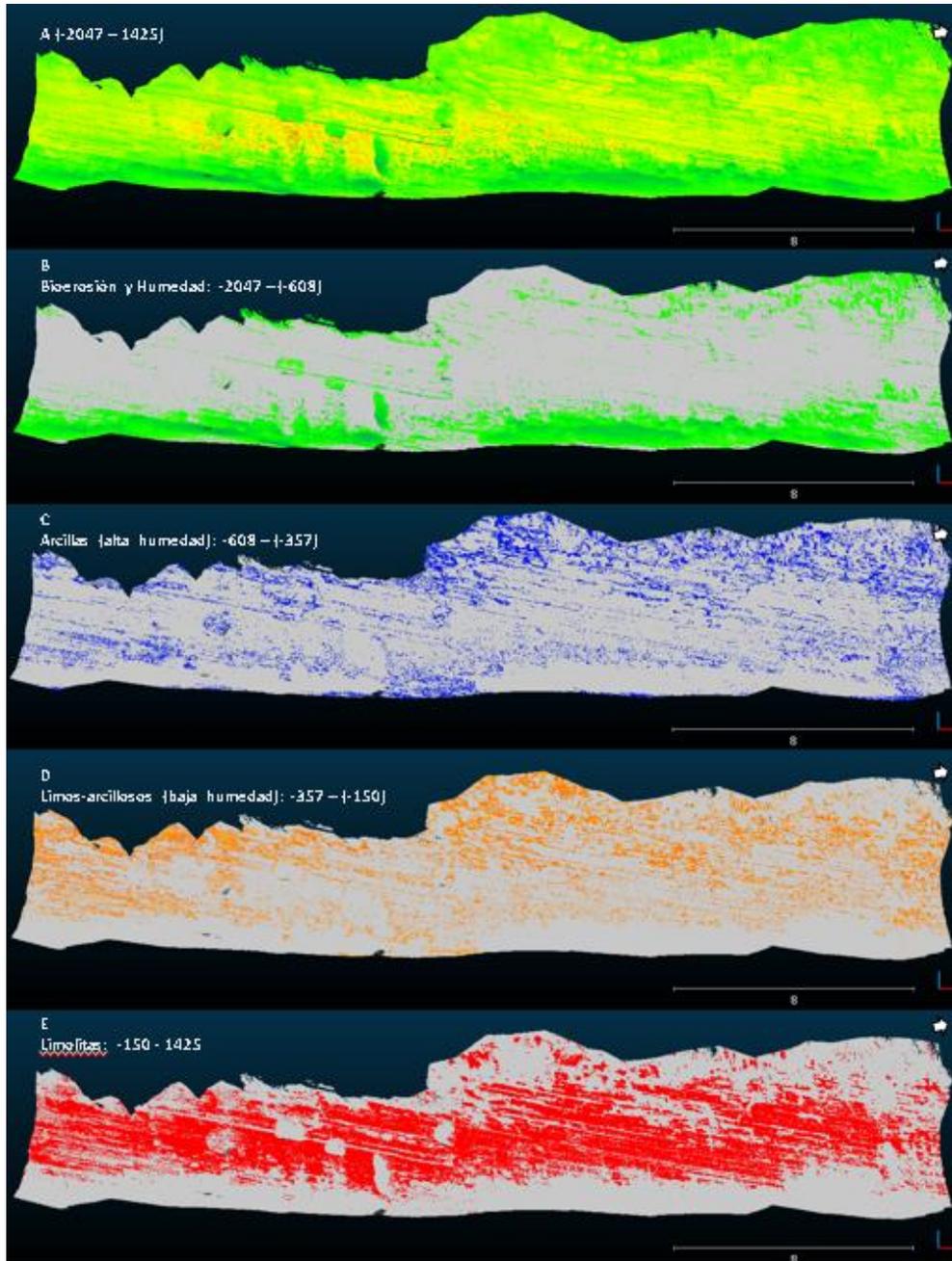


Figura 39. Mapa de intensidad reflejada por los acantilados de Juanchaco (a). Bioerosión y humedad (b), Arcillas húmedas (c), limos arcillosos con baja humedad (d), limolitas grises (e). Mediante Cloudcompare.

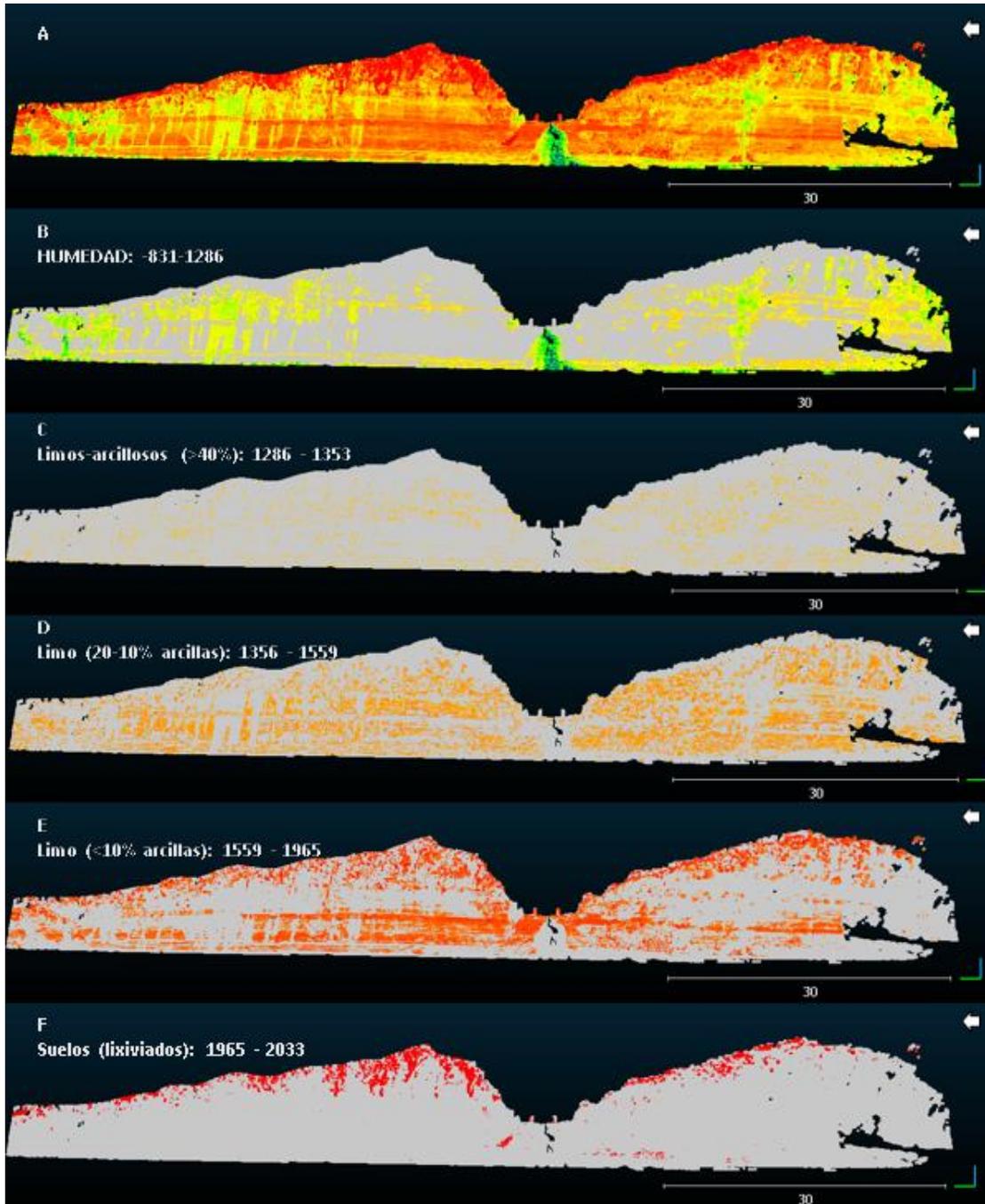


Figura 40. Mapa de intensidad reflectada por los acantilados de Ladrilleros (a). Rangos de humedad (b), Limos arcillosos con >10% (c), Limos con arcillas entre (10% – 20 %) (d), limos con <10% de arcillas y suelos lixiviados. Mediante Cloudcompare.

8. Discusión

En la actualidad la aplicación de la fotogrametría digital terrestre de corto alcance y el escaneo láser terrestre están siendo usados para caracterización litológica basada en datos de RGB e INTENSIDAD, mediante la inspección de nube de puntos y en la identificación de material (Kurazume *et al.*, 2002). Es claro que muchos autores han probado que existe una influencia de la luz ambiental, el color de la superficie y los materiales en el escaneo 3D (Lemeš y Zaimović-Uzunović, 2009); para determinar una clasificación.

94

Con base en lo anterior se analizaron los datos de Intensidad y RGB otorgados por el TLS en los acantilados de Juanchaco y Ladrilleros durante el 2015 y 2016. Los valores de RGB pueden ser independientes o correlacionables con la intensidad, dependiendo de los entornos geológicos (Pesci, Teza, y Ventura, 2008). Los valores de RGB se tomaron de forma independiente debido a la variación entre la coloración y la litología. Las condiciones atmosféricas y a la cantidad de luz, que determinaron que la coloración cambiara debido a la tasa de pluviosidad que provoca una alta lixiviación, descomposición y sobre todo erosión parcial de cobertura lo que afecta la clasificación.

La información de RGB puede ser usada como referente para la fotointerpretación de los estratos o afloramientos, pero no como único referente para una caracterización litológica. Esto se evidenció en campo cuando se observó que no había cambios en la composición litológica, ni granulométrica o mineralógica a profundidad, pero sí en las tonalidades.

Bermúdez-González (2012) afirma que el espectro infrarrojo es sensible a la humedad ambiental, que la longitud de onda puede atravesar el agua por lo que el haz se refleja y dispersa en condiciones de elevada humedad. Por ello es importante conocer donde se sitúan dentro del espectro electromagnético las longitudes de onda del equipo que se han empleado en el proyecto, pues los datos obtenidos están condicionados entre otros factores por la longitud de onda incidente.

El proyecto se realizó con el escáner laser terrestre FARO® Focus3D X 330 este produce un haz de láser invisible con una longitud de onda de 1550 nm. La potencia del haz emitido es inferior a 500 mW. La divergencia del haz es típicamente 0.27mrad (0.015°) (©FARO Technologies Inc., 2015). Para el caso de Juanchaco de acuerdo a la metodología de ArcGIS; los valores de intensidad marcaron la humedad, la bioturbación, la variación composicional y la falta de luz (sombras) en ambos levantamientos; El rango de humedad se distinguió de la bioturbación y de las zonas de poca información. Sin embargo, en Ladrilleros no se pudo hacer una distinción entre el rango de humedad con el de los limos-arcillosos debido a la alta permeabilidad de las arcillas. Otro rango es el de sombras y bioturbación, este se estableció como un rango sin información porque los datos fueron homogéneos.

Otra manera metodológica de clasificación fue a través de Cloudcompare que es un software de procesamiento gratuito y de código abierto que puede registrar, editar y procesar nubes de puntos sin procesar, mallas e imágenes. También puede comparar nubes de puntos para producir mapas de diferencias (Boardman, Bryan, y Moitinho, 2018), lo que permitió observar las variaciones composicionales al igual que establecer rangos de acuerdo al

porcentaje de litológico (arcillas, limos), humedad y cambios del terreno productos de la erosión. La caracterización se pudo hacer y se pudo establecer rangos litológicos; sin embargo, no son rangos que se puedan tener como base para futuros trabajos debido a que se observó que los rangos no fueron similares en ambos acantilados, aunque tenían en algunos estratos litología similar.

Los acantilados en la Formación Ladrilleros, están compuestos de rocas limolitas, limolitas-arcillosas, limo-areniscas y calizas. Presentan capas de tamaño medio a laminas menores a 1 cm (arcillas), con estratificación planar y continua. Las limolitas se observaron altamente bioturbadas en la parte baja, con intercalaciones de areniscas grises a negras, capas delgadas de caliza. Se observó alta meteorización con alto fracturamiento de roca (Nivia, 2001). La granulometría en ambos acantilados indicó rocas limosas donde los porcentajes de limo representan más del 60%. Aunque hubo algunas muestras con mayor porcentaje de arenas como LM3 (arenisca-limosa) y LM5 (arenisca), la mayoría corresponde a muestras de capas muy delgadas y poco continuas, lo que hace que el valor de arena sea mínimo en proporción al tamaño de los acantilados. Es necesario considerar que el sitio de estudio se encuentra en un ambiente de antearco donde se depositan arenas provenientes de los flujos mareales y riachuelos que atraviesan el corregimiento y desembocan en el mar durante las lluvias.

En la mineralogía de densos se observaron minerales líticos de rocas ígneas en ambos acantilados y presencia de piroxenos en menor cantidad siendo factores para determinar una

variación en los procesos de evolución. En Juanchaco se evidenciaron de base a techo algunos minerales con mayor presencia, como los anfíboles, opacos, micas y cloritas. Minerales como los anfíboles, micas y opacos son minerales formadores de roca; los anfíboles se encuentran usualmente en sedimentos jóvenes (Hurst, 1992). Por lo que se expresa que las rocas no han tenido mucho transporte. Todas las muestras presentaron magnetita, y en el caso de Juanchaco no fueron determinantes la cantidad mineralógica para determinar una tonalidad u intensidad. Con respecto a Ladrilleros, las rocas dieron valores estimados de cambios litológicos y mineralógicos del acantilado, que fue evidenciado en la intensidad reflectada.

Los valores de intensidad dependen no solo de la composición mineral sino también de la distancia al objetivo (Živec, Anžur, y Verbovšek, 2018), es evidente que la metodología utilizada para clasificación de estratos mediante el RGB e intensidad no fue la más adecuada para la distinción litológica, pero debido a la variación de intensidad y mineralógica que presenta ladrilleros se pudo ver que los valores de Intensidad están relacionados con las propiedades físicas y químicas del material. Y estudios como el de Pesci *et al.* (2008) en el monte Vesubio muestran que los datos de intensidad son lo suficientemente independientes del RGB; y que aun se busca métodos para analizar mejor los datos de intensidad y su implicación en los estudios geofísicos/geológicos.

Por último, el porcentaje de carbonato de calcio en todas las muestras no mostró variación o excedió el 15% en el total de las muestras analizadas lo que indicó que podría ser un factor irrelevante en el cambio de tonalidad e intensidad de las rocas.

9. Conclusiones

El propósito de asignar valores a las distintas litologías como base para futuros estudios es incierto en zonas como el trópico. Procesos como la meteorización, la pluviosidad, la humedad, en el Pacífico colombiano, generan alta humedad en los suelos que provocan lixiviados sobre las rocas, por lo que los suelos residuales hacen que cambie el valor de RGB; dando una variación litológica aparente.

Si bien es cierto el equipo sirve para diferenciar las distintas litologías, permite diferenciar diferentes superficies del acantilado, como las que tienen cobertura de las desnudas, con lixiviados o sin, con mayor porcentaje de humedad, entre otros. Sin embargo, establecer valores exactos de acuerdo a la litología necesita un análisis más estadístico.

En Juanchaco y Ladrilleros se presenta una homogeneidad composicional; El acantilado en la zona de Ladrilleros presenta mayor longitud, mayor levantamiento y en algunos sitios estructuras sedimentarias como *slumps*, ondulitas y estratificación planar. Que son de poca

percepción a través del sensor remoto debido al tamaño y a la distancia a la que este se encuentra el levantamiento.

La implementación de nuevas tecnologías como los TLS y los drones muestran detalles morfológicos que ayudan a controlar los cambios temporales que presenta la roca. En síntesis, el equipo es excelente para levantar estructuras, para conocer los cambios macros y micro del paisaje.

99

10. Recomendación

Determinar protocolos de levantamiento para tener una caracterización litológica realista, aunque las condiciones climáticas y a la tasa de meteorización de los suelos en el trópico no permite determinar valores exactos o rangos de valores específicos de acuerdo a su composición. Las variaciones de las condiciones atmosféricas (la humedad, la pluviosidad y la nubosidad), determinan el éxito o el fracaso para determinar valores litológicos. Para la zona de estudio es recomendable aplicar tecnologías aptas para condiciones de alta pluviosidad.

11. Bibliografía

- ©FARO Technologies Inc. (2015). *FARO® LASER SCANNER FOCUS3D X 330* Febrero 2015. Recuperado de [%5CCONTROL%5CRECORDS%5C05MANUFA%5CPARTSPEC%5C0_V7%5C02_Documentation%5CE1089_FARO_LASER_SCANNER_FOCUS3DX_MANUAL_ES.pdf](#)
- Abellán, A., Calvet, J., Vilaplana, J. M., & Blanchard, J. (2010). Detection and spatial prediction of rockfalls by means of terrestrial laser scanner monitoring. *Geomorphology*, 119(3-4), 162-171. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.03.016>
- Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). (1997). Conceptos básicos de Geología y Geofísica. *Diseño de investigaciones en Ciencias de la Salud. Diseño de estudios experimentales*, (1), 7-12.
- Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). (2008). GEOLOGÍA DE SUPERFICIE Y GEOQUÍMICA DE ROCAS Y CRUDOS DE LA SUBCUENCA DEL SAN JUAN (CHOCÓ).
- Bellian, J. A., Kerans, C., & Jennette, D. C. (2005). Digital Outcrop Models: Applications of Terrestrial Scanning Lidar Technology in Stratigraphic Modeling. *Journal of Sedimentary Research*, 75(2), 166-176. <https://doi.org/10.2110/jsr.2005.013>
- Bermúdez-González JL. (2012). *CARACTERIZACIÓN PATOLÓGICA DE FACHADAS HISTÓRICAS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE LOS SENSORES LÁSER, MULTIESPECTRALES Y TÉRMICOS*. Universidad de Salamanca. Recuperado de <https://docplayer.es/11226998-Universidad-de-salamanca-caracterizacion-patologica->

de-fachadas-historicas-mediante-la-utilizacion-de-los-sensores-laser-multiespectrales-y-termicos.html

Bird, E. (2008). *Coastal Geomorphology. An Introduction. Wiley* (second).

<https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

101

Boardman, C., Bryan, P., & Moitinho, V. (2018). 3D laser scanning for heritage : Advice and guidance on the use of laser scanning in archaeology and architecture, (February), 113. Recuperado de [https://wordery.com/3d-laser-scanning-for-heritage-clive-boardman-](https://wordery.com/3d-laser-scanning-for-heritage-clive-boardman-9781848025219?currency=GBP&trck=TXQ0T2dZOEVCVHJ5MGhQNXFpUWhhcEVNZmwyc0pzSlZuKzhjNXZuZjlRcnJCVXJ5bnM1MjhwZXIvMmFLV1Q5Njh1UHR1c2lLcm5Qc1U0NVNoa1p6L2c9PQ&gclid=EAIaIQobChMI-5fz652c3gIVVfhRCh0)

[9781848025219?currency=GBP&trck=TXQ0T2dZOEVCVHJ5MGhQNXFpUWhhcEVNZmwyc0pzSlZuKzhjNXZuZjlRcnJCVXJ5bnM1MjhwZXIvMmFLV1Q5Njh1UHR1c2lLcm5Qc1U0NVNoa1p6L2c9PQ&gclid=EAIaIQobChMI-5fz652c3gIVVfhRCh0](https://wordery.com/3d-laser-scanning-for-heritage-clive-boardman-9781848025219?currency=GBP&trck=TXQ0T2dZOEVCVHJ5MGhQNXFpUWhhcEVNZmwyc0pzSlZuKzhjNXZuZjlRcnJCVXJ5bnM1MjhwZXIvMmFLV1Q5Njh1UHR1c2lLcm5Qc1U0NVNoa1p6L2c9PQ&gclid=EAIaIQobChMI-5fz652c3gIVVfhRCh0)

Bonilla, J. H. (2016). Método Para Generar Modelos Digitales De Terreno Con Base En Datos De Escáner Láser Terrestre. *Universidad Nacional De Colombia Facultad De Ciencias Agrarias*. Recuperado de

<http://www.bdigital.unal.edu.co/51998/1/80268588.2016.pdf.pdf>

Buckley, S. J., Enge, H. D., Carlsson, C., & Howell, J. A. (2010). Terrestrial laser scanning for use in virtual outcrop geology. *Photogrammetric Record*, 25(131), 225-239.

<https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2010.00585.x>

Cantera, J., Neira, R., & Ricaurte, C. (1998). *Biosión en la costa Pacífica Colombiana* (Tercer Mun).

Cantera K., J. (2016). *Bioerosión en los acantilados rocosos de la costa central del*

Pacífico colombiano.

Carrea, D., Abellán, A., Humair, F., Matasci, B., Derron, M. H., & Jaboyedoff, M. (2016).

Correction of terrestrial LiDAR intensity channel using Oren-Nayar reflectance model: An application to lithological differentiation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 113, 17-29.

<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.12.004>

Castro-Ramirez, K. (2018). *GUÍA PARA EL USO DEL EQUIPO FARO LASER SCANNER FOCUS 3D X330 ENFOCADO AL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE ÁREAS COSTERAS.*

Cediel, F., Restrepo, I., Marin-Cerón, M., Duque-Caro, H., Cuartas, C., Mora, C., ...

Muñoz, G. (2009). *GEOLOGY AND HYDROCARBON POTENTIAL ATRATO AND SAN JUAN BASINS Chocó (Panamá) Arc, Colombia TUMACO BASIN (Pacific Realm).* Agencia Nacional De Hidrocarburos.

Contreras, A. (2014). *Obtención del modelo 3D de la azotea de la escuela técnica superior de ingenieros de telecomunicación de la universidad politécnica de Madrid, mediante tecnología escáner 3D.* UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.

Corradetti, A. (2016). *3D structural characterization of outcrops by means of close-range multi-view stereo- photogrammetry.* University of Naples Federico II.

Correa-Valero. (2015). *Estudio palinoestratigráfico de la sección Ladrilleros-Juanchaco (Cuenca San Juan), Pacífico colombiano.*

Correa, I. D. (1996). *Le Littoral Pacifique Colombien: Interdependence des Agents*

Morphostructuraux et Hydrodynamiques, (February), 220 p.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2154.3444>

Corso Sarmiento, J. M. (2015). *Gestión Y Explotación De La Información TLS DE 3D A 2D Y 2.5D. Análisis, selección y síntesis a partir de la tecnología Escáner Láser Terrestre*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA.

103

Curry, J. R. (1985). Francis Parker Shepard 1897-1985, 157-167.

Dunning, S., Massey, C. I., & Rosser, N. J. (2009). Structural and geomorphological features of landslides in the Bhutan Himalaya derived from Terrestrial Laser Scanning. *Geomorphology*, 103(1), 17-29. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.04.013>

Dunning, S., Rosser, N. J. J., & Massey, C. I. I. (2010). The integration of terrestrial laser scanning and numerical modelling in landslide investigations. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 43(2), 233-247.

<https://doi.org/10.1144/1470-9236/08-069>

Finkl, C. W. (2004). Coastal Classification: Systematic Approaches to Consider in the Development of a Comprehensive Scheme. *Journal of Coastal Research*, 20(1), 166-213. [https://doi.org/10.2112/1551-5036\(2004\)20\[166:CCSATC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2112/1551-5036(2004)20[166:CCSATC]2.0.CO;2)

Franceschi, M., Teza, G., Preto, N., Pesci, A., Galgaro, A., & Girardi, S. (2009). Discrimination between marls and limestones using intensity data from terrestrial laser scanner. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(6), 522-528.

<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.03.003>

García-Sellés, D., Falivene, O., Arbués, P., Gratacos, O., Tavani, S., & Muñoz, J. A.

(2011). Supervised identification and reconstruction of near-planar geological surfaces from terrestrial laser scanning. *Computers & Geosciences*, 37(10), 1584-1594.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cageo.2011.03.007>

Garzón-Oyola, D. M. (2017). Condiciones paleoceanográficas profundas durante el Serravaliano (Mioceno medio) en el pacífico colombiano, secuencia sedimentaria ladrilleros Juanchaco, 1-2.

104

Gomez-Gutiérrez, L. L., Muñoz-Valencia, J. A., Pardo-Trujillo, A., & Trejos-Tamayo, R. A. (2014). Procedencia de las arenitas de la sección de Juanchaco- Ladrilleros (mioceno, pacífico colombiano). *Instituto de Investigaciones en Estratigrafía. Universidad de Caldas*.

Gomez, J., Carvajal, J., & Otero, J. (2013). *Propuesta de estandarización de los levantamientos geomorfológicos en la zona costera del Caribe colombiano*.

González, H. (2006). *Diagnostico de conocimiento geológico y geoquímico en la plancha 241 cucurupí*. Medellín.

González, J. L., Shen, Z., & Mauz, B. (2014). New constraints on holocene uplift rates for the baudo mountain range, northwestern Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 52, 194-202. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.03.002>

Gutiérrez, M. (2008). *Geomorfología. Geomorfología* (1.^a ed., Vol. 1). Madrid: Pearson/Prentice Hall.

Hernández-Rendón, E. (2015). Estudio sedimentológico y de nanofósiles calcáreos del intervalo 13,294-11,863 ma (Serravaliense) en la secuencia Ladrilleros-Juanchaco,

(Pacífico ecuatorial oriental, Colombia). *Journal of applied microbiology*, 119(3), 859-867.

Hurst, A. (1992). *Heavy minerals in colour. Sedimentary Geology* (Vol. 81).

[https://doi.org/10.1016/0037-0738\(92\)90064-x](https://doi.org/10.1016/0037-0738(92)90064-x)

105

Idárraga-García, J., B. Posada, D. L. y D. G.-R. (2011). *Evaluación de las zonas críticas en el sector del choncho (departamento del chocó) y poblaciones costeras alrededor de la cabecera municipal de buenaventura (departamento del valle del cauca), pacífico colombiano*. Santa Marta.

IDEAM. (2013). *Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000*. Bogotá.

INVEMAR-GEO. (2015). *Evolución reciente de la zona costera del departamento del Valle del Cauca*. Santa Marta.

INVEMAR. (2002). Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: año 2002, 1-275.

INVEMAR. (2013). *Amenaza y vulnerabilidad por erosión costera en el centro poblado La Barra, corregimiento de Ladrilleros – Buenaventura – Valle del Cauca. Informe Final*. Santa Marta.

INVEMAR, UNIVALLE, & INCIVA. (2006). *BIOMÁLAGA: Valoración de la biodiversidad marina y costera de Bahía Málaga (Valle del Cauca), como uno de los instrumentos necesarios para que sea considerada un área protegida*. Cali, Colombia.

Recuperado de

http://cinto.invemar.org.co/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/93d80d58-d2d6-4b8d-afe9-268c15afd87/045_BIOMALAGA2006.pdf?ticket=TICKET_685be3acd38a70d11bafa653526788a97582fcc3

Irigaray, C., & Palenzuela, J. A. (2013). *Análisis de la actividad de movimientos de ladera mediante láser escáner terrestre en el suroeste de la Cordillera Bética (España)*.

Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/267155263>

Jiménez-Perálvarez, J., & jiménez Perálvarez, J. D. (2012). *Movimientos De Ladera En La Vertiente Meridional De Sierra Nevada (Granada, España): Identificación, Análisis Y Cartografía De Susceptibilidad Y Peligrosidad Mediante Sig*. Universidad de Granada. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/cittes?codigo=62296>

Kurz, T. H., Buckley, S. J., Howell, J. A., & Schneider, D. (2008). Geological outcrop modelling and interpretation using ground based hyperspectral and laser scanning data fusion. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B8)(March 2014), 1229-1234. Recuperado de http://org.uib.no/cipr/Project/VOG/files/papers/Kurz_isprs2008.pdf

Lemeš, S., & Zaimović-Uzunović, N. (2009). Study of Ambient Light Influence on Laser 3D Scanning. *7th International Conference on Industrial Tools and Material Processing Technologies*, 327-330.

Lerma Garcia, J. L., & Biosca Tarongers, J. . (2008). *Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre Material de aprendizaje basado en aplicaciones prácticas*.

Lutgens, F. K., & Tarbuck, E. J. (2005). *Ciencias de la Tierra_ Una Introduccion a la*

Geología Física (Octava). Pearson/Prentice Hall.

Márquez, I. A. (2010). *UN TRATADO SOBRE EL ESCANER TERRESTRE TLS*. Caracas.

Recuperado de www.mecinca.net

McCaffrey, K. J. W., Jones, R. R. R. R. R., Holdsworth, R. E., Wilson, R. W., Clegg, P.,

Imber, J., ... Trinks, I. (2005). Unlocking the spatial dimension: digital technologies and the future of geoscience fieldwork. *Journal of the Geological Society*, 162(6),

927-938. <https://doi.org/10.1144/0016-764905-017>

Mégard, F. (1984). The Andean orogenic period and its major structures in central and northern Peru. *Journal of the Geological Society*, 141(5), 893-900.

<https://doi.org/10.1144/gsjgs.141.5.0893>

Mégard, F. (2011). Cordilleran Andes and marginal Andes: A review of Andean geology north of the Arica elbow (18°s) (pp. 71-95). <https://doi.org/10.1029/gd018p0071>

Minisini, D., Wang, M., Bergman, S. C., & Aiken, C. (2014). Geological data extraction from lidar 3-D photorealistic models: A case study in an organic-rich mudstone, Eagle Ford Formation, Texas. *Geosphere*, 10(3), 610-626.

<https://doi.org/10.1130/GES00937.1>

Montoya, D. (2003). Geología de las planchas 240 Pichimá, 241 Cucurupí, 259 Malaguita y 260 Aguas Claras. *Ingeominas*.

Mora, C. G. (2011). *Petrografía y diagénesis a partir de núcleos de perforación de las rocas sedimentarias de la cuenca san juan, chocó*.

Nivia, Á. (2001). Memoria explicativa mapa Geológico del Departamento del Valle del

Cauca, Escala 1:250.000, Memoria Explicativa. *Ingeominas*, (January 2001), 148.

Ojeda-Pardo, F. R., Belete-Fuentes, O., & Batista-Legrá, Y. E. (2014). Elaboración del modelo digital de elevaciones mediante tecnología 3D láser ...: EBSCOhost.

Recuperado de

[http://bibliotecadigital.usb.edu.co:2129/ehost/detail/detail?vid=0&sid=4ab15b39-](http://bibliotecadigital.usb.edu.co:2129/ehost/detail/detail?vid=0&sid=4ab15b39-2343-465f-ae94-481bdf14d050%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=a9h&AN=95650591)

[2343-465f-ae94-](http://bibliotecadigital.usb.edu.co:2129/ehost/detail/detail?vid=0&sid=4ab15b39-2343-465f-ae94-481bdf14d050%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=a9h&AN=95650591)

[481bdf14d050%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZ](http://bibliotecadigital.usb.edu.co:2129/ehost/detail/detail?vid=0&sid=4ab15b39-2343-465f-ae94-481bdf14d050%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=a9h&AN=95650591)

[l#db=a9h&AN=95650591](http://bibliotecadigital.usb.edu.co:2129/ehost/detail/detail?vid=0&sid=4ab15b39-2343-465f-ae94-481bdf14d050%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=a9h&AN=95650591)

Parian, J. A., & Gruen, A. (2005). Integrated Laser Scanner And Intensity Image

Calibration And Accuracy Assessment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and*

Remote Sensing, 36(3), 6. Recuperado de

[http://www.geod.ethz.ch/p02/general/persons/jafar/pdf/Amiri Parian_Enschede](http://www.geod.ethz.ch/p02/general/persons/jafar/pdf/Amiri_Parian_Enschede_2005.pdf)

[2005.pdf](http://www.geod.ethz.ch/p02/general/persons/jafar/pdf/Amiri_Parian_Enschede_2005.pdf)

Pesci, A., Teza, G., & Ventura, G. (2008). Remote sensing of volcanic terrains by terrestrial

laser scanner : preliminary reflectance and RGB implications for studying Vesuvius

crater (Italy), 51(August).

Plata, A. (2012). *Diatomeas del Pacífico Ecuatorial Colombiano ; aportes a la*

bioestratigrafía y análisis paleoambiental de sedimentos de la Secuencia Ladrilleros ,

sector Ladrilleros - Juanchaco , Valle del Cauca- Colombia. Universidad de

Salamanca.

Plata, A., Bárcena, M. Á., Vallejo, D. F., Trejos, R., Pardo-Trujillo, A., Flores, J.-A. A., &

Sierro, F. J. (2018). First record of middle Miocene marine diatoms from the

Colombian Pacific (NW South America) and their paleoceanographic significance.

Marine Micropaleontology, 140(January), 17-32.

<https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2017.12.005>

Posada, B. O., Henao, W., & Guzmán, G. (2009). *Diagnóstico de la erosión y sedimentación en la zona costera del pacifico colombiano*. INVEMAR (Vol. 17).

109

Quimbay Lopez, C. A., & Leiva Fonseca, E. F. (2016). *Generación De Un Modelo Digital De Terreno Georreferenciado Con El Escáner Laser Faro Focus 3d En El Lote B De La Universidad Distrital Francisco José De Caldas Facultad De Medio Ambiente Y Recursos Naturales*. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

Riquelme, A. (2015). Uso de nubes de puntos 3D para identificación y caracterización de familias de discontinuidades planas en afloramientos rocosos y evaluación de la calidad geomecánica, 205. Recuperado de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/51107>

Rodríguez-Juárez, A. (2016). *Estudio de captura de datos con escáner láser terrestre (TLS) para aplicación en el Modelado de Información para la Edificación (BIM)*. Universidad de Jaén.

Roncagliolo, P. (2013). Procesamiento Digital de Imágenes. *Iatreia*, 42-72.
<https://doi.org/10.14409/fabicib.v4i1.637>

Servicio geológico colombiano. (2014). *Placha 259 - Malaguita*.

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2013). Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza por Movimientos en Masa Escala

1:100.000. *Servicio Geológico Colombiano*, (2), 158.

Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2017). *Guía Metodológica para la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1:25000*.

<https://doi.org/10.1002/chem.201301917>

110

Servicio Geológico Colombiano (SGC), & Universidad Nacional de Colombia. (2014). *Memoria Explicativa Del Mapa Geomorfológico Aplicado a Movimientos En Masa Escala 1 : 100 . 000 . Plancha 259- Malaguita*.

Sheng, J., Liu, Z., Zeng, Q., & Zhang, Y. (2016). Sand bodies identification in reservoir outcrops using intensity from terrestrial laser scanner. En *SEG Technical Program Expanded Abstracts* (Vol. 35, pp. 3037-3041). Society of Exploration Geophysicists. <https://doi.org/10.1190/segam2016-13772603.1>

Silva-Casarín, R., Lacouture, M., Durón, F., Pedroza-Paez, D., Pérez, M. A., Baldwin, E., ... Cid, A. (2011). *Caracterización de la zona costera y planteamiento de elementos técnicos para la elaboración de criterios de regulación y manejo sustentable*.

Slob, S., & Hack, R. (2004). 3D terrestrial laser scanning as a new field measurement and monitoring technique., 179-189. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-39918-6>

Stronkhorst, J., van der Spek, A., & van Maren, B. (2013). A Quicksan of Building-with-Nature Solutions to Mitigate Coastal Erosion in Colombia. Interim report.

Teza, G., Pesci, A., Genevois, R., & Galgaro, A. (2008). Characterization of landslide ground surface kinematics from terrestrial laser scanning and strain field computation. *Geomorphology*, 97(3-4), 424-437. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.09.003>

Trinks, I., Clegg, P., McCaffrey, K., Jones, R. R., Hobbs, R., Holdsworth, B., ... Wilson, R. (2005). Mapping and analysing virtual outcrops. *Visual Geosciences*.

<https://doi.org/10.1007/s10069-005-0026-9>

Universidad de Murcia. (2006). Teledetección. En Universidad de Murcia (Ed.), *Fundamentos de la teledetección* (pp. 181-218). Recuperado de

http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_10.pdf

111

Vallejo, D. F. (2012). *Análisis Bioestratigráfico y Paleoambiental por medio de Nanofósiles Calcáreos en la " Secuencia Ladrilleros - Juanchaco ", NW de Suramérica – Colombia .*

Vallejo, D. F., Flores, J. A., Plata, A., Trejos, R., Pardo, A., Sierro, F. J., & Bárcena, M. Á. (2016). Low-Latitude Miocene Calcareous and Siliceous Microfossil Biostratigraphy from NW South America: Ladrilleros-Juanchaco Section, Colombian Pacific. *Ameghiniana*, 53(6), 629-644. <https://doi.org/10.5710/AMGH.11.08.2016.2978>

Voegtle, T., Schwab, I., & Landes, T. (2008). Influences of different materials on the measurements of a terrestrial laser scanner (TLS). *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing 2008*, 37(V), 1061-1066.

<https://doi.org/10.1146/annurev.anthro.31.040402.085432>

Xu, X., Aiken, C. L. V., Bhattacharya, J. P., Corbeanu, R. M., Nielsen, K. C., McMechan, G. A., & Abdelsalam, M. G. (2000). Creating virtual 3-D outcrop. *The Leading Edge*, 19(2), 197-202. <https://doi.org/10.1190/1.1438576>

Živec, T., Anžur, A., & Verbovšek, T. (2018). Determination of rock type and moisture

content in flysch using TLS intensity in the Elerji quarry (south-west Slovenia).

Bulletin of Engineering Geology and the Environment, (1989), 1-13.

<https://doi.org/10.1007/s10064-018-1245-2>

12. Anexo

CODIGO											
ESTACIONES	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Jm1	0.00	0.00	0.00	0.61	1.71	6.91	30.56	6.11	9.17	24.45	20.48
Jm2	0.00	0.00	0.00	3.15	1.25	1.31	6.57	19.71	16.43	26.28	25.30
Jm3	0.00	0.00	0.00	0.77	1.23	3.15	7.68	26.88	23.04	3.84	33.41
Jm4	0.00	0.00	0.00	0.40	0.73	3.33	9.99	33.29	3.33	19.97	28.96
Jm5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.85	6.84	27.36	20.52	17.10	26.33
Jm6	0.00	0.00	0.00	6.52	0.83	0.96	9.58	15.97	22.36	19.17	24.60
Lm1	0.00	0.00	0.00	0.18	0.61	2.20	0.00	27.54	15.30	15.30	38.86
Lm2	0.00	0.00	0.00	1.22	1.07	20.10	14.31	17.88	17.88	3.58	23.96
Lm3	0.00	0.00	0.00	14.71	9.24	29.12	18.48	11.09	0.00	7.39	9.98
Lm4	0.00	0.00	0.00	2.69	1.16	17.50	21.42	21.42	12.24	3.06	20.50
Lm5	0.97	2.09	10.16	33.57	43.37	9.34	0.46	0	0	0	0
Lm6	0.00	0.00	0.00	0.52	3.88	15.72	22.64	16.17	16.17	3.23	21.67
Lm7	0.00	0.00	0.00	1.62	4.95	24.17	25.28	0.00	20.22	10.11	13.65
Lm8	0.00	0.00	0.00	2.69	0.46	1.92	0.00	3.84	30.75	15.37	44.97
Lm9	0.00	0.00	0.00	5.26	13.58	23.65	22.74	0.00	3.25	19.49	12.02
Lm10	0.00	0.00	0.00	0.57	1.26	4.60	15.75	25.20	25.20	18.90	8.51
Lm11	0.00	0.00	0.00	1.26	1.59	5.62	19.83	23.13	16.52	29.74	2.31
Lm12	0.00	0.00	0.00	2.73	0.65	7.77	7.19	10.79	25.18	3.60	42.09

Tabla 5 Porcentaje granulométrico (columnas) en cada estación (filas)

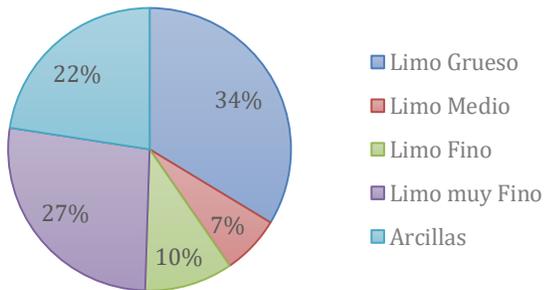
ESTACION									
ES	Jm1	Jm2	Jm3	Jm4	Jm5	Jm6	Lm1	Lm1	Lm1
MINERALES							0	1	2
Zircon	0.41	0.63	1.87	1.11	0.64	0.23	2.70	0.94	0.16
Apatito	0.00	0.84	14.79	25.09	0.00	1.15	4.39	5.64	5.92
Epidota	2.04	6.96	12.92	3.32	0.86	0.46	15.54	23.51	5.59
Granate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.04	6.90	0.82
Clorita	13.06	4.43	1.50	6.27	12.02	0.00	1.69	0.63	0.99
Anfiboles	21.22	10.34	33.71	10.70	15.45	27.42	47.30	31.97	57.89
Mica	22.45	9.70	3.93	9.59	23.39	20.05	4.05	3.13	3.62
Piroxenos	2.04	1.69	2.25	0.74	1.07	2.07	2.03	2.51	2.47
Turmalina	0.82	1.05	2.25	1.48	0.00	0.00	6.76	7.52	5.76
Clinozoicita-Zoicita	1.22	0.42	18.73	28.04	0.00	0.00	4.39	9.40	13.82
Opacos	36.73	63.50	7.68	13.28	46.14	48.39	7.43	7.84	2.96
Calcita	0.00	0.42	0.37	0.37	0.43	0.23	0.68	0.00	0.00
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 6 Porcentaje Mineralógico de Juanchaco y estación 5. Estaciones (columnas) y minerales (filas).

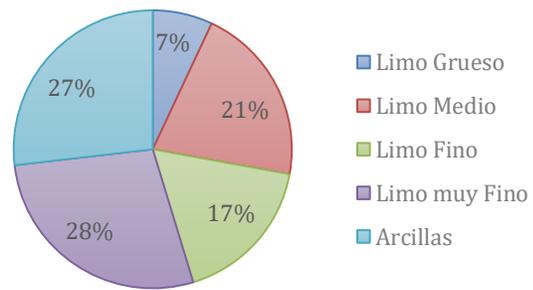
12.1. Captura de datos granulometría por Pipeta

12.1.1. Juanchaco

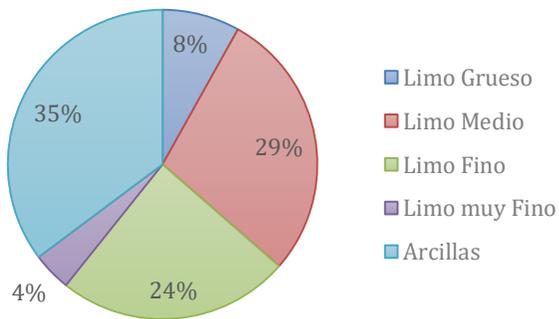
CAPTURA DE DATOS GRANULOMETRÍA POR PIPETA (Muestra JM1)



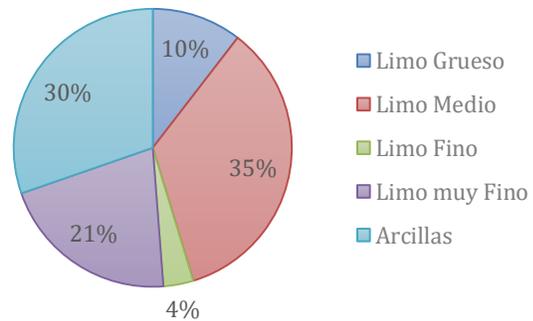
CAPTURA DE DATOS GRANULOMETRÍA POR PIPETA (Muestra JM2)

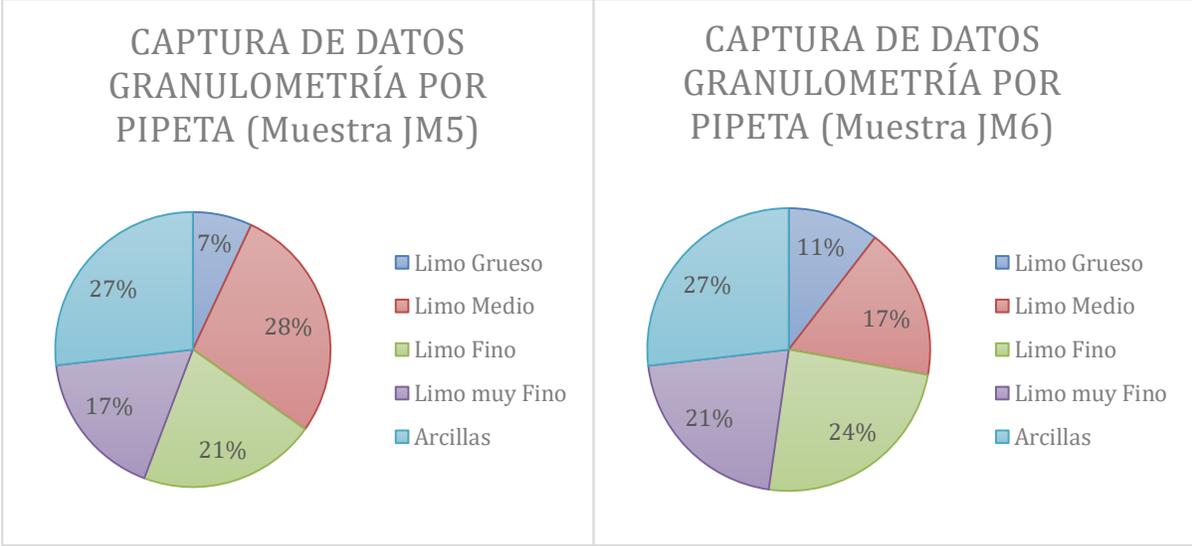


CAPTURA DE DATOS GRANULOMETRÍA POR PIPETA (Muestra JM3)

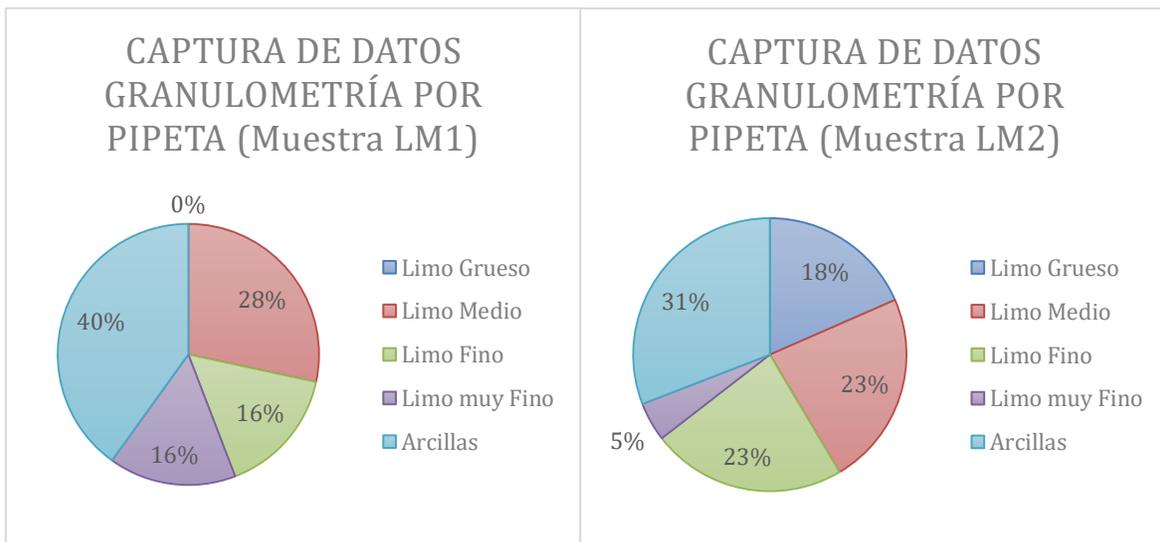


CAPTURA DE DATOS GRANULOMETRÍA POR PIPETA (Muestra JM4)

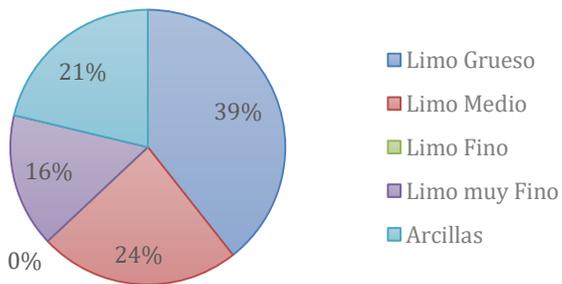




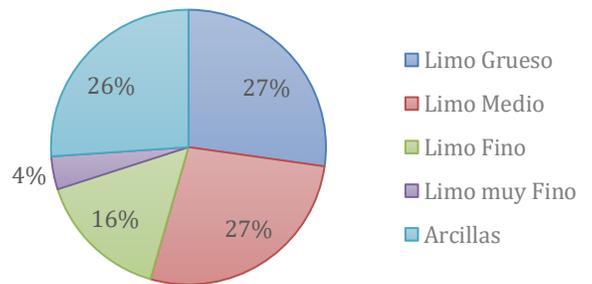
12.1.2. Ladrillero



CAPTURA DE DATOS
 GRANULOMETRÍA POR PIPETA
 (Muestra LM3)

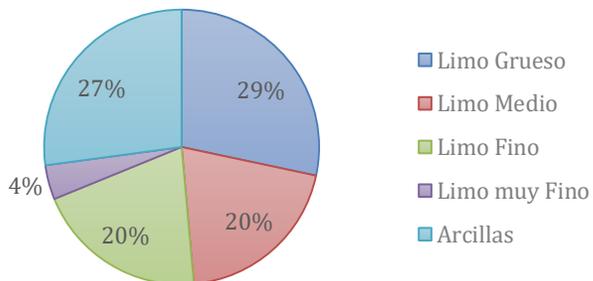


CAPTURA DE DATOS
 GRANULOMETRÍA POR PIPETA
 (Muestra LM4)

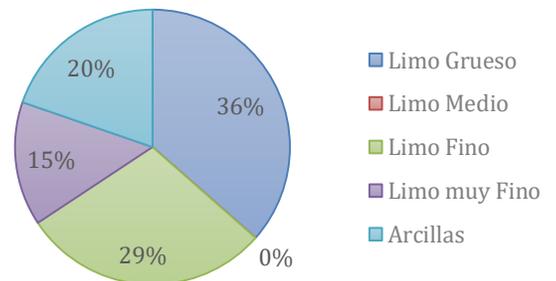


17

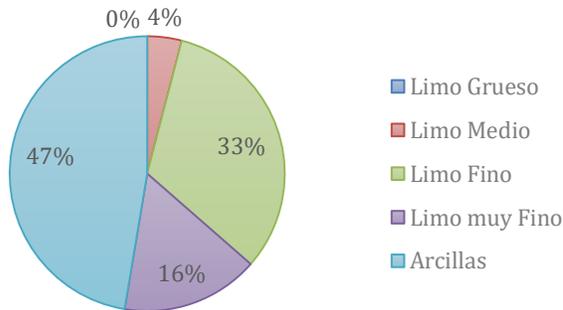
CAPTURA DE DATOS
 GRANULOMETRÍA POR PIPETA
 (Muestra LM6)



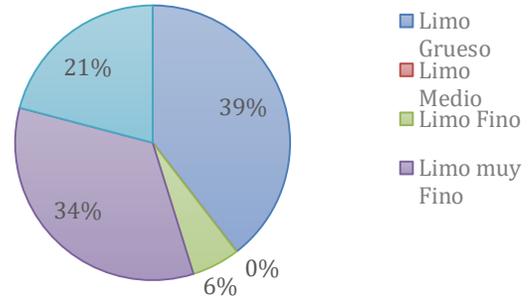
CAPTURA DE DATOS
 GRANULOMETRÍA POR PIPETA
 (Muestra LM7)



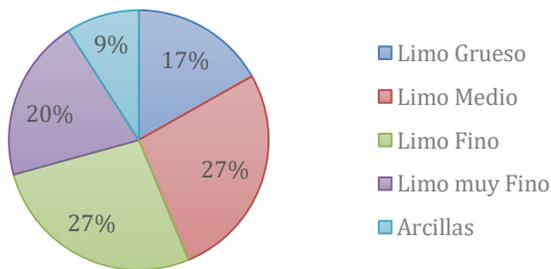
CAPTURA DE DATOS
 GRANULOMETRÍA POR PIPETA
 (Muestra LM8)



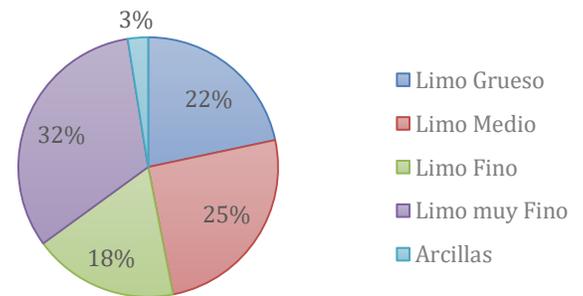
CAPTURA DE DATOS
 GRANULOMETRÍA POR PIPETA
 (Muestra LM9)



CAPTURA DE DATOS
 GRANULOMETRÍA POR PIPETA
 (Muestra LM10)



CAPTURA DE DATOS
 GRANULOMETRÍA POR PIPETA
 (Muestra LM11)



CAPTURA DE DATOS
 GRANULOMETRÍA POR PIPETA
 (Muestra LM12)

