

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Caracterización geológica de los cerros San Eduardo y Bellavista,  
Guayaquil – Ecuador.

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO EN GEOLOGÍA**

Presentado por:

**JUAN PATRICIO ARÉVALO OCHOA**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2021

## DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado a cada una de las personas que me formaron académica y personalmente a lo largo de mi vida en especial a mi madre Grecia, a mi abuelo Juan y a mi hermano Beto que me han acompañado durante todo este trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Eddy Sanclemente y al MSc. David Altamirano que me guiaron en la realización de este proyecto, así como al Dr. Paul Carrión y al MSc. Eduardo Díaz que me ayudaron en gran parte en la realización de este trabajo.

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Juan Patricio Arévalo Ochoa* doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

**Juan Patricio Arévalo Ochoa**

# EVALUADORES

---

**MSc. David Altamirano**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**Dr. Eddy Sanclemente**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

La realización de mapeos para una prospección geológica requiere de la recolección de la mayor parte de la información en el campo por parte de los geólogos, trabajo que en tiempos de coronavirus resulta casi imposible, mas, estos estudios geológicos son imprescindibles en las diversas áreas de la ciencia y al ingeniería; por esta razón, el siguiente trabajo de investigación pretende elaborar la caracterización geológica, geomorfológica y estructural de los cerros de San Eduardo y Bellavista por medio del análisis de imágenes satelitales e información disponible de la zona para la elaboración de mapas temáticos actualizados del área de estudio, todo esto pudiendo ser realizado mediante la adquisición de imágenes obtenidas con un dron e imágenes satelitales disponibles de libre acceso a las cuales se las procesó con ayuda de los Sistemas de Información Geográficos para luego identificar geoformas, estructuras y contactos entre unidades litoestratigráficas que posteriormente fueran validados en campo dejando como resultado mapas de pendientes, geológicos, geomorfológicos, tectónicos, así como modelos de compresión tectónica y propuestas de mitigación de daños para los sectores en donde fenómenos geológicos ponen en riesgo a la integridad de las personas que residen o transitan en el área de estudio.

**Palabras Clave:** Mapeo, Imágenes Satelitales, Slumps, Deslizamientos, Mapas Temáticos

## **ABSTRACT**

*Mapping for geological prospecting requires the collection of most of the information in the field by geologists, a job that in times of coronavirus is almost impossible, but these geological studies are essential in the various areas of science and engineering; For this reason, the following research work aims to develop the geological, geomorphological and structural characterization of the San Eduardo and Bellavista hills through the analysis of satellite images and available information of the area for the preparation of updated thematic maps of the study area. , all this can be done through the acquisition of images obtained with a drone and satellite images available for free access to which they were processed with the help of Geographical Information Systems to then identify geoforms, structures and contacts between lithostratigraphic units that were later Validated in the field, resulting in geological, geomorphological, tectonic slope maps, as well as tectonic compression models and damage mitigation proposals for sectors where geological phenomena put the integrity of people who reside or transit in the study area.*

**Keywords:** *Mapping, Satellite Images, Slumps, Landslides, Thematic Maps*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	VI
<i>ABSTRACT</i> .....	VII
ÍNDICE GENERAL .....	VIII
ABREVIATURAS .....	XII
SIMBOLOGÍA.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIX
CAPÍTULO 1 .....	1
1.    Introducción.....	1
1.1    Descripción del problema .....	2
1.2    Justificación del problema .....	2
1.3    Objetivos .....	2
1.3.1    Objetivo General.....	2
1.3.2    Objetivos Específicos.....	2
1.4    Marco teórico .....	3
1.4.1    Marco Geodinámico.....	3
1.4.2    Margo Geológico Regional.....	4
1.4.3    Marco Geológico Local .....	7
1.5    Contexto socioeconómico .....	15

CAPÍTULO 2.....	16
2. Metodología.....	16
2.1 Recopilación Bibliográfica .....	16
2.1.1 Búsqueda, discriminación bibliográfica y ordenamiento cronológico ...	16
2.2 Análisis Satelital .....	17
2.2.1 Búsqueda de imágenes satelitales.....	17
2.2.2 Procesamiento digital.....	19
2.2.3 Análisis cartográfico.....	20
2.3 Mapeo Geológico .....	21
2.3.1 Toma de datos litológicos .....	22
2.3.2 Toma de datos estructurales.....	22
2.3.3 Toma de fotografías aéreas .....	22
2.4 Diseño y validación de mapa.....	22
CAPÍTULO 3.....	24
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	24
3.1 Recopilación bibliográfica.....	24
3.1.1 Fm. Las Masas .....	24
3.1.2 Fm. San Eduardo.....	25
3.1.3 Fm. Cayo.....	25
3.1.4 Fm. Piñón .....	26
3.2 Resultados satelitales .....	27

3.3	Resultados del mapeo geológico.....	29
3.3.1	Afloramiento av. José María Velazco Ibarra 1 (A1) .....	29
3.3.2	Afloramiento av. José María Velazco Ibarra 2 (A2) .....	31
3.3.3	Afloramiento av. José María Velazco Ibarra 3 (A3) .....	32
3.3.4	Afloramiento calle 2C SO (A4) .....	33
3.3.5	Afloramiento sector Nueva Esperanza (A5) .....	34
3.3.6	Afloramiento San Eduardo 1 (A6) .....	35
3.3.7	Afloramiento San Eduardo 2 (A7) .....	36
3.3.8	Afloramiento San Eduardo 3 (A8) .....	37
3.3.9	Afloramiento San Eduardo 4 (A9) .....	38
3.3.10	Afloramiento San Eduardo 5 (A10) .....	39
3.3.11	Afloramiento San Eduardo 6 (A11) .....	40
3.3.12	Afloramiento San Eduardo 7 (A12) .....	41
3.3.13	Afloramiento San Eduardo 8 (A13) .....	42
3.3.14	Afloramiento San Eduardo 9 (A14) .....	43
3.3.15	Afloramiento Cerro Paraíso 1 (A15) .....	43
3.3.16	Afloramiento Cerro Paraíso 2 (A16) .....	44
3.3.17	Afloramiento Cerro Paraíso 3 (A17) .....	45
3.3.18	Afloramiento Cerro Paraíso 4 (A18) .....	46
3.3.19	Afloramiento Cerro Paraíso 5 (A19) .....	47
3.3.20	Afloramiento Cerro Paraíso 6 (A20) .....	48

3.3.21	Afloramiento Cerro Paraíso 7 (A21) .....	49
3.3.22	Afloramiento Cerro Paraíso 8 (A22) .....	50
3.3.23	Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina 1 (A23) .....	51
3.3.24	Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina 2 (A24) .....	52
3.3.25	Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina 3 (A25) .....	53
3.4	Digitalización .....	54
3.5	Análisis de resultados .....	58
CAPÍTULO 4 .....		65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		65
Conclusiones .....		65
Recomendaciones .....		67
BIBLIOGRAFÍA .....		68

## ABREVIATURAS

AGU	<i>American Geophysical Union</i>
CCC	Cordillera Chongón Colonche
DEM	Digital Elevation Model
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FGDC	Federal Geographic Data Committee
Fm.	Formación
GPS	<i>Global Positioning System</i>
M.	Miembro
MED	Modelo de Elevación Digital
NAS	<i>North Andean Sliver</i>
RGB	Red, Green, Blue
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS	World Geodetic System

## SIMBOLOGÍA

A	Aluvial
A#	Afloramiento
C	Coluvial
Cy	Fm. Cayo
D#	Diaclasa
E	Eoceno
E	Este
E#	Estrato
Gy	Fm. Guayaquil
K	Cretácico
km	Kilómetro
m	Metro
N	Norte
NE	Noreste
NO	Noroeste
O	Oeste
Pc	Paleoceno
Q	Cuaternario
S	Sur
Se	Fm. San Eduardo
SE	Sureste
SO	Suroeste

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa tectónico del Ecuador. ....	3
Figura 1.2 Boceto del mapa de las principales provincias tectónicas y unidades geológicas de la Costa ecuatoriana.....	5
Figura 1.3 Mapa de ubicación de los cerros Bellavista, San Eduardo y San Pablo .....	6
Figura 1.4 Mapa geológico de la Costa suroeste ecuatoriana. ....	7
Figura 1.5 Columna cronoestratigráfica de las formaciones que influyen en el área de interés .....	8
Figura 2.1 Esquema de la metodología empleada .....	16
Figura 2.2 Imagen Satelital Landsat 8 (RGB) .....	19
Figura 2.3 Imagen satelital Orbview (RGB) .....	19
Figura 2.4 Imagen satelital Sentinel 2 (RGB) .....	19
Figura 2.5 MED pancromático .....	19
Figura 2.6 Gráfico de pendientes (en grados; por cuantiles) del área de estudio .....	20
Figura 2.7 Mapa de sombras y curvas de nivel cada 10 metros del área de estudio ....	20
Figura 2.8 Método de 3 puntos.....	21
Figura 2.9 Proyección del estrato a partir del método de 3 puntos .....	21
Figura 2.10 Mapa de estaciones del área de estudio. ....	21
Figura 3.1 Línea de tiempo de las principales publicaciones de la Fm. Las Masas .....	24

Figura 3.2 Línea de tiempo de las principales publicaciones de la Fm. San Eduardo...	25
Figura 3.3 Línea de tiempo de las principales publicaciones de la Fm. Cayo .....	26
Figura 3.4 Línea de tiempo de las principales publicaciones de la Fm. Piñón .....	27
Figura 3.5 Análisis del satélite Orbview en el área de estudio. ....	28
Figura 3.6 Análisis del satélite de Bing en el área de estudio. ....	28
Figura 3.7 Análisis de combinación de bandas RGB (6/5, 6/7, 4/2) en imagen de Sentinel 2 en el área de estudio. ....	28
Figura 3.8 Mapa de paradas .....	29
Figura 3.9 Afloramiento av. José María Velazco Ibarra 1 .....	30
Figura 3.10 Familias de diaclasas afloramiento A1. ....	30
Figura 3.11 Fracturas y diaclasas afloramiento A1.....	30
Figura 3.12 Afloramiento av. José María Velazco Ibarra 2 .....	31
Figura 3.13 Afloramiento av. José María Velazco Ibarra 2. ....	31
Figura 3.14 Afloramiento av. José María Velazco Ibarra 3 .....	32
Figura 3.15 Silicificación en diaclasas afloramiento A3 .....	32
Figura 3.16 Deslizamiento de masas afloramiento A3.....	33
Figura 3.17 Acuñaamiento afloramiento A3.....	33
Figura 3.18 Afloramiento calle 2C SO .....	34
Figura 3.19 Afloramiento sector Nueva Esperanza .....	35
Figura 3.20 Plegamiento afloramiento A5.....	35
Figura 3.21 Afloramiento San Eduardo 1.....	36

Figura 3.22 Estructuras tipo boundinage afloramiento A6. ....	36
Figura 3.23 Afloramiento San Eduardo 2.....	37
Figura 3.24 Plegamiento tipo chevron .....	37
Figura 3.25 Afloramiento San Eduardo 3.....	38
Figura 3.26 Caída de bloques en afloramiento A8.....	38
Figura 3.27 Afloramiento San Eduardo 4.....	39
Figura 3.28 Afloramiento San Eduardo 5.....	40
Figura 3.29 Afloramiento San Eduardo 6.....	41
Figura 3.30 Afloramiento San Eduardo 7.....	42
Figura 3.31 Laminación en lutitas.....	42
Figura 3.32 Afloramiento San Eduardo 7.....	42
Figura 3.33 Afloramiento San Eduardo 9.....	43
Figura 3.34 Afloramiento Cerro Paraíso (A15) .....	44
Figura 3.35 Afloramiento Cerro Paraíso (A16) .....	45
Figura 3.36 Caída de rocas .....	45
Figura 3.37 Afloramiento Cerro Paraíso (A17) .....	46
Figura 3.38 Afloramiento Cerro Paraíso (A18) .....	47
Figura 3.39 Drenaje en (A18) .....	47
Figura 3.40 Afloramiento Cerro Paraíso (A19) (vista en planta). ....	48
Figura 3.41 Afloramiento Cerro Paraíso (A20) .....	49
Figura 3.42 Afloramiento Cerro Paraíso (A21) .....	50

Figura 3.43 Afloramiento Cerro Paraíso (A22) .....	51
Figura 3.44 Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina (A23) .....	52
Figura 3.45 Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina (A24) .....	53
Figura 3.46 Afloramiento en sendero del Cuerpo de Infantería Marina (A25) .....	54
Figura 3.47 Mapa de pendientes de los Cerros San Eduardo y Bellavista .....	56
Figura 3.48 Mapa geológico de los Cerros San Eduardo y Bellavista .....	56
Figura 3.49 Mapa geomorfológico de los Cerros San Eduardo y Bellavista .....	57
Figura 3.50 Mapa tectónico de los Cerros San Eduardo y Bellavista .....	57
Figura 3.51 Actitudes de los estratos de los cerros del caso urbano de Durán y los cerros San Eduardo y Bellavista .....	58
Figura 3.52 Mecanismo de redes y poleas en Fonzaso (Belluno, Italia) .....	59
Figura 3.53 Modelo de chevron en Millook Haven, Cornwall, SE England. ....	60
Figura 3.54 Chevron en parada A7 .....	60
Figura 3.55 Modelo de boudinage en Millook Haven, Cornwall, SE England .....	60
Figura 3.56 Boudinage en parada A6 .....	60
Figura 3.57 Modelo de esfuerzos .....	61
Figura 3.58 Contacto estratigráfico .....	62
Figura 3.59 Contacto estratigráfico .....	62
Figura 3.60 Deslizamiento rotacional .....	62
Figura 3.61 Ladera cóncava .....	62
Figura 3.62 Cantera .....	63

Figura 3.63 Avalancha de detritos .....	63
Figura 3.64 Falla geológica .....	63
Figura 3.65 Escarpe .....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Descripción bibliográfica de la Fm. Las Masas .....	8
Tabla 1.2 Descripción bibliográfica del M. Javita .....	9
Tabla 1.3 Descripción bibliográfica del M. San Eduardo.....	10
Tabla 1.4 Descripción bibliográfica de la Fm. Guayaquil .....	11
Tabla 1.5 Descripción bibliográfica de la Fm. Cayo.....	12
Tabla 1.6 Descripción bibliográfica de la Fm. Calentura.....	13
Tabla 1.7 Descripción bibliográfica de la Fm. Piñón .....	14
Tabla 2.1 Características técnica del satélite Sentinel 2.....	17
Tabla 2.2 Características técnica del satélite Landsat 8.....	17
Tabla 2.3 Características técnica del satélite OrbView .....	18
Tabla 2.4 Características técnica del satélite de Google Earth.....	18
Tabla 2.5 Características técnica del satélite de ESRI .....	18
Tabla 2.6 Características técnica del satélite de Bing.....	18
Tabla 2.7 Características técnica del sensor SRTM .....	18
Tabla 2.8 Características técnica del sensor Alos Palsar .....	18
Tabla 3.1 Ficha técnica afloramiento av. José María Velazco Ibarra 1 .....	30
Tabla 3.2 Ficha técnica afloramiento av. José María Velazco Ibarra 2 .....	31
Tabla 3.3 Ficha técnica afloramiento av. José María Velazco Ibarra 3 .....	33

Tabla 3.4 Ficha técnica afloramiento calle 2C SO .....	34
Tabla 3.5 Ficha técnica Afloramiento sector Nueva Esperanza .....	35
Tabla 3.6 Ficha técnica Afloramiento San Eduardo 1 .....	36
Tabla 3.7 Ficha técnica Afloramiento San Eduardo 2 .....	37
Tabla 3.8 Ficha técnica Afloramiento San Eduardo 3 .....	38
Tabla 3.9 Ficha técnica Afloramiento San Eduardo 4 .....	39
Tabla 3.10 Ficha técnica Afloramiento San Eduardo 5 .....	40
Tabla 3.11 Ficha técnica Afloramiento San Eduardo 6 .....	41
Tabla 3.12 Ficha técnica Afloramiento San Eduardo 7 .....	42
Tabla 3.13 Ficha técnica Afloramiento San Eduardo 7 .....	42
Tabla 3.14 Ficha técnica Afloramiento San Eduardo 9 .....	43
Tabla 3.15 Ficha técnica Afloramiento Cerro Paraíso 1 .....	44
Tabla 3.16 Ficha técnica Afloramiento Cerro Paraíso 2.....	45
Tabla 3.17 Ficha técnica Afloramiento Cerro Paraíso 3.....	46
Tabla 3.18 Ficha técnica Afloramiento Cerro Paraíso 4.....	47
Tabla 3.19 Ficha técnica Afloramiento Cerro Paraíso 5.....	48
Tabla 3.20 Ficha técnica Afloramiento Cerro Paraíso 6.....	49
Tabla 3.21 Ficha técnica Afloramiento Cerro Paraíso 7.....	50
Tabla 3.22 Ficha técnica Afloramiento Cerro Paraíso 8.....	51
Tabla 3.23 Ficha técnica Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina 1 .....	52
Tabla 3.24 Ficha técnica Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina 2 .....	53

Tabla 3.25 Ficha técnica Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina 3 .....54

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Los estudios de caracterización geológica son importantes en las diversas ramas de la ciencia y la ingeniería ya que no solo se limita a la exploración de recursos que se utilizan en la vida cotidiana, sino que también trata los peligros y riesgos asociados con fenómenos naturales como los deslizamientos de tierra, erupciones volcánicas, terremotos y entre otros campos como el de la ingeniería civil en donde ayuda a garantizar un diseño seguro y rentable para proyectos de construcción.

Según Cárdenas (2018), actualmente, la información en cuanto a la cantidad, la calidad y la ubicación de los recursos naturales con los que cuenta el país y la caracterización del suelo y subsuelo ecuatoriano no han sido cubiertos completamente, razón por la cual a la hora de realizar obras de construcción no se pueden tomar las decisiones correctas.

Las descripciones geológicas en el área de Guayaquil indican la presencia de rocas básicas ígnea, sedimentos, rocas intrusivas, terrazas de arenas y arcillas así como aluviones (Ergüez et al., 2017). Las rocas ígneas de la Fm. Piñón y sedimentos de la Fm. Cayo se las usa como lastre y ripio, además de su uso para la construcción de carreteras; rocas como la diorita de Pascuales se las puede utilizar como roca ornamental, a oeste de Pascuales se encuentran concentraciones de baritina, lugar en donde, además, existen indicios de otros minerales de hierro y a las calizas de la formación San Eduardo se las utiliza en grandes volúmenes para la elaboración de cementos. (United Nations Development Programme, 1969)

En este estudio se pretende realizar la caracterización geológica, geomorfológica y estructural de los cerros de San Eduardo y Bellavista por medio del análisis de imágenes satelitales e información disponible de la zona para obtención de mapas temáticos actualizados del área de estudio para lograr tener una mejor comprensión de la geología que abarca esta zona de estudio.

## **1.1 Descripción del problema**

El conocimiento de la geología superficial y del subsuelo de determinado lugar es de vital importancia en proyectos de planificación urbana y rural, por ser la base para definir las limitaciones en obras ingenieriles y posibles soluciones. Dicha información generalmente suele ser escasa, desactualizada o de acceso restringido, por lo que se debe recurrir a la prospección geológica de la zona de interés incrementando los costos y tiempos de ejecución de los proyectos.

## **1.2 Justificación del problema**

El presente proyecto busca diseñar mapas geológicos temáticos del área de los cerros de Bellavista y San Eduardo con el fin de actualizar el conocimiento geológico de la zona a beneficio de la comunidad y se lo pueda emplear en planeamiento territorial, en extracción minería y en el control de los deslizamientos de masas y la estabilización de taludes que afectan a una buena parte de los cerros previamente mencionados.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Elaborar la caracterización geológica, geomorfológica y estructural de los cerros de San Eduardo y Bellavista por medio del análisis de imágenes satelitales e información disponible de la zona para la elaboración de mapas temáticos actualizados del área de estudio.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- 1) Seleccionar la información geológica, estructural y geomorfológica disponible que permita la construcción de mapas la zona de estudio.
- 2) Analizar la información disponible y mapas actualizados que aporten con la caracterización de la zona de estudio.
- 3) Construir el mapa geológico, geomorfológico y estructural actualizados de la zona de estudio empleando imágenes satelitales y bibliografía actualizada.

## 1.4 Marco teórico

### 1.4.1 Marco Geodinámico

El Ecuador está ubicado al noroeste de Sudamérica y corresponde a un margen continental activo donde la placa de Nazca se subduce bajo la placa Sudamericana (James, 1971) (ver Figura 1.1).

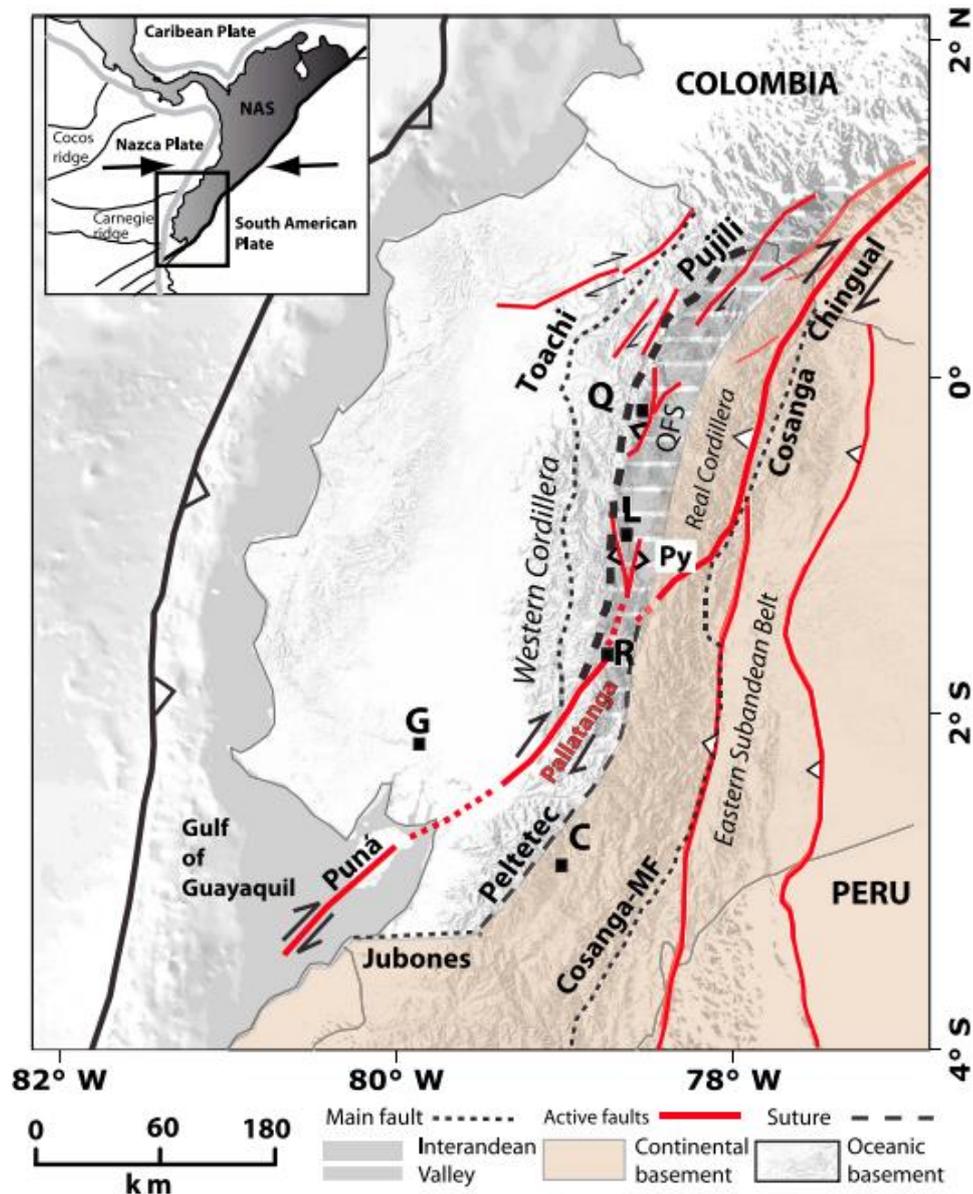


Figura 1.1 Mapa tectónico del Ecuador.

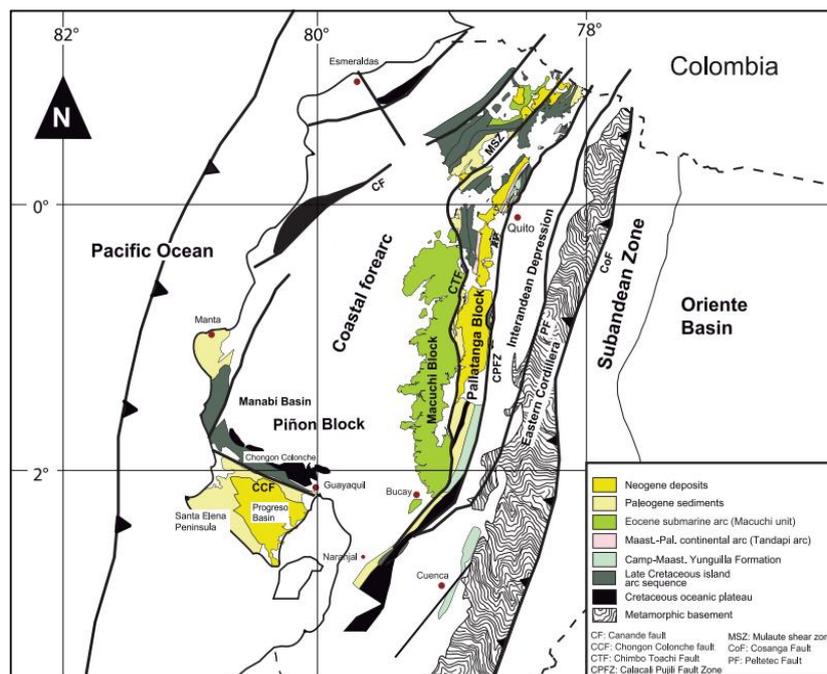
(NAS: North Andean Sliver, Cosanga-MF: Falla Cosanga-Méndez, Peltetec: sutura Peltetec, Pujilí: Sutura Mélange Pujilí, Jubones: Falla Jubones, Toachi: zona de cizalla Toachi, Py; Pisayambo, QFS: Sistema de fallas activas de Quito, G: Guayaquil, Q: Quito, C: Cuenca, R: Riobamba, L: Latacunga). Fuente: (Alvarado et al., 2016)

El Ecuador se divide en zonas tectono-estratigráficas que se ubican de forma paralela a la disposición de la cordillera de los Andes del norte (ver Figura 1.2). La región Costa y la Cordillera Occidental son parte de los diversos terrenos oceánicos acumulados, separados entre sí por sistemas de fallas del Cretácico. (Alvarado et al., 2016)

Al norte del Golfo de Guayaquil, se ha identificado una gran franja (North Andean Sliver, NAS) (Ver Figura 1.1) que comprende a los Andes y su margen oeste desde el Ecuador hasta Venezuela (White et al., 2003). La costa ecuatoriana se presenta estructuras con rumbo NO-SE (Misión Británica & Dirección General de Geología y Minas, 1975) y, una tectónica de bloques fallados, de donde destacan 2 bloques levantados: el bloque Azúcar-Playas y la Cordillera Chongón Colonche (Nuñez & Dugas, 1986). Mediciones de GPS han permitido definir el límite este de NAS en Ecuador: el cual incluye el Golfo de Guayaquil, corta oblicuamente la Cordillera de los Andes y luego se ubica a lo largo del frente oriental de la Cordillera Oriental. (Nocquet et al., 2014).

#### **1.4.2 Margo Geológico Regional**

La Región Costa o Región Litoral del Ecuador integra una franja con disposición N-S de tierra de más de 500 km de largo y de aproximadamente 25 a 200 km de ancho, misma que se encuentra ubicada entre la Cordillera de los Andes y la línea de costa del Pacífico (ver Figura 1.2). Una buena parte de la región Costa es parcialmente plana con una altura menor a 100m de relieve local, pero con algunos lugares en donde se pueden encontrar cadenas de cerros de más de 300 m de altura (Feininger & Bristow, 1980) como es el caso de los cerros que conforman la Cordillera Chongón Colonche.



**Figura 1.2 Boceto del mapa de las principales provincias tectónicas y unidades geológicas de la Costa ecuatoriana.**

**Fuente: (Vallejo et al., 2019)**

#### **1.4.2.1 Cordillera Chongón Colonche**

La Cordillera Chongón-Colonche, ubicada en el norte de la Península de Santa Elena, al oeste de Guayaquil (ver Figura 1.2), constituye un relieve sobresaliente en la Costa ecuatoriana. Esta cordillera homoclinal consta de 100km de extensión con alturas que llegan a los 500 m, esta quiebra de oeste a noroeste, en ángulo recto con el rumbo de la Cordillera de los Andes, la cual se encuentra a solo 80 km al este. (Feininger & Bristow, 1980)

Según (Nuñez, 2003) Las rocas ígneas que afloran en la Cordillera de Chongón-Colonche, son de variados tipos y en su publicación, las agrupa dentro de la siguientes denominaciones: Rocas volcánicas (Formación Piñón, andesitas y dacitas, basaltos terciarios) y rocas plutónicas (dioritas y gabros).

#### **1.4.2.2 Cerro San Eduardo**

El cerro San Eduardo se encuentra ubicado al oeste de Guayaquil, con coordenadas (618797, 9758486) (ver Figura 1.3) (Escobar, 2019). Este cerro presenta una alineación aproximadamente N-S y que junto con el cerro Bellavista corresponde a la prolongación

final de la Cordillera Chongón Colonche en el sur. En el Cerro San Eduardo, la Fm. Guayaquil está compuesta de estratos centimétricos y decimétricos de lutitas silicificadas, cherts, limolitas tobáceas, chert nodular bandeado, tobas, areniscas tobáceas y lutitas calcáreas, así como una serie de areniscas (Stalin Benitez, 1995). En este lugar, además se han realizado estudios bioestratigráficos, principalmente de la Fm. Guayaquil (Escobar, 2019).

### 1.4.2.3 Cerro Bellavista

El cerro de Bellavista se encuentra ubicado al oeste de Guayaquil, al este del cerro San Eduardo y con coordenadas (620000, 9760000) (ver Figura 1.3) y que además consta de un alineamiento NO-SE.

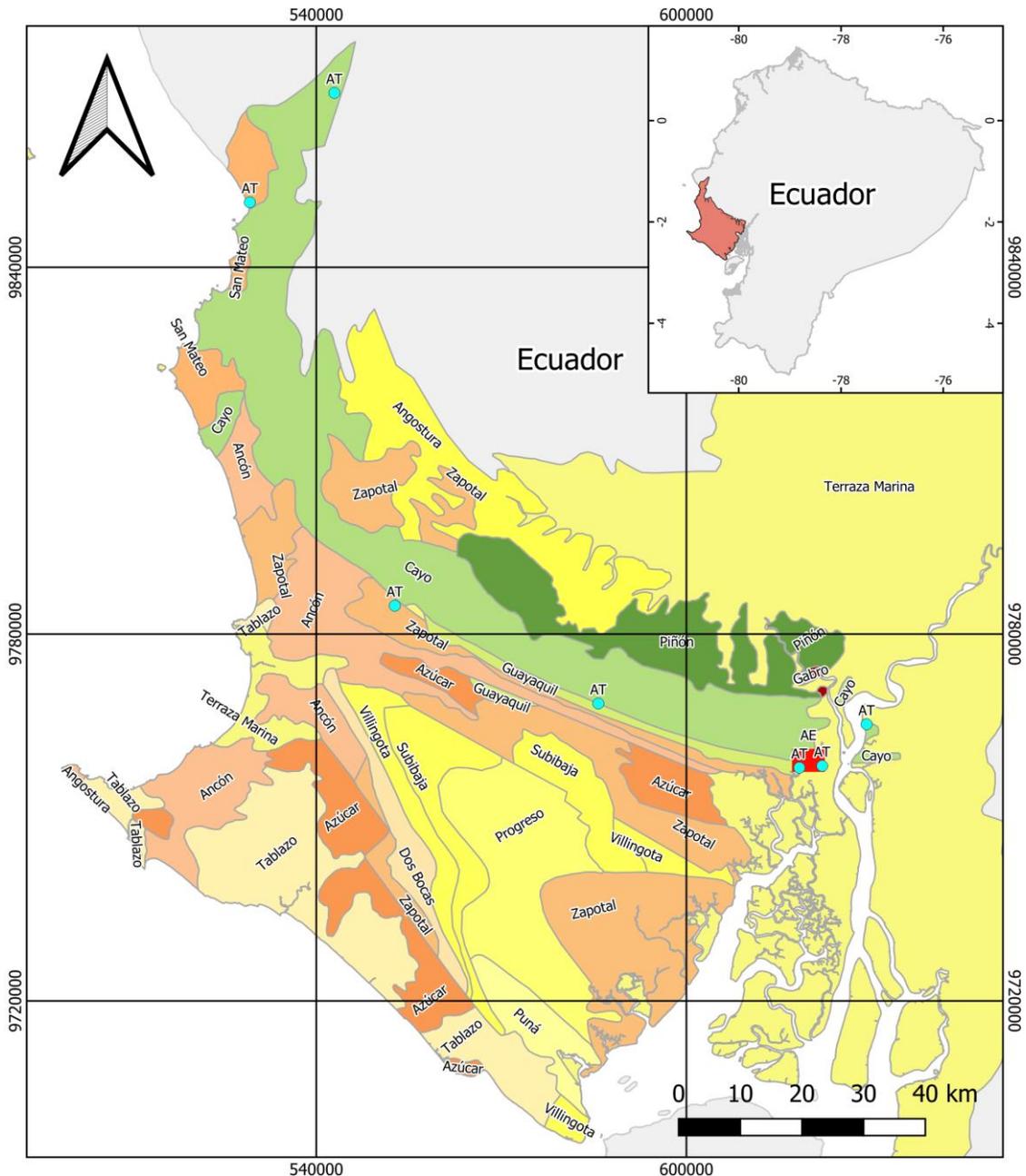
Un estudio realizado por Ortiz (2019), en el cerro Bellavista distinguió tres unidades, de más reciente a más antiguo: Fm Guayaquil miembro Superior, Fm Guayaquil miembro inferior y la Fm. Cayo.



Figura 1.3 Mapa de ubicación de los cerros Bellavista, San Eduardo y San Pablo

### 1.4.3 Marco Geológico Local

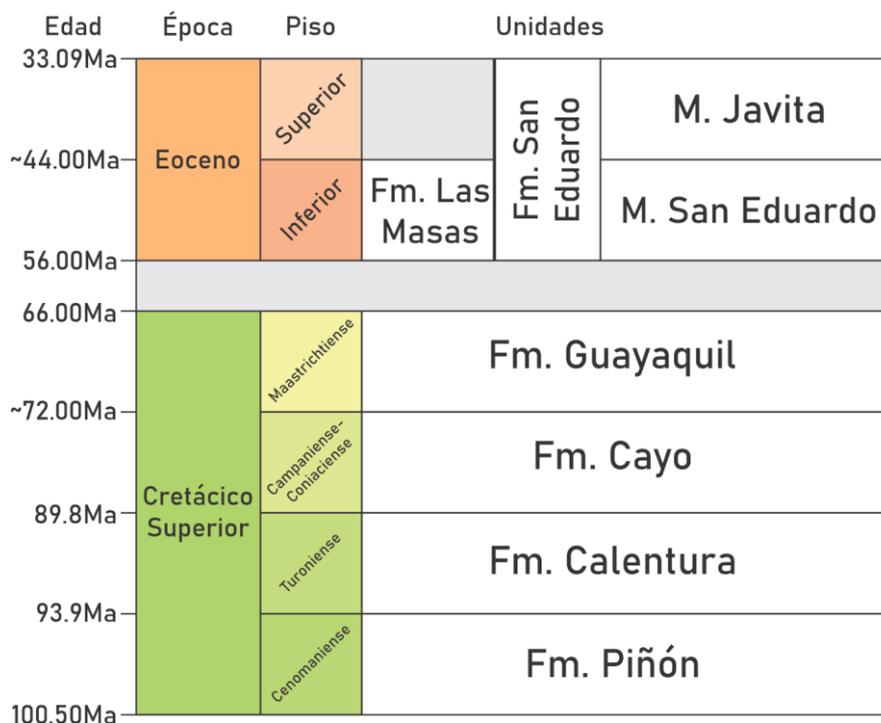
Según algunas publicaciones y tesis recientes (Escobar, 2019; Ortiz, 2019; Van Melle et al., 2008) sobre el área de estudio, se consideran a Las Masas, San Eduardo, Guayaquil, Cayo, Calentura, Piñón (ver Figura 1.4) y sus respectivos miembros como formaciones objeto de estudio para este trabajo de investigación.



**Figura 1.4 Mapa geológico de la Costa suroeste ecuatoriana.**

**(AT: Afloramiento tipo, AE: Área de estudio). Modificado del Mapa Geológico de la República del Ecuador (Ergüez et al., 2017)**

En la Figura 1.5 se puede observar el orden de sedimentación de las formaciones objeto de estudio ubicadas en su orden cronológico, así como sus edades relativas y absolutas.



**Figura 1.5** Columna cronoestratigráfica de las formaciones que influyen en el área de interés

A continuación, se muestran a las formaciones objeto de estudio en donde se detallaron edades relativas, litologías, sus relaciones estratigráficas, su localidad tipo, espesor, sus usos y algunas generalidades.

#### 1.4.3.1 Fm. Las Masas (Eoceno Inferior-Medio)

**Tabla 1.1** Descripción bibliográfica de la Fm. Las Masas

Nombre	Fm. Las Masas
Edad	Eoceno Inferior-Medio (Benitez, 2010)
Litología	Lodolitas un con dureza media, dispuestas de forma estratificada, con una coloración verde amarillento, con algunas localidades calcáreas y con la presencia en la parte superior de lutitas (C. Bristow &

<b>Nombre</b>	<b>Fm. Las Masas</b>
	Hoffstetter, 1977).
<b>Relaciones Estratigráficas</b>	El contacto inferior con la Fm. San Eduardo es transicional. (C. Bristow & Hoffstetter, 1977).
<b>Generalidades</b>	Esta formación corresponde a una transgresión sobre un terreno hundido de la cordillera de Chongón-Colonche (Nuñez, 2003).
<b>Localidad Tipo</b>	23km al NO de Chongón, (586000, 9769000) (C. Bristow & Hoffstetter, 1977).
<b>Espesor</b>	Llega hasta 360m (C. Bristow & Hoffstetter, 1977).
<b>Principales usos</b>	Según (Merriman et al., 2003) las lodolitas pueden ser utilizadas como ladrillos, adoquines, tejas de barro y tubos de barro vitrificado

### 1.4.3.2 Fm San Eduardo

#### 1.4.3.2.1 Miembro Javita (Eoceno medio superior)

**Tabla 1.2 Descripción bibliográfica del M. Javita**

<b>Nombre</b>	<b>Miembro Javita</b>
<b>Edad</b>	Eoceno medio superior (Nuñez & Dugas, 1986)
<b>Litología</b>	La litología consiste en calcarenitas que presentan una coloración crema a gris-café, con un grano grueso alternando en conglomerados o brechas. En la parte basal son comunes lutitas calcáreas. Localmente abundan macroforaminíferos (C. Bristow & Hoffstetter, 1968).
<b>Relaciones Estratigráficas</b>	La Caliza Javita se encuentra en la misma posición estratigráfica que la Fm. San Eduardo, esta descansa sobre la Fm. Guayaquil presumiblemente de forma discordante. Está sobrepuesta generalmente por estratos del Grupo Ancón (C. Bristow & Hoffstetter,

<b>Nombre</b>	<b>Miembro Javita</b>
	1977).
<b>Generalidades</b>	Esta formación aflora en bloques deslizados, en el flanco oeste y sur de la Cordillera de Chongón Colonche (Nuñez & Dugas, 1986).
<b>Localidad Tipo</b>	Río Seco (553000,9785000) (Ordóñez, 2007)
<b>Espesor</b>	Hasta 200 metros (Feininger & Bristow, 1980).
<b>Principales usos</b>	Calizas utilizadas para la elaboración de cemento (Cornejo, 2016).

#### 1.4.3.2.2 Miembro San Eduardo (Eoceno Medio Inferior)

**Tabla 1.3 Descripción bibliográfica del M. San Eduardo**

<b>Nombre</b>	<b>Miembro San Eduardo</b>
<b>Edad</b>	Eoceno Medio Inferior (Canfield, 1966).
<b>Litología</b>	Se trata de una roca caliza bien asentada con alto contenido fosilífero. Se describe que la roca recién fracturada emite un fuerte olor a hidrocarburos. Se pueden encontrar en algunas localidades lechos intercalados de lutitas silicificadas y masas lenticulares de sílex, especialmente en la parte baja. Las partes inferiores de San Eduardo contienen fragmentos angulares de pedernal los cuales tienen una proveniencia de los lechos más altos de la Formación Cayo subyacente (CANFIELD, 1966). En la península de Santa Elena, San Eduardo también consta con la presencia de (Feininger & Bristow, 1980). La formación se encuentra además constituida por turbiditas de naturaleza terrígena, con un incremento gradual de turbiditas calcáreas y lutitas silíceas (Ordóñez, 2007).
<b>Relaciones</b>	Se asienta sobre la Fm. Guayaquil en contacto aparentemente

<b>Nombre</b>	<b>Miembro San Eduardo</b>
<b>Estratigráficas</b>	concordante, sin embargo, según las edades de ambos depósitos, se determina la existencia de un hiato de sedimentación entre ellas. (C. Bristow & Hoffstetter, 1968).
<b>Generalidades</b>	Esta formación aflora en San Antonio, cerca de Guayaquil y cerca de Playas. Tiene la característica de presentar fragmentos de algas arrecifales, guijarros de calcilutitas y nódulos de chert (Nuñez, 2003).
<b>Localidad Tipo</b>	Cantera San Eduardo (618600, 9758500) (C. Bristow & Hoffstetter, 1968).
<b>Espesor</b>	Hasta 200 metros (Feininger & Bristow, 1980).
<b>Principales usos</b>	Calizas utilizadas para la elaboración de alrededor de 6000 toneladas de cemento por día correspondiente al 70% de la producción del país (Cornejo, 2016).

#### 1.4.3.3 Fm Guayaquil (Maestrichtiana)

**Tabla 1.4 Descripción bibliográfica de la Fm. Guayaquil**

<b>Nombre</b>	<b>Fm. Guayaquil</b>
<b>Edad</b>	Maestrichtiana (Sigal, 1968)
<b>Litología</b>	En esta formación se encuentran argilitas silicificadas, con la presencia de cherts en capas delgadas con coloración anteaada hasta negro, intercalaciones de argilitas tobáceas y tobas de coloración verdosa o gris oscura en estratificación bien definida. Localmente la roca se observa reemplazada completamente por sílice. Se pueden ver además la presencia de vetas de sílice, de cuarzo, calcedonia azul, casi opalescente y nódulos de pirita (C. Bristow & Hoffstetter, 1968).
<b>Relaciones</b>	Se presenta un cambio gradual entre Guayaquil y Cayo (Sinclair &

<b>Nombre</b>	<b>Fm. Guayaquil</b>
<b>Estratigráficas</b>	Berkey, 1924). Está sobrepuesto con baja evidencia de un contacto discordante, pero con la presencia de un hiato estratigráfico, por la Fm. San Eduardo (C. Bristow & Hoffstetter, 1968)
<b>Generalidades</b>	Mucha de la silicificación parece tener una procedencia secundaria (Sinclair & Berkey, 1924)
<b>Localidad Tipo</b>	Cantera frente al puente sobre el Estero Salado en la salida O de Guayaquil (622300, 9758800) (Sheppard, 1946)
<b>Espesor</b>	Hasta 1350m en Manabí. (C. Bristow & Hoffstetter, 1968)
<b>Principales usos</b>	Material de construcción (Cornejo, 2016).

#### 1.4.3.4 Fm Cayo (Turoniano-Coniaciano)

Tabla 1.5 Descripción bibliográfica de la Fm. Cayo

<b>Nombre</b>	<b>Fm. Cayo</b>
<b>Edad</b>	Campaniense Coniaciense (Van Melle et al., 2008)
<b>Litología</b>	Se encuentra compuesta por una alternancia de brechas sedimentarias con bloques (con un diámetro de hasta 2m) los cuales se encuentran constituidos por andesitas, areniscas de grano fino y grueso de coloración verdosa frecuentemente grawáquicas y lutitas. (Duque, 2000)
<b>Relaciones Estratigráficas</b>	En la base predomina la presencia de fragmentos de arenisca verdosa y en el techo se intensifica la presencia de las lutitas, pasando de forma transicional al Miembro Guayaquil. En la base además, se encuentran capas finas interestratificadas de areniscas

<b>Nombre</b>	<b>Fm. Cayo</b>
	de grano grueso y brechas sedimentarias (Nuñez & Dugas, 1986)
<b>Generalidades</b>	En el Río Bachillero, la dirección promedio de las paleocorrientes es N260°, lo que indica un abanico submarino que se desarrolló al oeste y área de fuente al este (Duque, 2000).
<b>Localidad</b> <b>Tipo</b>	Aflora en la Cordillera Chongón Colonche, en Guayaquil, en el Río Bachillero (529500, 9851000) (S. Benitez, 1989).
<b>Espesor</b>	Hasta 1400m (Duque, 2000).
<b>Principales usos</b>	Utilización como lastre, ripio o en la construcción de carreteras (Misión Británica & Dirección General de Geología y Minas, 1975). Las zeolitas de esta formación se utilizan principalmente en la agricultura como portadores de fertilizantes, producción de cemento (Machiels et al., 2008). Las zeolitas de este depósito son muy adecuadas para su uso como puzolana natural (Robalino et al., 2005)

#### 1.4.3.5 Fm Calentura (Turoniense)

Tabla 1.6 Descripción bibliográfica de la Fm. Calentura

<b>Nombre</b>	<b>Miembro Calentura</b>
<b>Edad</b>	Turoniense (Van Melle et al., 2008)
<b>Litología</b>	Consiste de argilitas (algunas calcáreas), areniscas silicificadas, limonitas y lutitas con coloración gris oscura o rojas (Duque, 2000)
<b>Relaciones Estratigráficas</b>	La base de la Formación Cayo se define de forma arbitraria en la base del primer lecho erosivo de turbiditas gruesas. (Van Melle et al., 2008)
<b>Generalidades</b>	Aunque las sucesiones son muy variables en los laterales, la Formación Calentura en la CCC se puede dividir en tres unidades

<b>Nombre</b>	<b>Miembro Calentura</b>
	<p>litológicas, del techo a la base: El primero compuesto por tobas, margas y areniscas líticas, el segundo por cherts con radiolarios, arenitas y flujos de escombros y el tercero, el miembro Las Orquídeas que consiste en brechas volcánicas y calizas (Van Melle et al., 2008).</p> <p>En base a parámetros geoquímicos, la Fm. Calentura es una fuente potencial de hidrocarburos (Duque, 2000).</p>
<b>Localidad Tipo</b>	<p>Cantera antigua de Calentura 10km NE de Guayaquil (629500, 9765600) (C. Bristow &amp; Hoffstetter, 1968).</p>
<b>Espesor</b>	Más de 200m (Van Melle et al., 2008).
<b>Principales usos</b>	Material de construcción (Cornejo, 2016).

#### 1.4.3.6 Fm Piñón (Cretácica Medía-Tardía)

**Tabla 1.7 Descripción bibliográfica de la Fm. Piñón**

<b>Nombre</b>	<b>Fm. Piñón</b>
<b>Edad</b>	<p>Cenomaniense (Van Melle et al., 2008)</p>
<b>Litología</b>	<p>Constituida por almohadillas de basaltos andesíticos-toleíticos y flujos de masas, localmente asociados con almohadillas de brechas, hialoclastitas y sedimentos silíceos (Reynaud et al., 1999). Presenta segregaciones locales con características granodioríticas, y cerca de estos ambientes se suelen encontrar incrustaciones de especlarita. (Nuñez, 2003)</p>
<b>Relaciones Estratigráficas</b>	<p>El contacto al techo es la base de la Formación Cayo que reposa de manera concordantemente y transicional sobre la Fm. Piñón. La base no ha sido encontrada. (C. Bristow &amp; Hoffstetter, 1968)</p>

<b>Nombre</b>	<b>Fm. Piñón</b>
<b>Generalidades</b>	Es considerado como el basamento ígneo Cretácico del oeste de Ecuador. (Reynaud et al., 1999)
<b>Localidad Tipo</b>	El Río Piñón pasa por alrededor de 3 km de afloramiento. 20km al norte de Jipijapa (543200, 9868900 – 5459000, 98691000) (C. Bristow & Hoffstetter, 1968)
<b>Espesor</b>	No puede ser medida ya que nunca se ha encontrado su base. Más de 1.000 metros de espesor se pueden observar en Guayaquil. (Nuñez, 2003)
<b>Principales usos</b>	Utilización como lastre, ripio o en la construcción de carreteras (Misión Británica & Dirección General de Geología y Minas, 1975).

### 1.5 Contexto socioeconómico

En el Cerro San Eduardo se encuentran varias áreas de interés socioeconómico, algunos de estos proyectos fueron creados por el Municipio de Guayaquil, tales como el bosque protector, la ciudad deportiva, asentamientos poblacionales, túneles y otras obras públicas. En el sector cuenta con aproximadamente 4000 habitantes (Tapia, 2019), los cuales se encuentran asentados en algunas ciudadelas entre ellas Bellavista, Senderos, Cimas, y Paraíso; algunos barrios de clase media y media alta, y otros como el barrio San Eduardo, y otras cooperativas como la cooperativa Virgen de Cisne y 25 de Julio considerados clase baja (García, 2017). El tipo de construcción de las viviendas de la comunidad es mixta, hormigón e incluso de caña. El lugar cuenta con el Bosque Protector Cerro Paraíso el cual es una de las principales reservas forestales de Guayaquil con un total aproximado de 299 ha (Tapia, 2019). Los cerros se ha visto vulnerado en repetidas ocasiones tanto por la explotación de canteras ilegales, los incendios forestales, las construcciones de planes habitacionales, y la tala de árboles (García, 2017). Gran parte de las poblaciones se encuentran asentados sobre deslizamientos de masas de los cerros circundantes confiados por una aparente consolidación.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

Para la realización de este proyecto y de sus objetivos propuestos se ha planificado la siguiente metodología. (ver Fig. 2.1)



Figura 2.1 Esquema de la metodología empleada

### 2.1 Recopilación Bibliográfica

#### 2.1.1 Búsqueda, discriminación bibliográfica y ordenamiento cronológico

Una vez recopilada toda la literatura geológica sobre las formaciones objeto de estudio se procedió a su ordenamiento cronológico según su fecha de publicación para luego ser discriminada en función de la cantidad de información que proporcionan al área de estudio para posteriormente determinar los cambios y/o actualizaciones que propusieron los diferentes autores sobre las áreas de interés.

## 2.2 Análisis Satelital

### 2.2.1 Búsqueda de imágenes satelitales

Para la realización del análisis satelital, se dispuso de imágenes satelitales procedentes de los satélites Landsat 8, Sentinel 2 y OrbView además de imágenes satelitales RGB procedentes de los satélites de Google Earth, ESRI y Bing. Para la obtención de los modelos de elevación digital (DEM) se dispuso de los satélites SRTM, Alos Palsar y un dron. Las características técnicas de cada satélite se muestran en las tablas 2.1 – 2.8.

Satélite	Bandas	Longitud de Onda ( $\mu\text{m}$ )	Resolución (m)
Sentinel 2	Coastal aerosol	443.9	60
	Blue	496.6	10
	Green	560	10
	Red	664.5	10
	Vegetation Red Edge	703.9	20
	Vegetation Red Edge	740.2	20
	Vegetation Red Edge	782.5	20
	NIR	835.1	10
	Narrow NIR	864.8	20
	Water vapour	945	60
	SWIR – Cirrus	1373.5	60
	SWIR	1613.7	20
	SWIR	2202.4	20

**Tabla 2.1 Características técnica del satélite Sentinel 2**

**Fuente: (Drusch et al., 2012)**

Satélite	Bandas	Longitud de Onda ( $\mu\text{m}$ )	Resolución (m)
Landsat 8	Costera - Aerosoles	0.435 - 0.451	30
	Azul	0.452 - 0.512	30
	Verde	0.533 - 0.590	30
	Rojo	0.636 - 0.673	30
	Infrarrojo cercano (NIR)	0.851 - 0.879	30
	Infrarrojo de onda corta 1 (SWIR 1)	1.566 - 1.651	30
	(TIR 1)	10.60 - 11.19	100
	(TIR 2)	11.50 - 12.51	100
	Infrarrojo de onda corta 2 (SWIR 2)	2.107 - 2.294	30
	Pancromática	0.503 - 0.676	15
	Cirrus	1.363 - 1.384	30

**Tabla 2.2 Características técnica del satélite Landsat 8**

Fuente: (Loveland & Irons, 2016)

Satélite	Bandas	Longitud de Onda ( $\mu\text{m}$ )	Resolución (m)
OrbView	Banda 1	0.450 – 0.520	4
	Banda 2	0.520 – 0.600	4
	Banda 3	0.625 – 0.695	4
	Banda 4	0.760 – 0.900	4
	Banda 5	0.450 – 0.900	1

Tabla 2.3 Características técnica del satélite OrbView

Fuente: (Baraldi et al., 2010)

Satélite	Bandas	Resolución (cm)
Google Earth	Banda R	15 – 30
	Banda G	15 – 30
	Banda B	15 – 30

Tabla 2.4 Características técnica del satélite de Google Earth

Fuente: Google

Satélite	Bandas	Resolución (m)
ESRI	Banda R	2.5
	Banda G	2.5
	Banda B	2.5

Tabla 2.5 Características técnica del satélite de ESRI

Fuente: ESRI

Satélite	Bandas	Resolución (cm)
Bing	Banda R	30
	Banda G	30
	Banda B	30

Tabla 2.6 Características técnica del satélite de Bing

Fuente: Bing

Satélite	Bandas	Resolución (m)
SRTM	Sensor	30

Tabla 2.7 Características técnica del sensor SRTM

Fuente: (Rodríguez et al., 2006)

Satélite	Bandas	Resolución (m)
Alos Palsar	Sensor	12.5 - 30

Tabla 2.8 Características técnica del sensor Alos Palsar

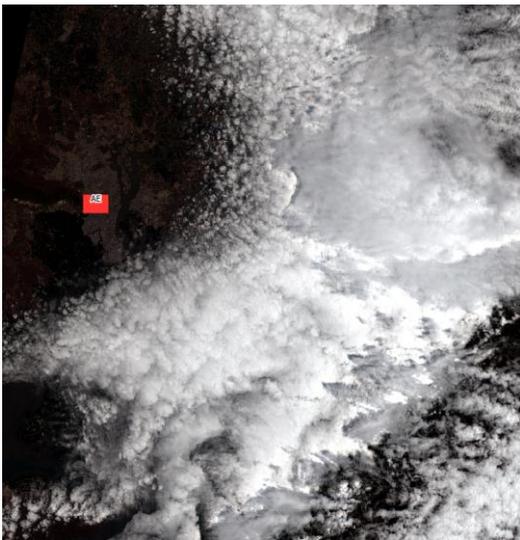
Fuente: (Rosenqvist et al., 2007)



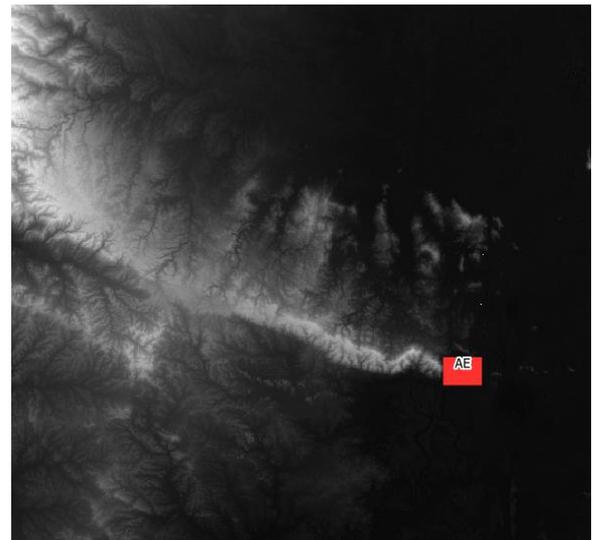
**Figura 2.2 Imagen Satelital Landsat 8 (RGB)  
(AE: Área de estudio). Fuente: Earth  
Explorer**



**Figura 2.3 Imagen satelital Orbview (RGB)  
(AE: Área de estudio). Fuente: Earth  
Explorer**



**Figura 2.4 Imagen satelital Sentinel 2 (RGB)  
(AE: Área de estudio). Fuente: Earth  
Explorer**



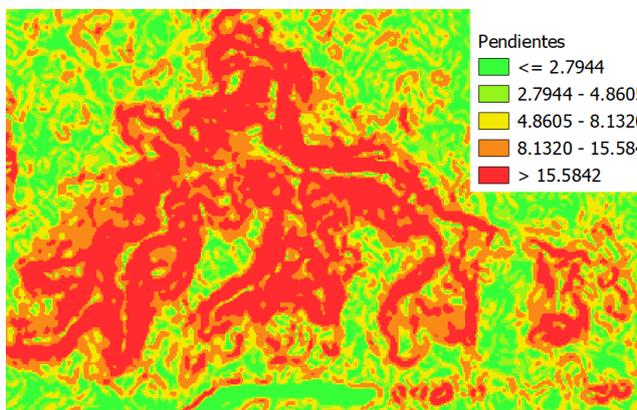
**Figura 2.5 MED pancromático  
(AE: Área de estudio). Fuente: Earth  
Explorer**

### **2.2.2 Procesamiento digital**

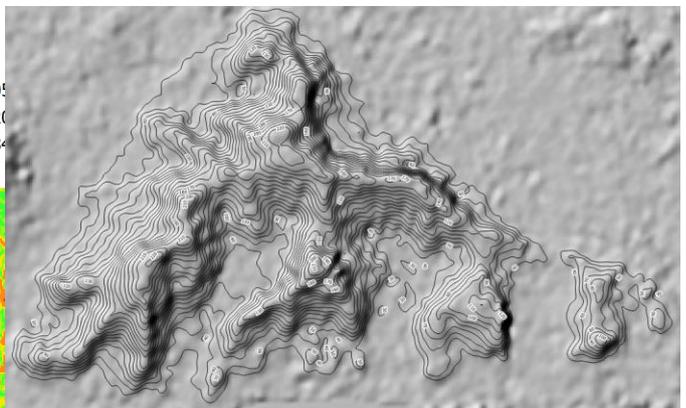
El procesamiento comenzó con la combinación de bandas para la determinación del color natural (4,3,2 Landsat 8 y 4,3,2 Sentinel 2), el falso color (7, 6, 4 Landsat 8 y 12, 11, 4 Sentinel 2), la determinación de la vegetación (5, 6, 2 Landsat 8 y 8A, 11, 2 Sentinel 2) y los cuerpos de agua (5, 6, 4 Landsat 8 y 8A, 11, 4 Sentinel 2) (Alonso, 2019). Posteriormente se utilizaron combinaciones de *ratios* entre las bandas como la

combinación RGB (6/5, 6/7, 4/2) en Landsat 8 la cual según Ourhzif (2019) sirve para la discriminación de las litologías presentes en el terreno así como la identificación de alteraciones.

Para el procesamiento de los modelos de elevación digital se realiza un llenado de los agujeros (errores en la toma de la imagen satelital), adicionalmente se utilizaron diferentes herramientas de procesamiento para la obtención de mapas de sombras, curvas de nivel, mapas de pendientes y algebra de mapas (Ver Figuras 2.6 y 2.7) para la distinción geomorfológica del terreno.



**Figura 2.6 Gráfico de pendientes (en grados; por cuantiles) del área de estudio**



**Figura 2.7 Mapa de sombras y curvas de nivel cada 10 metros del área de estudio**

### **2.2.3 Análisis cartográfico**

Realizados toda la serie de procesos que permitieron extraer las combinaciones de bandas para la determinación de litologías, contactos y otros lineamientos, se procede a marcarlos en polígonos, polilíneas y a realizar métodos estructurales como el cálculo de 3 puntos para la determinación de rumbos y buzamientos (ver Figuras 2.8 y 2.9). Todo esto debiendo ser obligatoriamente validado posteriormente con trabajo de campo para la verificación de la existencia o no de los contactos, las litologías, los rumbos, buzamientos, entre otros.



Figura 2.8 Método de 3 puntos



Figura 2.9 Proyección del estrato a partir del método de 3 puntos

### 2.3 Mapeo Geológico

Para la realización del mapeo geológico se ha subdividido el apartado en la toma de datos litológicos, estructurales y la toma de fotografías aéreas, sin embargo, dentro del mapeo geológico también se incluyó la toma de muestras, así como la elaboración de columnas estratigráficas y el bosquejo de los afloramientos. El mapa de paradas que se realizaron para el mapeo de esta zona se lo detalla en la Figura 2.10.



Figura 2.10 Mapa de estaciones del área de estudio.  
(A1-A12: Afloramientos visitados codificados del 1 al 12).

### **2.3.1 Toma de datos litológicos**

Para la toma de datos litológicos se procedió a la identificación detallada de las rocas y de los posibles minerales con ayuda de una lupa en el afloramiento de la estación que debió estar respectivamente geoposicionada, dejando clara cuál es la litología superficial y elaborando columnas estratigráficas. Dentro de la toma de datos litológicos se debió tomar las respectivas muestras geoposicionadas de los estratos de interés, así como su identificación en las columnas estratigráficas y el bosquejo de los afloramientos. Dentro de la toma de datos litológicos se debió tener en consideración la información satelital previamente obtenida para validar los resultados obtenidos en la literatura y en el paso anterior.

### **2.3.2 Toma de datos estructurales**

La obtención y descripción orientada de los datos estructurales con ayuda de la brújula de igual manera debió estar debidamente geoposicionada identificando contactos, fallas, pliegues y otras estructuras de interés.

Del mismo modo que con los datos litológicos, se debió validar en campo los datos estructurales obtenidos tanto en la literatura como en los resultados satelitales.

### **2.3.3 Toma de fotografías aéreas**

La toma de las fotografías aéreas se las realizó con un dron DJI Phantom 4 para lo cual se identificaron zonas de interés. El dron cuenta con una cámara incorporada con un sensor CMOS de 20 megapíxeles y 1 pulgada. Tiene una lente gran angular F2.8 optimizada para antena con una distancia focal equivalente a 24 mm (DJI, 2020). Esta etapa ayudó a la corrección de los resultados obtenidos en el análisis satelital pues se cuenta con una resolución mucho más detallada y así definir contactos y estratos con una precisión mucho mayor lo que permitió por consiguiente mejorar la realización del mapeo.

## **2.4 Diseño y validación de mapa**

Luego de la toma de datos en campo y la verificación de los resultados se crearon tablas con los valores obtenidos, para la posterior ubicación en el mapa con

características que permitan la construcción del mapa, para esto se armaron tablas en Excel con la información geográfica obtenida en campo para después importarlas al software de procesamiento de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que para este proyecto fue QGIS. Adicionalmente para algunos aspectos específicos se utilizó al software ArcMap en su versión estudiantil.

Se aplicaron los estilos correspondientes y se armó el mapa uniendo litologías, contactos, geformas, lineamientos, entre otros; se tuvieron que realizar estimaciones y proyecciones en algunas zonas con el fin de crear los polígonos correspondientes a los límites de las zonas de interés.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Recopilación bibliográfica

A continuación, se muestran las principales fuentes bibliográficas acerca de las formaciones objeto de estudio junto una línea de tiempo que pretende presentar las principales publicaciones sobre las formaciones en cuestión ordenadas en tiempo geológico de más recientes a más antiguas.

#### 3.1.1 Fm. Las Masas

Las primeras descripciones de la formación constan en informes no publicados de los geólogos de la CALEC en el año de 1959 a la cual representan en un mapa; posteriormente información más detallada se muestra en (Frey & Mills, 1968) a la cual denominaron “Las Masas Mudstone”. (Luzieux, 2007) la describe en su tesis doctoral, sin embargo (Ergüez et al., 2017) no la describe en el Mapa Geológico del Ecuador del 2017 en tanto que (Vallejo et al., 2019) la muestra en sus reconstrucciones estratigráficas de la costa ecuatoriana (ver Figura 3.1).

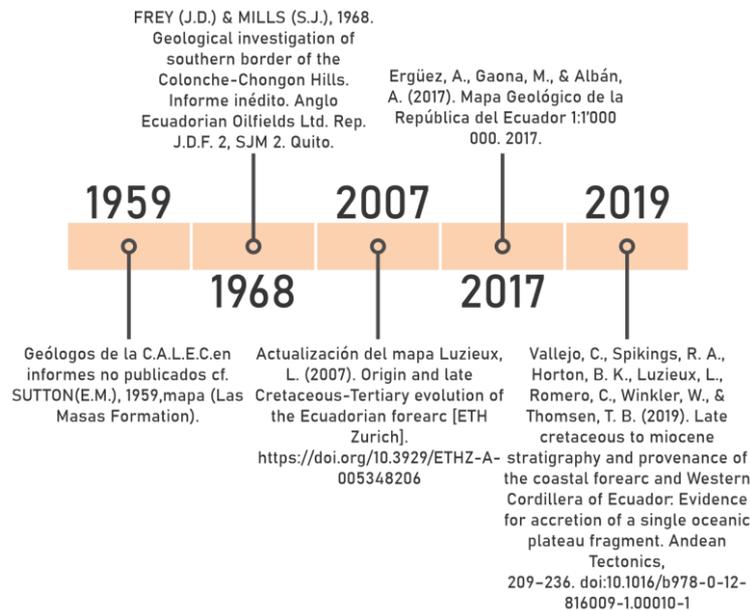
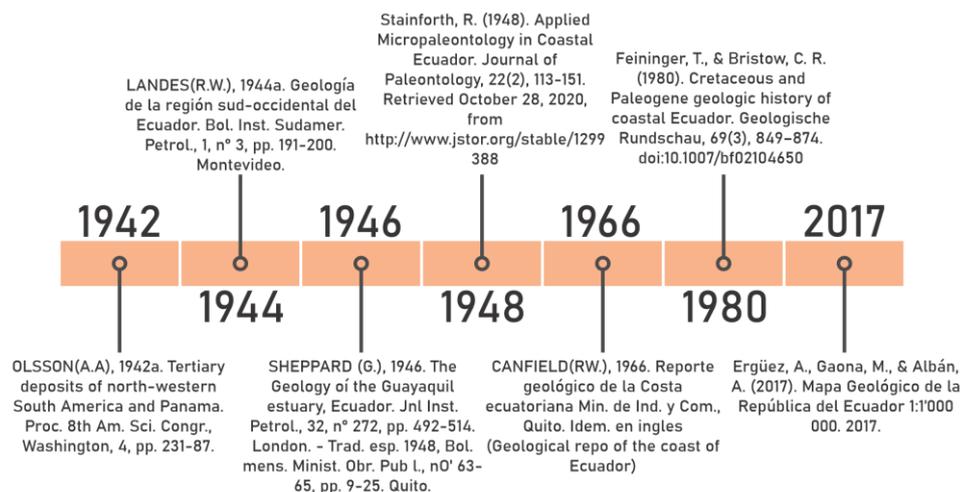


Figura 3.1 Línea de tiempo de las principales publicaciones de la Fm. Las Masas

### 3.1.2 Fm. San Eduardo

A la formación San Eduardo, (Olsson, 1942) comienza describiéndola como “cement limestone of Guayaquil”, sin embargo (Landes, 1944) emite la primera publicación a la cual ya denomina “caliza de San Eduardo”, (Sheppard, 1946) confirmó finalmente la denominación final para las calizas. Para el año de 1948 (Stainforth, 1948) emitió las primeras edades a partir de microfósiles para la formación. En el año de 1966 (Canfield, 1966) emite un reporte sobre la formación de igual manera que (Feininger & Bristow, 1980) muy superficialmente, además de que aparecen los contactos ya definidos para el mapa geológico de (Ergüez et al., 2017). Adicionalmente, existen varias tesis de grado de libre acceso sobre la formación (Escobar, 2019; Moreira, 2019) (ver Figura 3.2).

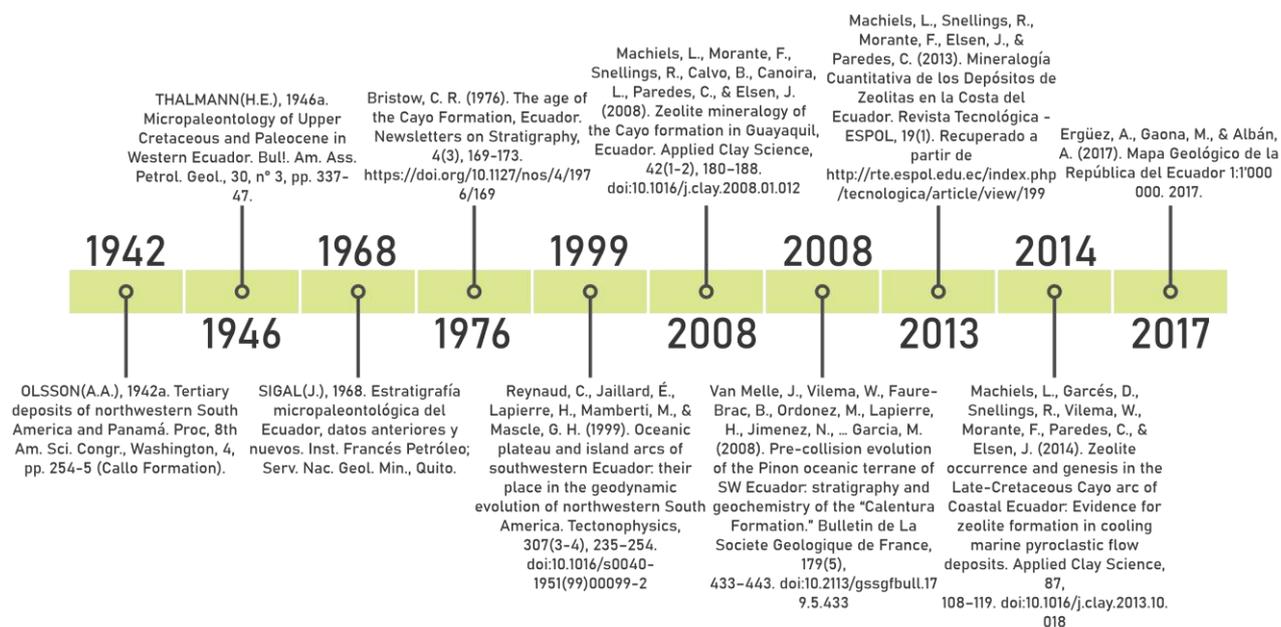


**Figura 3.2 Línea de tiempo de las principales publicaciones de la Fm. San Eduardo**

### 3.1.3 Fm. Cayo

La formación Cayo es una de las formaciones más estudiadas de la costa ecuatoriana, con publicaciones desde 1942 (Olsson, 1942) pero que consta en escritos de (Wolf, 1874). (Thalman, 1946) presentó las primeras dataciones a partir de microfósiles de igual forma que (C. R. Bristow, 1976; Sigal, 1968); Para el año de 1999 (Reynaud et al., 1999) intenta explicar la geodinámica de las formaciones, para el año 2008 se realiza un estudio muy detallado de las Zeolitas de la formación por (Machiels et al., 2008), mismo año en el que (Van Melle et al., 2008) separa al miembro calentura como una formación independiente y caracteriza estratigráfica y químicamente. En el 2013

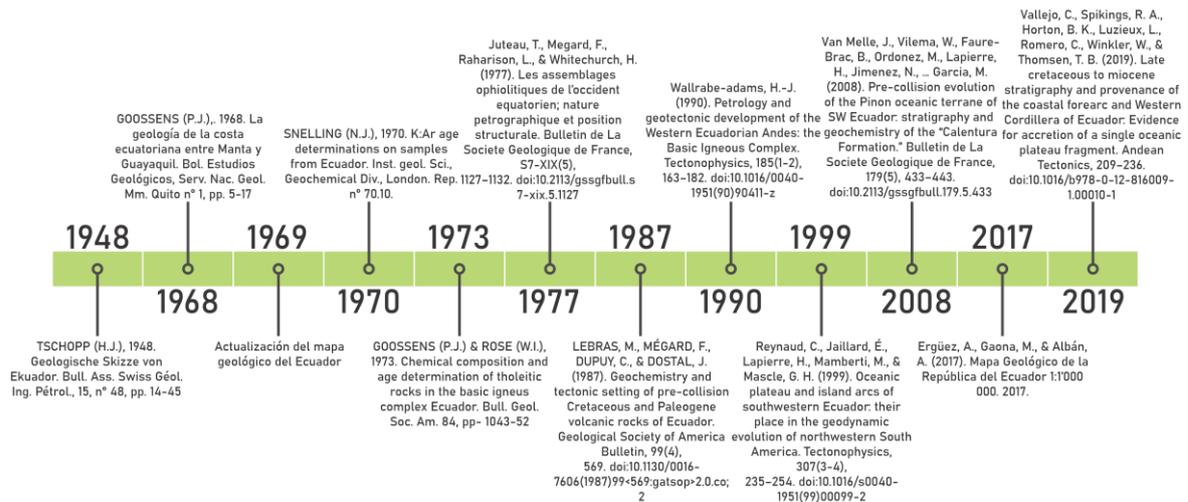
(Machiels et al., 2013) presenta un nuevo estudio de las zeolitas de la costa ecuatoriana así como la teoría de (Machiels et al., 2014) para la formación de las zeolitas de la formación. Para el año 2017 (Ergüez et al., 2017) presenta los límites de la formación Cayo bien definidos en el Mapa Geológico del Ecuador (ver Figura 3.3).



**Figura 3.3 Línea de tiempo de las principales publicaciones de la Fm. Cayo**

### 3.1.4 Fm. Piñón

La formación Piñón ha sido muy estudiadas con descripciones desde 1874 por parte de (Wolf, 1874) con un primer informe publicado de (Tschopp, 1948) en donde ya la menciona al igual que (Goossens, 1968); estos seguidos del mapa geológico de 1969 en donde aparece por primera vez con esa denominación (Servicio Nacional de Geología y Minas & Bureau D'études Industrielles, 1969). Para los años 70 se empiezan con las primeras dataciones (Goossens & Rose, 1973; Snelling, 1970), por otro lado, (Juteau et al., 1977) presenta un modelo geodinámico para la costa ecuatoriana de igual forma que (Reynaud et al., 1999; Van Melle et al., 2008; Wallrabe-adams, 1990). Para el año 2017 (Ergüez et al., 2017) presenta los actuales límites de la formación en el Mapa geológico del Ecuador y en el año 2019 (Vallejo et al., 2019) presenta una nueva teoría para el modelo geodinámico de la costa ecuatoriana (ver Figura 3.4).

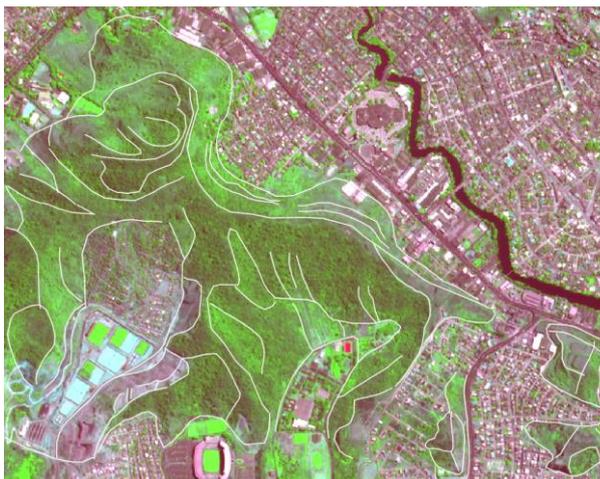


**Figura 3.4 Línea de tiempo de las principales publicaciones de la Fm. Piñón**

### 3.2 Resultados satelitales

Para el análisis satelital es de resaltar que las imágenes provenientes de Landsat 8 (30x30m) resultaron de muy baja calidad para su utilización en este trabajo digital y, las imágenes de Google Earth, aunque cuentan con una buena resolución, tienen una distorsión que afecta el espectro RGB del área de estudio. Se recurrió únicamente a las imágenes del satélite Bing, Orbview y Sentinel 2.

Como primer análisis se procedió a digitalizar los principales lineamientos visibles del satélite Orbview (ver Figura 3.5) para lo cual se ajustó la coloración mutibanda a (1, 4, 3), de donde se delimitaron las sombras para representar los lineamientos cumbre de los cerros, se marcaron cambios de coloración en el espectro infrarojo, la delimitación de los cerros, y algunos límites con las zonas pobladas, se realizó un procedimiento similar para la imagen proveniente del satélite de Bing pero en RGB y como última parte del análisis satelital se trabajó en una imagen proveniente del satélite Sentinel 2 de donde se extrajeron alineaciones y se agruparon ciertas coloraciones intensas las cuales se formaron en la vegetación a partir de la combinación RGB (6/5, 6/7, 4/2).



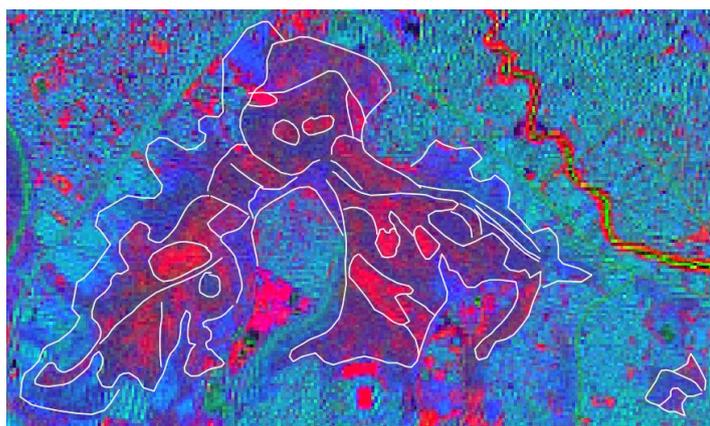
**Figura 3.5 Análisis del satélite Orbview en el área de estudio.**

**(Las líneas blancas corresponden a anomalías en las coloraciones, límites y demás lineamientos visibles)**



**Figura 3.6 Análisis del satélite de Bing en el área de estudio.**

**(Las líneas blancas corresponden a anomalías en las coloraciones, límites y demás lineamientos visibles)**



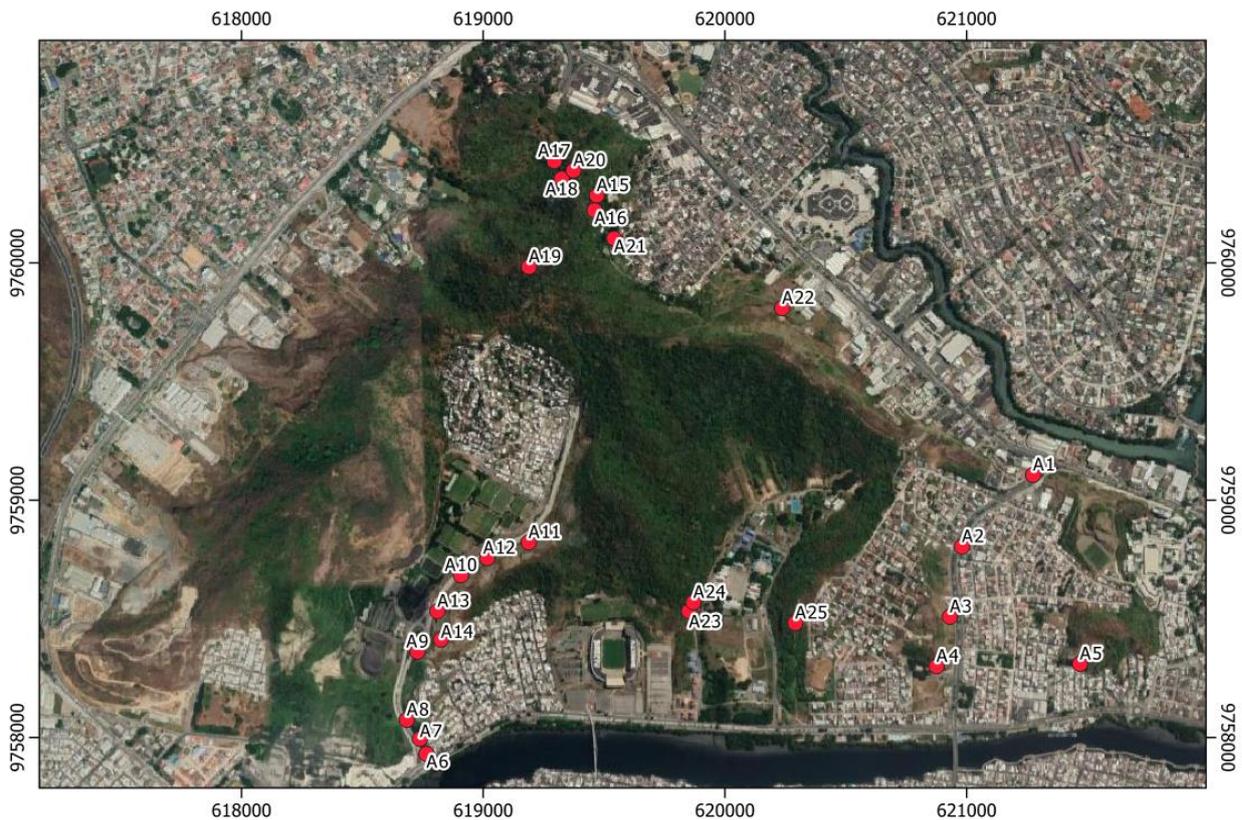
**Figura 3.7 Análisis de combinación de bandas RGB (6/5, 6/7, 4/2) en imagen de Sentinel 2 en el área de estudio.**

**(Las líneas blancas corresponden a anomalías en las coloraciones, límites y demás lineamientos visibles)**

Para el análisis de las imágenes satelitales de Bing se procedió a determinar los cambios de coloración RGB de la imagen en donde se identificaron entre otras cosas cambios de sombras correspondientes a las cúspides de las colinas, contactos litológicos, delimitación de los cerros, estructuras geológicas como planos de exfoliación y otros lineamientos de interés.

### 3.3 Resultados del mapeo geológico

Luego del mapeo geológico se llenaron las siguientes fichas propuestas (ver Tablas 3.1 – 3.25) en donde se muestra la información obtenida por cada parada mostrada en el mapa de paradas (ver Figura 3.8).



**Figura 3.8 Mapa de paradas**

#### 3.3.1 Afloramiento av. José María Velazco Ibarra 1 (A1)

Ficha Técnica		
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento av. José María Velazco Ibarra 1 (A1)	
<b>Coordenadas:</b>	621276	9759106 WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Entrando a la Av. José María Velazco Ibarra por la parada Bellavista de la metrovía.	
<b>Descripción</b>	Se observó una estratificación (ver Figura 3.9) ubicada en el margen derecho de la carretera José M. Velazco la cual está principalmente constituida por rocas de grano fino identificados como lutita la cual presenta una coloración verdosa, verde oscuro y en algunas partes rojiza (ver Figura 3.10). El afloramiento se encuentra bastante meteorizado, especialmente entre las diaclasas (ver Figura 3.11). Se observan rastros de desprendimientos de bloques y en la parte superior se aprecia enraizamiento de los árboles. Las capas de la estratificación (E1)	

<b>Ficha Técnica</b>		
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento av. José María Velazco Ibarra 1 (A1)	
	tienen un rumbo en dirección E-O (N90°E), con un buzamiento de 30° en dirección Sur, actitud que puede ser observada en un afloramiento del otro lado de la carretera y a lo largo del afloramiento.	
<b>Datos Estructurales</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Buzamiento</b>
Estratificación (E1)	N90°E	30°S
Diaclasa 1 (D1.1)	N55°W	81°NE
Diaclasa 2 (D1.2)	N53°E	71°NO
Diaclasa 3 (D1.3)	N15°W	80°NE
Diaclasa 4 (D1.4)	N29°W	80°NE
Diaclasa 5 (D1.5)	S78°E	82°NE



**Figura 3.9 Afloramiento av. José María Velazco Ibarra 1**



**Figura 3.10 Familias de diaclasas afloramiento A1.**  
(En blanco se muestran diaclasas)



**Figura 3.11 Fracturas y diaclasas afloramiento A1.**  
(En blanco se muestran diaclasas)

**Tabla 3.1 Ficha técnica afloramiento av. José María Velazco Ibarra 1**

### 3.3.2 Afloramiento av. José María Velazco Ibarra 2 (A2)

Ficha Técnica			
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento av. José María Velazco Ibarra 2 (A2)		
<b>Coordenadas:</b>	620982	9758804	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Afloramiento Av. José María Velazco Ibarra, a la altura de la unidad educativa Andrés Bello Lopez		
<b>Descripción</b>	<p>Se observó un afloramiento con una estratificación, en su parte exterior con una coloración oscura debido a la meteorización. Este afloramiento tiene estratos que van desde una escala centimétrica en su parte inferior a métrica en su parte superior. Las rocas distinguidas son una intercalación entre lutitas y arcillas con una potencia aproximada de 6m (ver Figura 3.12). Esta exposición aflora en dirección NO mientras los estratos se encuentran en una disposición subparalela inclinada (E2) con rumbo N125° y buzamiento de 23°SW. Actitudes que se repiten en las intercalaciones de las lutitas verdes, las lutitas oscuras y las capas de arenisca (ver Figura 3.13). En las lutitas se aprecian al menos 2 familias de diaclasas (D2.1-2). Entre el afloramiento se puede observar una falla normal (F2.1)(ver Figura 3.13), marcada por el desplazamiento de bloques dado el cambio de litologías, misma, cuyo plano de falla se encuentra asociada a la familia de diaclasas (D2.1). Se observó además un tipo de acuñamiento ya que en la parte más baja de la estratificación, esta va disminuyendo su espesor.</p>		
<b>Datos Estructurales</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Buzamiento</b>	
Estratificación (E2)	N90°E	81°NE	
Falla (F2.1)	N95°E	85°SE	
Diaclasa 1 (D2.1)	N95°E	85°SE	
Diaclasa 2 (D2.2)	N138°E	64°SE	
			
<b>Figura 3.12 Afloramiento av. José María Velazco Ibarra 2</b>	<b>Figura 3.13 Afloramiento av. José María Velazco Ibarra 2.</b>		

Tabla 3.2 Ficha técnica afloramiento av. José María Velazco Ibarra 2

### 3.3.3 Afloramiento av. José María Velazco Ibarra 3 (A3)

Ficha Técnica			
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento av. José María Velazco Ibarra 3 (A3)		
<b>Coordenadas:</b>	620982	9758821	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Afloramiento Bellavista, Av, José María Velazco Ibarra, a la altura de la calle 2 SO.		
<b>Descripción</b>	Se observa un afloramiento con una predominancia de rocas de lutitas el cual tiene una potencia aproximada de 25m (ver Figura 3.13). El afloramiento muestra una estratificación bien definida con capas dispuestas subparalelamente (E3) en dirección N90°E con un buzamiento de 27°S. Se notó la presencia de escasa vegetación al sur y una presencia de mayor vegetación al norte. Entre el afloramiento se observó una capa muy llamativa con un brillo muy peculiar, de tipo vítreo, al cual se lo relacionó como una silicificación (ver Figura 3.15). Rocas que además presentan suavidad en sus caras y son mucho más duras que las rocas circundantes. En el afloramiento se observan al menos 2 familias de diaclasas. En la base se observa la depositación de sedimentos producto de pequeños deslizamientos y caídas de bloques del talud (ver Figura 3.15), además de un acuñamiento (ver Figura 3.17).		
<b>Datos Estructurales</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Buzamiento</b>	
Estratificación (E3)	N90°E	27°S	
Diaclasa 1 (D3.1)	N115°	50°SW	
Diaclasa 2 (D3.2)	N70°	35°NE	
			
<b>Figura 3.14</b> Afloramiento av. José María Velazco Ibarra 3	<b>Figura 3.15</b> Silicificación en diaclasas afloramiento A3 (En blanco se muestra la silicificación)		

<b>Ficha Técnica</b>	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento av. José María Velazco Ibarra 3 (A3)
	
<p><b>Figura 3.16</b> Deslizamiento de masas afloramiento A3 (En blanco se muestra zona de deslizamiento de masas)</p>	<p><b>Figura 3.17</b> Acuñaamiento afloramiento A3 (En blanco se muestran planos de estratificación)</p>

**Tabla 3.3 Ficha técnica afloramiento av. José María Velazco Ibarra 3**

### 3.3.4 Afloramiento calle 2C SO (A4)

<b>Ficha Técnica</b>		
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento calle 2C SO (A4)	
<b>Coordenadas:</b>	620877	9758300
<b>Referencia:</b>	WGS84 UTM17S (32717)	
<b>Referencia:</b>	Afloramiento Calle 2C SO, por el parque Cardenal Bernandino.	
<b>Descripción</b>	<p>En una escala macroscópica el afloramiento de la parada A4 presenta una coloración muy oscura en su parte exterior debido a la meteorización, más, se pudieron observar lutitas con una coloración verde oscura y más al norte estas se tornan naranja. Se aproximó que la estratificación cuenta con una potencia de unos 20 metros, misma que aflora en la dirección en que buza (SW) (ver Figura 3.18). Se extrajo que las capas tienen rumbos diferentes a lo largo del plegamiento, con uno de los rumbos tomados en el punto de coordenadas de N115°,50°SW y una familia de diaclasas asociada a la esterificación. Llama mucho la atención que el afloramiento no presenta derrumbes en la base.</p>	
<b>Datos Estructurales</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Buzamiento</b>
Estratificación (E4)	N115°E	50°SW
Diaclasa 1 (D4.1)	N115°	50°SW

<b>Ficha Técnica</b>	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento calle 2C SO (A4)
	
<b>Figura 3.18 Afloramiento calle 2C SO</b>	

**Tabla 3.4 Ficha técnica afloramiento calle 2C SO**

### 3.3.5 Afloramiento sector Nueva Esperanza (A5)

<b>Ficha Técnica</b>			
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento sector Nueva Esperanza (A5)		
<b>Coordenadas:</b>	621470E	9758310S	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Afloramiento sector Nueva Esperanza		
<b>Descripción</b>	<p>Se observa un afloramiento con una potencia aparente de aproximadamente 20 metros con una construcción estratigráfica inclinada que podría llegar al centenar de metros en toda la extensión (ver Figura 3.20). Se observa un cambio repentino de coloración de lutitas oscuras desde el lado izquierdo (Oeste) del afloramiento al lado Este del mismo que tiene una coloración más naranja-crema (ver Figura 3.19). Se aprecia una familia de diaclasas (D5.1) espaciadas centimétricamente con un plano de fractura en dirección de la estratificación (E5). En el lado este se observan deslizamientos, mas, se mantienen diferentes rumbos a lo largo de todo el estrato, pero conservando un buzamiento bastante alto de entre 70° y 80°. En el lado este se observa un estrato con una roca muy poco consolidada. Se observa la presencia de un mineral cementante blanquecino al cual se lo identificó como silíceo y que se encuentra a lo largo de todo el afloramiento, en las fracturas de las rocas y en partes</p>		

<b>Ficha Técnica</b>		
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento sector Nueva Esperanza (A5)	
	formando cristales a lo largo de las diaclasas.	
<b>Datos Estructurales</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Buzamiento</b>
Estratificación (E5)	N86°E	71°SE
Diaclasa 1 (D5.1)	N86°E	71°SE
		
<b>Figura 3.19</b> Afloramiento sector Nueva Esperanza	<b>Figura 3.20</b> Plegamiento afloramiento A5. (En blanco se muestran planos de estratificación)	

Tabla 3.5 Ficha técnica Afloramiento sector Nueva Esperanza

### 3.3.6 Afloramiento San Eduardo 1 (A6)

<b>Ficha Técnica</b>			
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento San Eduardo 1 (A6)		
<b>Coordenadas:</b>	618767E	9757931S	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Afloramiento en el sector de San Eduardo.		
<b>Descripción</b>	Este afloramiento (ver Figura 3.21) representa la extensión más meridional de la del cerro San Eduardo en donde se aprecia una estratificación muy singular marcada por estructuras tipo boundinage (ver Figura 3.22). El afloramiento cuenta con estratos cíclicos inclinados subparalelos de espesor centimétricos los cuales son intercalados entre areniscas de grano grueso con una coloración café oscuro y lutitas con una coloración café claro. Es en las lutitas en donde se apreciaron las estructuras sedimentarias denominadas boudinage.		

Ficha Técnica	
Nombre y código	Afloramiento San Eduardo 1 (A6)
	
<b>Figura 3.21 Afloramiento San Eduardo 1</b>	<b>Figura 3.22 Estructuras tipo boundinage afloramiento A6.</b> <b>(En blanco se muestran los bloques estrangulados)</b>

Tabla 3.6 Ficha técnica Afloramiento San Eduardo 1

### 3.3.7 Afloramiento San Eduardo 2 (A7)

Ficha Técnica			
Nombre y código	Afloramiento San Eduardo 2 (A7)		
<b>Coordenadas:</b>	618740E	9757994N	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Afloramiento en el sector de San Eduardo.		
<b>Descripción</b>	<p>Este afloramiento (ver Figura 3.23) es estructuralmente muy complejo debido a la presencia de pliegues echados los cuales se ven muy marcados e incluso con la presencia de un chevron (ver Figura 3.24). Se aprecia que el terreno se encuentra muy fracturado e incluso se presume la presencia de algunas fallas semiparalelas al eje de los pliegues. Existe evidencia de caída de bloques (ver Figura 3.23, 3.26), el terreno es bastante inestable. La litología que presenta el afloramiento es una combinación de lutitas grises a negras. Esta zona presenta vegetación árida. En esta parada, a diferencia de las demás se observó un comportamiento más plástico del material, lo cual se evidenció en los pliegues, mismos que se forman por la aplicación de esfuerzos compresivos, pero con la condición de una plasticidad del suelo que se puede inferir se dio por un gradiente geotérmico elevado al momento de la aplicación de los esfuerzos los cuales se ilustran en la imagen.</p>		

<b>Ficha Técnica</b>	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento San Eduardo 2 (A7)
<p style="text-align: right;">Caída de bloques</p>	
<p><b>Figura 3.23 Afloramiento San Eduardo 2.</b> (En blanco se muestra la zona de caída de bloques)</p>	<p><b>Figura 3.24 Plegamiento tipo chevron</b> (En blanco se muestra el plegamiento brusco de alto grado)</p>

**Tabla 3.7 Ficha técnica Afloramiento San Eduardo 2**

### 3.3.8 Afloramiento San Eduardo 3 (A8)

<b>Ficha Técnica</b>			
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento San Eduardo 3 (A8)		
<b>Coordenadas:</b>	618686	9758074	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Afloramiento en los alrededores de San Eduardo		
<b>Descripción</b>	Este afloramiento representa la continuación del afloramiento anterior y de igual forma se aprecian pliegues e incluso chevrone (ver Figura 3.24). Del mismo modo se aprecia que es una combinación de lutitas grises y negras. No se tuvo contacto con el afloramiento debido a la inestabilidad del material observado con la caída de rocas.		

<b>Ficha Técnica</b>	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento San Eduardo 3 (A8)
	
<p><b>Figura 3.25 Afloramiento San Eduardo 3.</b> (En blanco se muestran plegamientos complejos)</p>	<p><b>Figura 3.26 Caída de bloques en afloramiento A8.</b> (En blanco se muestra la zona de caída de bloques)</p>

**Tabla 3.8 Ficha técnica Afloramiento San Eduardo 3**

### 3.3.9 Afloramiento San Eduardo 4 (A9)

<b>Ficha Técnica</b>			
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento San Eduardo 4 (A9)		
<b>Coordenadas:</b>	618730E	9758361N	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Afloramiento en cerca al redondel vía al túnel San Eduardo		
<b>Descripción</b>	<p>En este afloramiento se puede apreciar la estratificación intercalada de lutitas con arenisca y capas menores de arenisca milimétricas las cuales se encuentran bastante fracturadas, las primeras con una coloración gris más clara que las últimas. Se observa que las lutitas de espesores centimétricos. A los costados del afloramiento se observan flujos de detritos los cuales se superponen a la estratificación que ha sido meteorizada por el hombre (ver Figura 3.27). Toda la estructura buza hacia el SE y tiene una potencia aproximada de 40 metros.</p>		

<b>Ficha Técnica</b>	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento San Eduardo 4 (A9)
	
<b>Figura 3.27 Afloramiento San Eduardo 4</b>	

**Tabla 3.9 Ficha técnica Afloramiento San Eduardo 4**

### 3.3.10 Afloramiento San Eduardo 5 (A10)

<b>Ficha Técnica</b>			
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento San Eduardo 5 (A10)		
<b>Coordenadas:</b>	618910E	9758683N	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	A pocos metros del redondel, vía al túnel.		
<b>Descripción</b>	<p>En este afloramiento (ver Figura 3.28) se pudo observar una disposición más paralela de los estratos a diferencia de los puntos anteriores. Aquí se pudo ver que el afloramiento está formado por una intercalación inclinada de lutitas y areniscas, estas últimas más compactas, con substratos son centimétricos. El color continúa siendo gris claro y negro. Lo cual muestra una semejanza con los demás afloramientos antes visitados.</p>		

Ficha Técnica	
Nombre y código	Afloramiento San Eduardo 5 (A10)
	
<p><b>Figura 3.28 Afloramiento San Eduardo 5</b></p>	

Tabla 3.10 Ficha técnica Afloramiento San Eduardo 5

### 3.3.11 Afloramiento San Eduardo 6 (A11)

Ficha Técnica			
Nombre y código	Afloramiento San Eduardo 6 (A11)		
Coordenadas:	619190E	9758822N	WGS84 UTM17S (32717)
Referencia:	A pocos metros de llegar al túnel.		
Descripción	<p>En este punto se encontró una intercalación de estratos subparalelos compuestos de lutitas y areniscas, de igual forma que la parada anterior el afloramiento contiene subestratos centimétricos compactos. La vegetación que cubre a la estructura es escasa y árida. Cuenta con una potencia que varía de 15 a 20m (ver Figura 3.29). Se puede observar la presencia de facturas y la presumible presencia de fallas. En esta parada, quizás no es tan evidente pero solo ciertos estratos son capaces de mantener flora en ellos.</p>		

<b>Ficha Técnica</b>	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento San Eduardo 6 (A11)
	
<b>Figura 3.29 Afloramiento San Eduardo 6</b>	

**Tabla 3.11 Ficha técnica Afloramiento San Eduardo 6**

### 3.3.12 Afloramiento San Eduardo 7 (A12)

<b>Ficha Técnica</b>	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento San Eduardo 7 (A12)
<b>Coordenadas:</b>	619000                      9758766
<b>Datum y proyección</b>	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Pasando el redondel
<b>Descripción</b>	Se observa una estratificación de lutitas próximas a la pizarra a lo largo de todo el afloramiento (ver Figura 3.31), el cual se encuentra plegado indicando diferentes rumbos tanto en la parte superior como en la parte inferior. La roca se fractura fácilmente, razón por la cual el afloramiento se encuentra cubierto todo con sedimentos producto de la erosión de la misma roca suprayacente. Se observan plegamientos pequeños y escasa presencia de vegetación (ver Figura 3.30). Se identifican al menos 3 familias de diaclasas que mantienen el terreno inestable. Se observa continuidad de la estratificación a lo largo del afloramiento.

Ficha Técnica	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento San Eduardo 7 (A12)
	
<b>Figura 3.30 Afloramiento San Eduardo 7</b>	<b>Figura 3.31 Laminación en lutitas</b>

Tabla 3.12 Ficha técnica Afloramiento San Eduardo 7

### 3.3.13 Afloramiento San Eduardo 8 (A13)

Ficha Técnica	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento San Eduardo 8 (A13)
<b>Coordenadas:</b>	618817      9758566
<b>Datum y proyección</b>	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Junto al redondel
<b>Descripción</b>	Se observa una estratificación paralela a subparalela de una roca de grano fino como la lutita con una coloración verdosa/café con un escasa o nula presencia de vegetación. (ver Figura 3.32). Se observa que la roca es altamente fracturable con familias de diaclasas poco marcadas.
	
<b>Figura 3.32 Afloramiento San Eduardo 7</b>	

Tabla 3.13 Ficha técnica Afloramiento San Eduardo 7

### 3.3.14 Afloramiento San Eduardo 9 (A14)

Ficha Técnica	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento San Eduardo 9 (A14)
<b>Coordenadas:</b>	618839                      9758419
<b>Datum y proyección</b>	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Cancha abandonada junto al redondel
<b>Descripción</b>	Se observa una zona muy árida la cual ha sido modelada por el ser humano dejando expuesta la estratificación la cual consta de lutitas intercaladas con una capa decimétrica de arenisca en su parte superior que se extiende por gran parte de la superficie (ver Figura 3.33). La lutita se encuentra intensamente facturada, sin embargo, se encuentra medianamente consolidada, se observa la presencia de fallas, y planos de exfoliación muy marcados.
	
<b>Figura 3.33 Afloramiento San Eduardo 9</b>	

Tabla 3.14 Ficha técnica Afloramiento San Eduardo 9

### 3.3.15 Afloramiento Cerro Paraíso 1 (A15)

Ficha Técnica	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cerro Paraíso 1 (A15)
<b>Coordenadas:</b>	619471                      9760282                      WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Afloramiento entrando en el sendero Cerro Paraíso
<b>Descripción</b>	Se muestra un afloramiento (ver Figura 3.34) con una coloración marrón oscuro a gris, el cual presenta una gradación masiva representada por una matriz con tamaño de grano del limo matriz-sostenida así como la presencia de rocas de entre 5cm a 30cm mal clasificadas con tamaño de grano del limo bien consolidadas con una coloración verde oscura bastante similar al material circundante. El afloramiento en general se encuentra

<b>Ficha Técnica</b>	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cerro Paraíso 1 (A15)
	poco consolidado y con buena presencia de flora.
	
<b>Figura 3.34 Afloramiento Cerro Paraíso (A15)</b>	

Tabla 3.15 Ficha técnica Afloramiento Cerro Paraíso 1

### 3.3.16 Afloramiento Cerro Paraíso 2 (A16)

<b>Ficha Técnica</b>			
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cerro Paraíso 2 (A16)		
<b>Coordenadas:</b>	619462	9760220	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Afloramiento de gran potencia con caída de rocas en su base		
<b>Descripción</b>	Se muestra un afloramiento (ver Figura 3.35) con una coloración grisácea, el cual presenta rocas con el tamaño del limo con gradaciones masivas en los estratos, medianamente fracturado, se presenta bien estratificado, con presencia de diaclasas y caídas de bloques en su base (ver Figura 3.36).		
<b>Datos estructurales</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Buzamiento</b>	<b>Dir. buzamiento</b>
Estratificación (E16)	N85°	26°SE	N206°

<b>Ficha Técnica</b>	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cerro Paraíso 2 (A16)
	 <p style="text-align: center;"><b>Figura 3.36 Caída de rocas</b></p>
<b>Figura 3.35 Afloramiento Cerro Paraíso (A16)</b>	

**Tabla 3.16 Ficha técnica Afloramiento Cerro Paraíso 2**

### 3.3.17 Afloramiento Cerro Paraíso 3 (A17)

<b>Ficha Técnica</b>			
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cerro Paraíso 3 (A17)		
<b>Coordenadas:</b>	619296	9760428	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Afloramiento rojizo con inclusiones		
<b>Descripción</b>	<p>Se muestra un afloramiento (ver Figura 3.37) color rojizo-marrón matriz el cual presenta una gradación masiva representada por una matriz con tamaño de grano del limo matriz-sostenida así como la presencia de rocas de entre 5cm a 30cm mal clasificadas con tamaño de grano del limo bien consolidadas las cuales presentan una coloración verdosa. El afloramiento en general se encuentra poco consolidado y con buena presencia de flora.</p>		

<b>Ficha Técnica</b>	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cerro Paraíso 3 (A17)
	
<b>Figura 3.37 Afloramiento Cerro Paraíso (A17)</b>	

**Tabla 3.17 Ficha técnica Afloramiento Cerro Paraíso 3**

### 3.3.18 Afloramiento Cerro Paraíso 4 (A18)

<b>Ficha Técnica</b>			
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cerro Paraíso 4 (A18)		
<b>Coordenadas:</b>	619326	9760354	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Afloramiento junto a drenaje		
<b>Descripción</b>	Se muestra un afloramiento (ver Figura 3.38) con una coloración gris-café oscuro con la presencia de rocas con tamaño de grano del limo con gradaciones masivas en los estratos, bastante fracturado, bien estratificado, con la presencia de diaclasas que dejan el terreno medianamente consolidado. A un lado del afloramiento atraviesa un gran drenaje (ver Figura 3.39).		
<b>Datos estructurales</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Buzamiento</b>	<b>Dir. buzamiento</b>
Estratificación (E18)	N124°	23°SW	N214°
Diaclasa (D18.1)	N145°	78°NE	N73°
Diaclasa (D18.2)	N74°	83°NW	N321°

<b>Ficha Técnica</b>	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cerro Paraíso 4 (A18)
	
<b>Figura 3.38 Afloramiento Cerro Paraíso (A18)</b>	<b>Figura 3.39 Drenaje en (A18)</b>

**Tabla 3.18 Ficha técnica Afloramiento Cerro Paraíso 4**

### 3.3.19 Afloramiento Cerro Paraíso 5 (A19)

<b>Ficha Técnica</b>	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cerro Paraíso 5 (A19)
<b>Coordenadas:</b>	619190      9759982      WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Coloración verdosa llamativa
<b>Descripción</b>	Se muestra un afloramiento (ver Figura 3.40) pequeño principalmente marrón oscuro masivo, con material con tamaño de grano de la arcilla-limo, sin estratificar, medianamente-bien consolidado con la presencia de llamativas coloraciones verdosas provenientes de algún mineral de ese color.

<b>Ficha Técnica</b>	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cerro Paraíso 5 (A19)
	
<p><b>Figura 3.40 Afloramiento Cerro Paraíso (A19) (vista en planta).</b></p>	

**Tabla 3.19 Ficha técnica Afloramiento Cerro Paraíso 5**

### 3.3.20 Afloramiento Cerro Paraíso 6 (A20)

<b>Ficha Técnica</b>			
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cerro Paraíso 6 (A20)		
<b>Coordenadas:</b>	619375	9760388	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Flujo de escombros		
<b>Descripción</b>	<p>Se observa un afloramiento (ver Figura 3.41) con una coloración marrón-naranja oscuro el cual presenta una gradación masiva representada por una matriz con tamaño de grano del limo-arcilla matriz-sostenida, así como la presencia de clastos de 1cm a 10cm mal clasificados, angulosos y con tamaño de grano del limo medianamente consolidados con una coloración naranja oscura parecida al material circundante.</p>		

Ficha Técnica	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cerro Paraíso 6 (A20)
	
<b>Figura 3.41 Afloramiento Cerro Paraíso (A20)</b>	

Tabla 3.20 Ficha técnica Afloramiento Cerro Paraíso 6

### 3.3.21 Afloramiento Cerro Paraíso 7 (A21)

Ficha Técnica			
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cerro Paraíso 7 (A21)		
<b>Coordenadas:</b>	619543	9760101	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Afloramiento en calle Las Toronjas		
<b>Descripción</b>	Se observa un afloramiento (ver Figura 3.42) con una coloración verdosa oscura con la presencia de rocas con tamaño de grano del limo con gradaciones masivas en los estratos, poco fracturado, bien estratificado, con la presencia de diaclasas que dejan el terreno poco consolidado.		
<b>Datos estructurales</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Buzamiento</b>	<b>Dir. buzamiento</b>
Estratificación (E21)	N52°	11°SE	N142°
Diaclasa (D21)	N260°	82°NE	N53°

<b>Ficha Técnica</b>	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cerro Paraíso 7 (A21)
	
<b>Figura 3.42 Afloramiento Cerro Paraíso (A21)</b>	

**Tabla 3.21 Ficha técnica Afloramiento Cerro Paraíso 7**

### 3.3.22 Afloramiento Cerro Paraíso 8 (A22)

<b>Ficha Técnica</b>			
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cerro Paraíso 8 (A22)		
<b>Coordenadas:</b>	620238	9759808	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Afloramiento en Avenida 32 S-O		
<b>Descripción</b>	Se observa un afloramiento (ver Figura 3.43) con una coloración café compuesta principalmente de regolito producto del deslizamiento de escombros debido al alta pendiente del afloramiento, con inclusiones de rocas en la matriz provenientes probablemente del talud, mal clasificada desde el limo hasta una grava fina mal consolidada media naranja-café.		

Ficha Técnica	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cerro Paraíso 8 (A22)
	
<p><b>Figura 3.43 Afloramiento Cerro Paraíso (A22)</b></p>	

**Tabla 3.22 Ficha técnica Afloramiento Cerro Paraíso 8**

### 3.3.23 Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina 1 (A23)

Ficha Técnica			
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina 1 (A23)		
<b>Coordenadas:</b>	619853	9758532	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Afloramiento Escarpe del Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina (izquierda)		
<b>Descripción</b>	Se observa un afloramiento (ver Figura 3.44) con una coloración crema con granos del tamaño del limo, plegada, bien estratificada, medianamente consolidada, con una gradación masiva y una coloración variante a naranja hacia la derecha con secciones que presentan rocas con el tamaño de del limo de color gris oscuro.		
<b>Datos estructurales</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Buzamiento</b>	<b>Dir. buzamiento</b>
Estratificación (E23)	N41°	45°SE	N131°

<b>Ficha Técnica</b>	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina 1 (A23)
	
<b>Figura 3.44 Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina (A23)</b>	

**Tabla 3.23 Ficha técnica Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina 1**

### **3.3.24 Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina 2 (A24)**

<b>Ficha Técnica</b>			
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina 2 (A24)		
<b>Coordenadas:</b>	619871	9758569	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Afloramiento Escarpe del Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina (derecha)		
<b>Descripción</b>	Se observa un afloramiento (ver Figura 3.45) con una coloración naranja intenso bien estratificado, con una gradación masiva en los estratos, medianamente-poco consolidada, con rocas del tamaño del limo-arena fina, plegado y fracturado, a la izquierda se observa una presunta falla con la presencia de una brecha poco consolidada con clastos centimétricos y una coloración similar.		

Ficha Técnica	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina 2 (A24)
	
<p><b>Figura 3.45 Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina (A24)</b></p>	

Tabla 3.24 Ficha técnica Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina 2

### 3.3.25 Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina 3 (A25)

Ficha Técnica			
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina 3 (A25)		
<b>Coordenadas:</b>	620292	9758482	WGS84 UTM17S (32717)
<b>Referencia:</b>	Afloramiento en sendero del Cuerpo de Infantería Marina 3 (A25)		
<b>Descripción</b>	Se observa un afloramiento (ver Figura 3.46) con una coloración grisácea, con rocas del tamaño del limo, bien consolidado, con gradaciones masivas en los estratos, silicificado y bastante meteorizado. Se observa la presunta presencia de boudinages.		
<b>Datos estructurales</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Buzamiento</b>	<b>Dir. buzamiento</b>
Estratificación (E25)	N117°	31°SW	N207°

<b>Ficha Técnica</b>	
<b>Nombre y código</b>	Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina 3 (A25)
	
<b>Figura 3.46 Afloramiento en sendero del Cuerpo de Infantería Marina (A25)</b>	

**Tabla 3.25 Ficha técnica Afloramiento Cuerpo de Infantería Marina 3**

### **3.4 Digitalización**

Para la construcción del mapa de pendientes se partió de las curvas de nivel 1m obtenidas con el dron, con ayuda del SIG se le clasificaron las pendientes según Sikdar et al. (2004) y se le agregaron otros elementos como el estero y las redes de drenaje.

Para la construcción del mapa geológico de este estudio se partió de la hoja geológica de Guayaquil 1:100 000 como base sobre la cual se unieron todos los rasgos satelitales, litológicos y estructurales de los puntos de interés tomados que se consideraron para poder establecer y/o corroborar los contactos de las formaciones aplicando los conocimientos geológico-técnicos como el trazado de paralelas y métodos de 3 puntos.

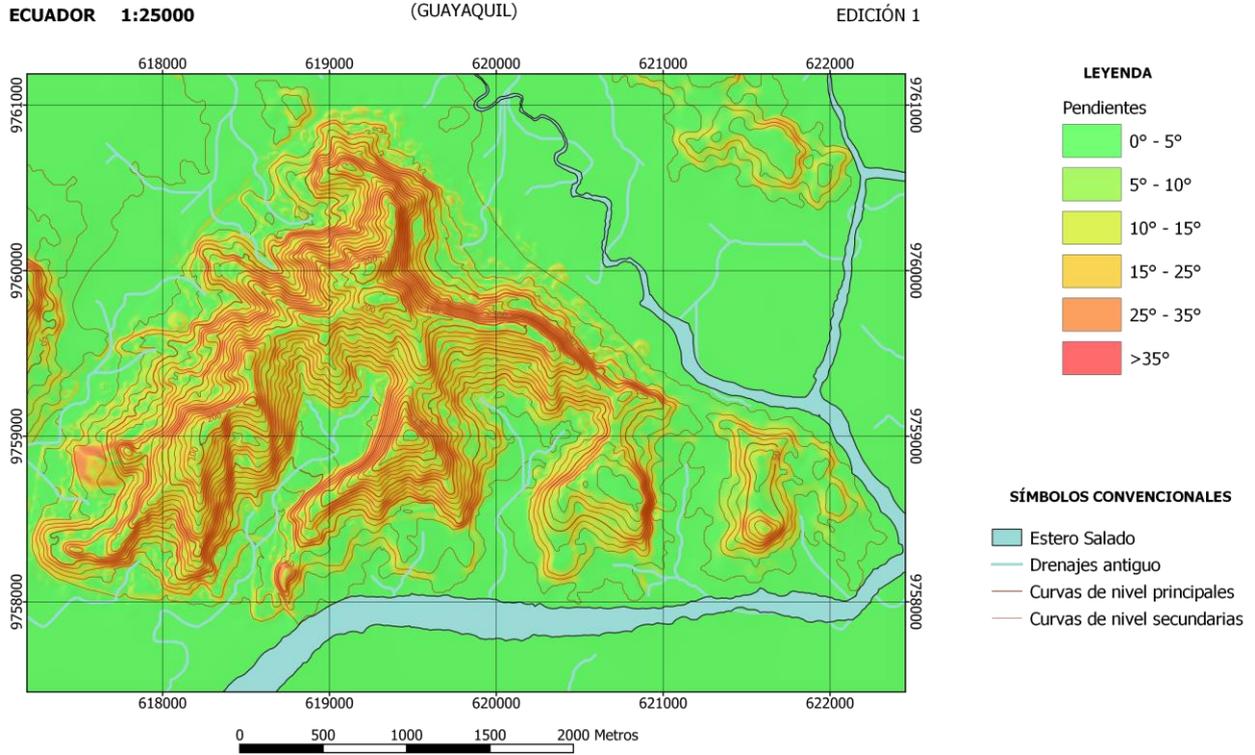
Para la delimitación de contactos como el contacto Cayo-Guayaquil, se procedió a crear un raster con el rumbo y buzamiento que corresponde al promedio de los estratos de la zona con un contacto teniendo a consideración el cambio en las litologías a los dos lados de la zona de interés y colocando esta capa sobre el DEM, de tal forma que marque la línea de contacto como si del método de las paralelas se tratase.

Para la construcción del mapa geomorfológico se partió del modelo de elevación digital creado a partir de las curvas de nivel 1m obtenidas con el dron, ayudado también de un mapa de pendientes y la imagen satelital RGB del satélite de Bing así como del libro de (Gutierrez, 2008). Un aspecto importante a la hora de la realización de este mapa es que con ayuda del modelo de elevación digital y con el mapa de Bing como máscara se recorrió el terreno en 3D con ayuda del visor 3D de QGIS con lo que se validaron ciertos aspectos.

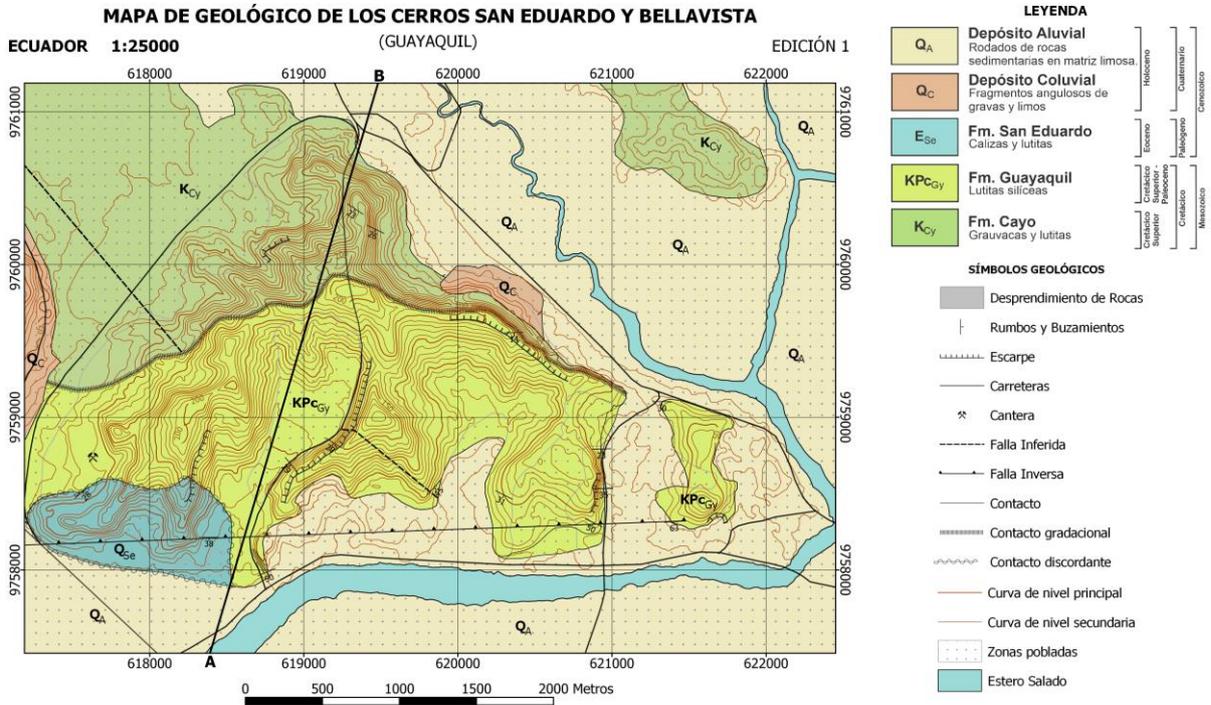
Para la realización del mapa tectónico se recopiló información estructural de mapas anteriores como Erguez et al. (2003) y Centro de levantamientos integrados de recursos naturales por sensores remotos (1987), datos a los cuales se adjuntó información obtenida satelitalmente, entre otras estructuras.

Para la realización de todos los mapas, los detalles técnicos y las características simbólicas más importantes se extrajeron del FGDC *Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization*, recomendado por la USGS (Federal Geographic Data Committee [prepared for the Federal Geographic Data Committee by the U.S. Geological Survey], 2006). A continuación, se presenta un extracto de los mapas finales los cuales se encuentran completos en la sección C de los apéndices:

**MAPA DE PENDIENTES DE LOS CERROS SAN EDUARDO Y BELLAVISTA**



**Figura 3.47 Mapa de pendientes de los Cerros San Eduardo y Bellavista**



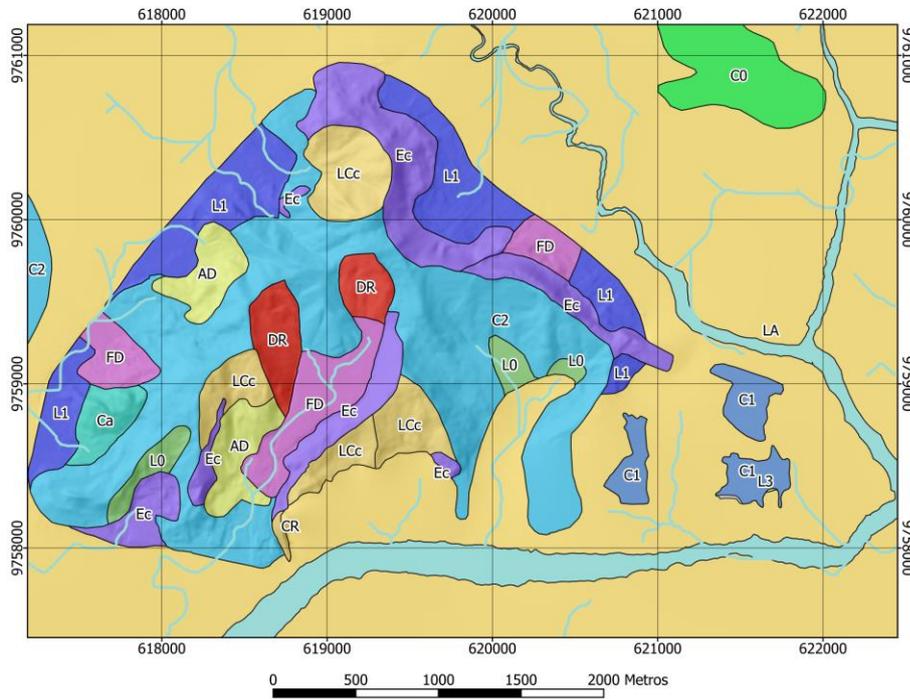
**Figura 3.48 Mapa geológico de los Cerros San Eduardo y Bellavista**

**MAPA DE GEOMORFOLÓGICO DE LOS CERROS SAN EDUARDO Y BELLAVISTA**

ECUADOR 1:25000

(GUAYAQUIL)

EDICIÓN 1



**LEYENDA**

- AD Avalancha de detritos
- CR Caída de rocas
- Ca Cantera
- C1 Colinas bajas
- C2 Colinas medias
- C0 Colinas muy bajas
- DR Deslizamiento rotacional
- Ec Escarpe
- FD Flujo de detritos
- L0 Ladera planar
- L3 Laderas altas
- L1 Laderas bajas
- LA Llanura aluvial
- LCc Ladera cóncava

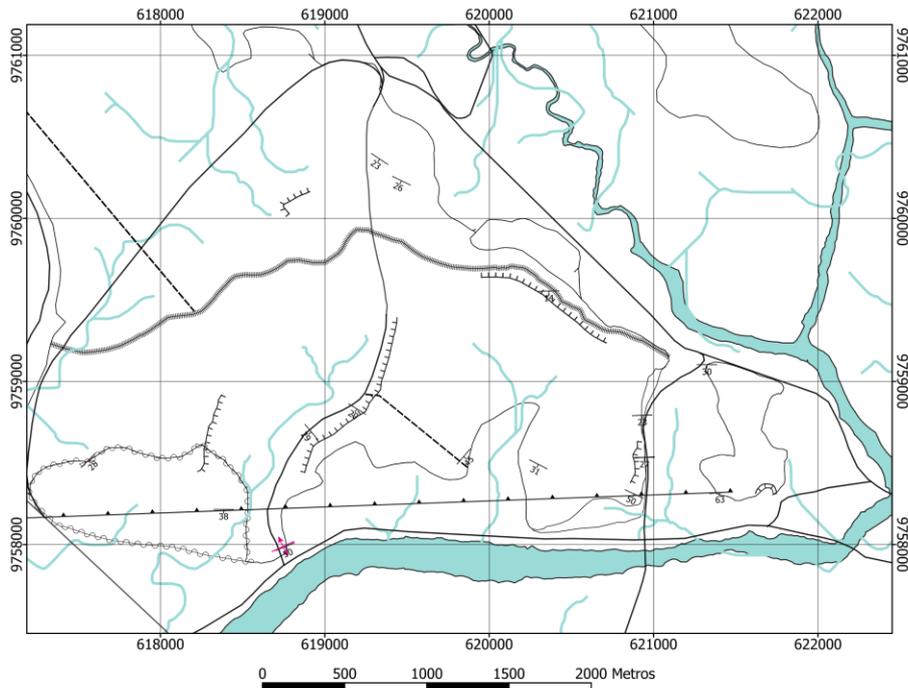
**Figura 3.49 Mapa geomorfológico de los Cerros San Eduardo y Bellavista**

**MAPA DE TECTÓNICO DE LOS CERROS SAN EDUARDO Y BELLAVISTA**

ECUADOR 1:25000

(GUAYAQUIL)

EDICIÓN 1



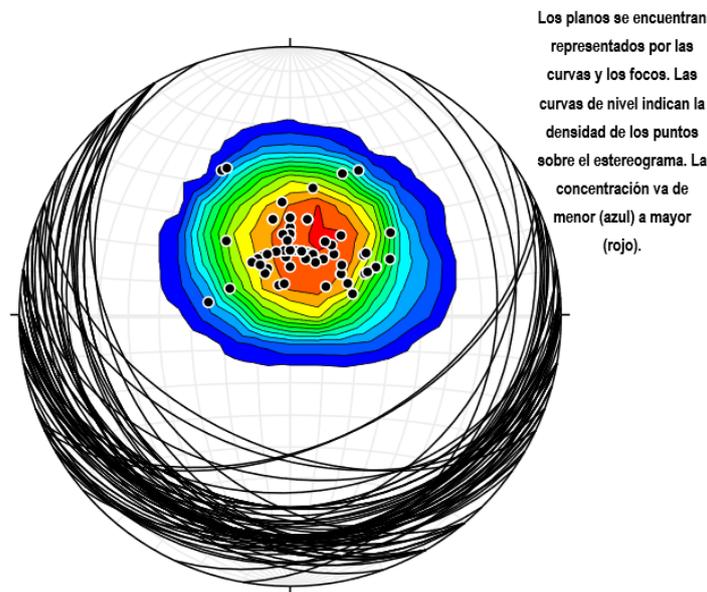
**LEYENDA**

- Antiforme menor
- Rumbos y Buzamientos
- Carreteras
- Escarpe
- Falla Inferida
- Falla Inversa
- Drenajes
- Estero Salado

**Figura 3.50 Mapa tectónico de los Cerros San Eduardo y Bellavista**

### 3.5 Análisis de resultados

En primera instancia se determinó que las orientaciones de las capas tomadas en el trabajo de campo sobre la formación Guayaquil y Cayo son análogas con las actitudes tomadas por Zambrano (2018) en los cerros del casco urbano de Durán por lo que se puede inferir que los cerros estudiados por Zambrano corresponden a un evento sincrónico de compresión tectónica con los cerros San Eduardo, San Pablo y Bellavista con un rumbo promedio de  $N100^\circ$  y un buzamiento de  $22^\circ SE$  (Ver Figura 3.8).

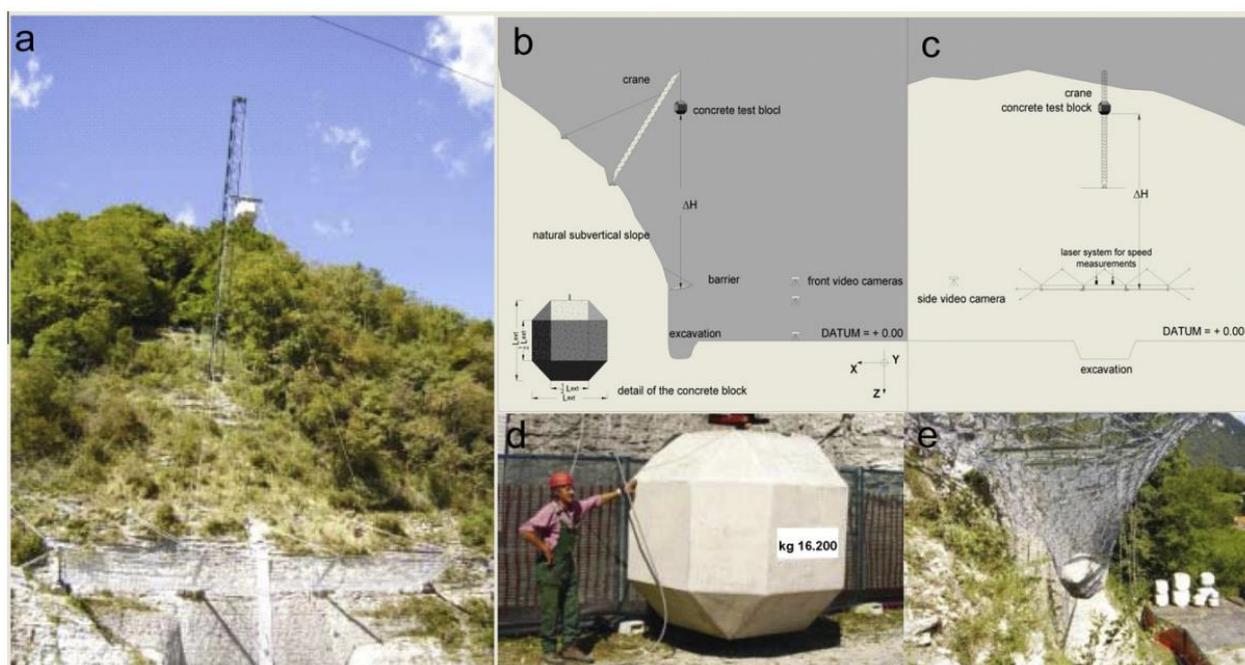


**Figura 3.51 Actitudes de los estratos de los cerros del caso urbano de Durán y los cerros San Eduardo y Bellavista.**

La aplicación de los esfuerzos compresivos que perturbaron la disposición de los estratos dejó como efecto varias estructuras como plegamientos y *boudinages* (*capas de una litología específica que se rompen en fragmentos alargados con forma de boudins* (Arslan et al., 2008)) además de fracturamientos en el terreno, fenómeno que en el caso de la entrada al túnel San Eduardo, ha causado un desprendimiento de rocas poniendo en riesgo a vehículos y transeúntes por lo cual aquel tramo de la vía se encuentra inhabilitado.

Son varios los lugares en el mundo en donde ocurren desprendimientos de rocas como es el caso de Fonzaso (Belluno, Italia); razón por la cual se han ideado varios tipos de barreras de protección compuestas por estructuras metálicas que se utilizan como

medidas pasivas contra la caída de rocas. Normalmente hechas de una red de cables, postes de acero estructural y componentes de conexión especiales con la finalidad de que estas barreras interceptan y evitan que los bloques de roca reboten, rueden y se deslicen a lo largo de una pendiente en caso de caída de rocas (Gentilini et al., 2012), razón por la cual la implementación de los mecanismos de barrera (Ver Figura 3.9) presentados por Gentilini et al. (2012) son la mejor opción para la habilitación de la vía de ingreso al túnel San Eduardo a la altura del afloramiento A8 con lo cual dejaría de correr peligro la vida de los peatones y los conductores que transitan por esta zona.



**Figura 3.52 Mecanismo de redes y poleas en Fonzaso (Belluno, Italia)**

**(a) vista general, (b) vista lateral, (c) vista frontal, (d) bloque de prueba de hormigón y (e) una muestra de barrera después de la prueba. Fuente (Gentilini et al., 2012)**

Las estructuras *boudinage* se crean a partir de la ruptura de capas, cuerpos o planos de foliación dentro de una masa rocosa en respuesta a la extensión masiva a lo largo de la superficie envolvente (Goscombe et al., 2004). Esta descripción es coherente con las estructuras observadas en el afloramiento A6 (ver Figura 3.56) del área de estudio, esto, sumado a la presencia de chevrones (ver Figura 3.54) (pliegues angulares simétricos o ligeramente asimétricos que suelen mostrar un ángulo agudo entre las extremidades (Bastida et al., 2007)) observados en el afloramiento A7, y otros

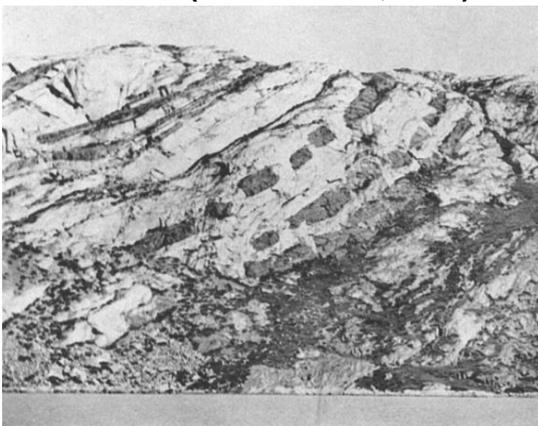
plegamientos indican los fuertes regímenes compresivos que posiblemente han incidido en esta zona.



**Figura 3.53 Modelo de chevron en Millook Haven, Cornwall, SE England.  
Fuente: (Bastida et al., 2007)**



**Figura 3.54 Chevron en parada A7**



**Figura 3.55 Modelo de boudinage en Millook Haven, Cornwall, SE England.  
Fuente: (Ramberg, 1955)**



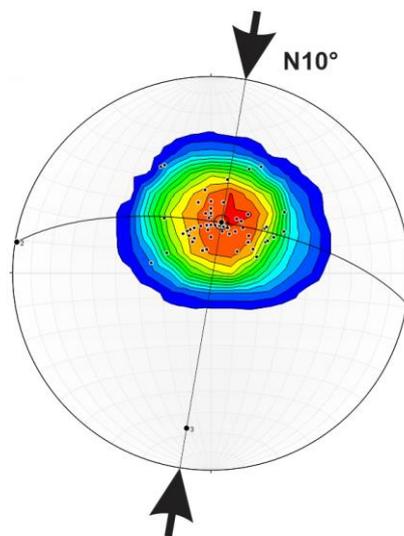
**Figura 3.56 Boudinage en parada A6**

La presencia de pliegues singenéticos (ver Figura 3.57) como los observados en los afloramientos 3 y 4 y por otros autores como (Ortiz, 2019) son una evidencia que sugiere la presencia de slumps submarinos en la zona, lo cual debe ser complementado con otros estudios para verificar el tipo de ambiente



**Figura 3.57 Pliegues singenéticos**

Luego de los resultados obtenidos y las evidencias comentadas se puede proponer un modelo de compresión gracias al cual los estratos correspondientes a la formación Cayo y Guayaquil cambiaron su disposición en donde los esfuerzos tuvieron una incidencia de carácter compresivo en el área de estudio a lo largo de la traza N10° (ver Figura 3.58).



**Figura 3.58 Modelo de esfuerzos**

Por otro lado, para la construcción del mapa geológico las imágenes satelitales permitieron identificar geformas, estructuras y contactos entre unidades litoestratigráficas (ver Figuras 3.59 – 3.66) marcadas tanto por cambios de coloración en imágenes RGB como en combinación de bandas fragmentadas, el mapeo geológico de verificación permitió poder identificar y corroborar algunos límites existentes y recursos como el cálculo de 3 puntos a partir de los datos satelitales obtenidos que ayudó a extrapolar la información.



**Figura 3.59 Contacto estratigráfico  
(619080, 9758745 WGS84 UTM17S)**

**Figura 3.60 Contacto estratigráfico  
(620343, 9759591 WGS84 UTM17S)**



**Figura 3.61 Deslizamiento rotacional**



**Figura 3.62 Ladera cóncava  
(619970, 9759302 WGS84 UTM17S)**

(618790, 9759321 WGS84 UTM17S)



**Figura 3.63 Cantera**  
(617636, 9758752 WGS84 UTM17S)

**Figura 3.64 Avalancha de detritos**  
(618273, 9758432 WGS84 UTM17S)



**Figura 3.65 Falla geológica**  
(619339, 9758891 WGS84 UTM17S)

**Figura 3.66 Escarpe**  
(618892, 9758627 WGS84 UTM17S)

La sección al oeste del área de estudio no pudo ser mapeada en las salidas de campo debido a la presencia de propiedades privadas que no resultaron de fácil acceso, sin embargo, satelitalmente pudieron ser determinados los límites de la Fm. San Eduardo

con relativa facilidad debido principalmente al cambio en la coloración de esta formación, así como se pudo determinar satelitalmente de manera bastante precisa la presencia de los coluviones.

En la sección centro-sur (619854, 9758529) se pudieron identificar rocas bastante blancas y de grano fino que podían haberse tratado de calizas correspondientes a la Fm. San Eduardo, específicamente al miembro Javita con el cual comparten varias características, sin embargo, no pudo ser mapeado en el mapa geológico debido a que el afloramiento aparentemente se encuentra poco expuesto.

El contacto determinado para las formaciones Cayo-Guayaquil mediante el método antes descrito se ajustó mucho al contacto ya propuesto en la hoja geológica de Guayaquil 1:100 000.

El proceso de validación de la información obtenida satelitalmente permitió poder corroborar todos los datos anteriormente mencionados (ver Figuras 3.59 – 3.66) excepto el “contacto” de la Figura 3.60 el cual no pudo ser observado por lo que se cree es un cambio de coloración debido a la presencia del talud.

# CAPÍTULO 4

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La realización del presente trabajo de investigación aporta al conocimiento geológico en el área de Guayaquil ya que la información detallada del área de estudio se encuentra restringida debido a que la mayoría de estudios son privados y si bien sí existe información de libre acceso, esta está desactualizada (como es el caso de la hoja geológica de Guayaquil 1:100 000 de 1975 (Misión Británica & Dirección General de Geología y Minas, 1975)) y existen varias secciones como el límite Cayo-Guayaquil en donde no se apega tanto a la realidad geológica del lugar, con lo cual se espera este trabajo aporte con el conocimiento geológico actualizado de esta zona y se continúe mejorando la información disponible sobre la región suroeste del Ecuador.

### Conclusiones

La recopilación de información bibliográfica actualizada permitió identificar los cambios y aportes de autores como la distinción de la Fm. Cayo en Fm. Guayaquil, Fm. Cayo y Fm. Calentura.

Para la realización de los mapas temáticos del área de estudio, la utilización de las imágenes satelitales de Bing combinado con el modelo de elevación digital STRM permitió identificar límites, lineamientos, rumbos y buzamientos de los estratos, geoformas, fallas, drenajes, zonas pobladas, laderas, colinas, deslizamientos de masas, mapas de pendientes, mapas de sombras, escarpes, canteras, carreteras y curvas de nivel.

Se crearon cuatro mapas temáticos que aportan con información geológica al sector del área de estudio: el mapa geológico, el mapa geomorfológico, el mapa estructural y el mapa tectónico.

Las actitudes tomadas a las estratificaciones de los afloramientos que se encuentran en la zona de estudio tienen un rumbo promedio de N100° y un buzamiento promedio de 22°SE.

El evento de compresión que plegó a los estratos que conforman a los cerros en estudio son sincrónicos con los eventos compresivos de los cerros del casco urbano de Durán estudiados por Zambrano (2019) debido a su alta similitud en cuanto a los rumbos y buzamientos.

Se sugiere la presencia de un slump submarino dentro del área de estudio debido a la presencia de pliegues singenéticos y descripciones dadas por otros autores como (Ortiz, 2019) quien observó estratos de lutitas silicificadas, limolitas y areniscas presentados en estructuras plegadas sinsedimentarias tipo slumps.

El túnel San Eduardo tiene una gran similitud con una carretera en Fonzaso (Belluno, Italia), en donde existe un sector marcado por el desprendimiento de rocas al cual se lo ha adecuado con un sistema de rejas y poleas propuesto por Gentilini et al. (2012) con el cual incluso rocas de gran tamaño no rebotan y se quedan en las rejillas, por lo cual, se propone colocar el sistema creado por Gentilini et al. (2012) para de esta manera evitar poner en riesgo la vida de transeúntes y conductores que circulan por la zona.

La mejor alternativa que se tiene a las imágenes satelitales RGB de Google son las imágenes provenientes de los satélites de Bing los cuales cuentan con una resolución bastante buena (50cm).

Para el área de estudio, el software Google Earth no fue de gran ayuda debido a un cambio brusco en la coloración de las imágenes satelitales para lo cual un excelente reemplazo fue la opción de vista 3D de QGIS con el mapa satelital de Bing como máscara y el modelo de elevación digital del satélite STRM como como modelador.

Muchos de los contactos, aunque pueden ser determinados satelitalmente deberán ser validados en campo para evidenciar el cambio de litología entre los estratos y no solamente el cambio en la coloración.

Uno de los contactos estratigráficos determinados satelitalmente no pudo ser determinado en la salida de campo.

## **Recomendaciones**

Se recomienda solicitar información a los lugares de no son de libre acceso que existen alrededor de esta zona de estudio de tal forma que se puedan verificar algunos detalles que no se pudieron observar en las salidas de campo realizadas debido a que varias zonas se encuentran restringidas por intereses privados.

Se recomienda realizar análisis petrográficos a las lutitas de las paradas A4, A5 y A12 las mismas que tienen altas foliaciones (próximas a la filita e incluso a la pizarra) con la finalidad de determinar si se pueden observar indicios de facies metamórficas dinámicas.

Se recomienda prospectar el cerro alrededor de (619854, 9758529) con la finalidad de determinar si el afloramiento blanquecino se trata del miembro Javita correspondiente a la Fm. San Eduardo y si efectivamente pudiera haber sido mapeado y/o con una menor escala.

Se recomienda determinar si existe una continuidad al oeste del área de estudio de la Fm. San Eduardo debido a que 300 metros más al oeste vuelve a aflorar de nuevo según la hoja geológica de Guayaquil por lo que podría existir un afloramiento dentro de esta franja.

Se recomienda realizar un mapeo geológico al cerro que se encuentra en el sector oeste del área de estudio de tal forma que se pueda corroborar y afianzar más el modelo de compresión tectónica propuesto.

Se recomienda realizar estudios bioestratigráficos que permitan comprender mejor el ambiente sedimentario donde se formaron los afloramientos y a su vez poder afirmar que corresponden a slumps submarinos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, D. (2019). *Combinación de bandas en imágenes de satélite Landsat y Sentinel*. MappingGIS. <https://mappinggis.com/2019/05/combinaciones-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-landsat-y-sentinel/>
- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J. M., Jaillard, E., Mothes, P., Jarrín, P., Segovia, M., Rolandone, F., & Cisneros, D. (2016). Partitioning of oblique convergence in the Northern Andes subduction zone: Migration history and the present-day boundary of the North Andean Sliver in Ecuador. *Tectonics*, 35(5), 1048–1065. <https://doi.org/10.1002/2016TC004117>
- Arslan, A., Passchier, C. W., & Koehn, D. (2008). Foliation boudinage. *Journal of Structural Geology*, 30(3), 291–309. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2007.11.004>
- Baraldi, A., Durieux, L., Simonetti, D., Conchedda, G., Holecz, F., & Blonda, P. (2010). Automatic Spectral-Rule-Based Preliminary Classification of Radiometrically Calibrated SPOT-4/-5/IRS, AVHRR/MSG, AATSR, IKONOS/QuickBird/OrbView/GeoEye, and DMC/SPOT-1/-2 Imagery—Part I: System Design and Implementation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(3), 1299–1325. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2032457>
- Bastida, F., Aller, J., Toimil, N. C., Lisle, R. J., & Bobillo-Ares, N. C. (2007). Some considerations on the kinematics of chevron folds. *Journal of Structural Geology*, 29(7), 1185–1200. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2007.03.010>
- Benitez. (2010). *Évolution géodynamique de la province côtière sud-équatorienne au Crétacé supérieur-Tertiaire*. Université Joseph-Fourier - Grenoble I.
- Benitez, S. (1989). Estratigrafía de las Formaciones Cayo y Guayaquil en la Cordillera Chongón - Colonche: hacia una redefinición. *5o Congreso Ecuatoriano de Geología, Minas y Petróleos*, 24.
- Benitez, Stalin. (1995). Évolution géodynamique de la province côtière sud-équatorienne au Crétacé supérieur - Tertiaire. *Géology Alpine*, 71, 3–163.

- Bristow, C., & Hoffstetter, R. (1968). Ecuador (incl. Galápagos). En *Amérique Latine* (2°, p. 209).
- Bristow, C., & Hoffstetter, R. (1977). *Amérique Latine* (2. Ecuador). Centre National de la Recherche Scientifique.
- Bristow, C. R. (1976). The age of the Cayo Formation, Ecuador. *Newsletters on Stratigraphy*, 4(3), 169–173. <https://doi.org/10.1127/nos/4/1976/169>
- Canfield, R. (1966). *Reporte Geológico de la Costa Ecuatoriana*.
- Cárdenas, N. (2018). *La geología en Ecuador, una ciencia primordial*. UTPL. <https://noticias.utpl.edu.ec/la-geologia-en-ecuador-una-ciencia-primordial>
- Centro de levantamientos integrados de recursos naturales por sensores remotos. (1987). *Mapa geológico estructural Guayaquil 1:100 000*.
- Cornejo, P. (2016). Depósitos minerales no metálicos del Ecuador. *Escuela Politécnica Nacional*, June, 33. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24008.11523>
- DJI. (2020). *Phantom 4 Pro*. <https://www.dji.com/phantom-4-pro>
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F., & Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>
- Duque, P. (2000). Léxico Estratigráfico del Ecuador 1977. *UCP Prodeminca*, 91.
- Eguez, A., Alvarado, A., Yepes, H., Machette, C. C., & Dart, R. L. (2003). Database and Map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions. *USGS Open-File Report 03-289*, 77.
- Ergüez, A., Gaona, M., & Albán, A. (2017). *Mapa Geológico de la República del Ecuador 1:1'000 000. 2017*.
- Escobar, A. (2019). *Caracterización sedimentológica de la formación Guayaquil*

(Cretácico medio - Paleoceno inferior) en el centro-sur del Cerro San Eduardo, Guayaquil. Universidad de Guayaquil.

Federal Geographic Data Committee [prepared for the Federal Geographic Data Committee by the U.S. Geological Survey]. (2006). *FGDC Standard for Geologic Map Symbolization*.

Feininger, T., & Bristow, C. R. (1980). Cretaceous and Paleogene geologic history of coastal Ecuador. *Geologische Rundschau*, 69(3), 849–874. <https://doi.org/10.1007/BF02104650>

Frey, J., & Mills, S. (1968). *Geological investigation of southern border of the Colonche-Chongon Hills*.

García, A. (2017). *Análisis de los beneficios socio económicos y ambientales por la ejecución de un proyecto ecoturístico en Bosque Protector Cerro Paraíso, Guayaquil*. Universidad de Guayaquil.

Gentilini, C., Govoni, L., de Miranda, S., Gottardi, G., & Ubertini, F. (2012). Three-dimensional numerical modelling of falling rock protection barriers. *Computers and Geotechnics*, 44, 58–72. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2012.03.011>

Goossens, P. (1968). La geología de la costa ecuatoriana entre Manta y Guayaquil. *Bol. Estudios Geológicos, Serv. Nac. Geol. Mm.*, 1, 5–17.

Goossens, P., & Rose, W. (1973). Chemical composition and age determination of tholeiitic rocks in the basic igneous complex Ecuador. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 84, 1043–1052.

Goscombe, B. D., Passchier, C. W., & Hand, M. (2004). Boudinage classification: end-member boudin types and modified boudin structures. *Journal of Structural Geology*, 26(4), 739–763. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2003.08.015>

Gutierrez, M. (2008). *Geomorfología*. Pearson Education.

James, D. E. (1971). *Geological Society of America Bulletin Plate Tectonic Model for the Evolution of the Central Andes Plate Tectonic Model for the Evolution of the*

*Central Andes*. 12. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1971\)82](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1971)82)

Juteau, T., Megard, F., Raharison, L., & Whitechurch, H. (1977). Les assemblages ophiolitiques de l'occident équatorien; nature pétrographique et position structurale. *Bulletin de la Société Géologique de France*, S7-XIX(5), 1127–1132. <https://doi.org/10.2113/gssgfbull.S7-XIX.5.1127>

Landes, R. (1944). Geología de la región sud-occidental del Ecuador. *Bol. Inst. Sudamer. Petrol.*, 1, n° 3, 191–200.

Loveland, T. R., & Irons, J. R. (2016). Landsat 8: The plans, the reality, and the legacy. *Remote Sensing of Environment*, 185, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.07.033>

Luzieux, L. (2007). *Origin and late Cretaceous-Tertiary evolution of the Ecuadorian forearc*. ETH Zürich.

Machiels, L., Garcés, D., Snellings, R., Vilema, W., Morante, F., Paredes, C., & Elsen, J. (2014). Zeolite occurrence and genesis in the Late-Cretaceous Cayo arc of Coastal Ecuador: Evidence for zeolite formation in cooling marine pyroclastic flow deposits. *Applied Clay Science*, 87, 108–119. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2013.10.018>

Machiels, L., Morante, F., Snellings, R., Calvo, B., Canoira, L., Paredes, C., & Elsen, J. (2008). Zeolite mineralogy of the Cayo formation in Guayaquil, Ecuador. *Applied Clay Science*, 42(1–2), 180–188. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2008.01.012>

Machiels, L., Snellings, R., Morante, F., Elsen, J., & Paredes, C. (2013). Mineralogía Cuantitativa de los Depósitos de Zeolitas en la Costa del Ecuador. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 19(1). <https://doi.org/http://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/199>

Merriman, R. J., Highley, D. E., & Cameron, D. G. (2003). Definition and characteristics of very-fine grained sedimentary rocks: clay, mudstone, shale and slate. *British Geological Survey Commissioned Reprt*, 20.

Misión Británica, & Dirección General de Geología y Minas. (1975). Guayaquil 1:100

000. *Mapa Geológico del Ecuador, Provisiona.*

- Moreira, R. C. (2019). *Bioestratigrafía y Ambiente Sedimentario de Deposición de las Calizas de la Formación San Eduardo (Eoceno) al Sur del Bosque Protector Cerro Blanco, Provincia del Guayas.*
- Nocquet, J. M., Villegas-Lanza, J. C., Chlieh, M., Mothes, P. A., Rolandone, F., Jarrin, P., Cisneros, D., Alvarado, A., Audin, L., Bondoux, F., Martin, X., Font, Y., Régnier, M., Vallée, M., Tran, T., Beauval, C., Maguiña Mendoza, J. M., Martinez, W., Tavera, H., & Yepes, H. (2014). Motion of continental slivers and creeping subduction in the northern Andes. *Nature Geoscience*, 7(4), 287–291. <https://doi.org/10.1038/ngeo2099>
- Núñez, E. (2003). *Geología del Ecuador*. <https://documents.ec/document/libro-geologia-del-ecuador-por-ing-nunez-del-arco.html>
- Núñez, E., & Dugas, F. (1986). Guía Geológica del Suoreste de la Costa Ecuatoriana. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Olsson, A. (1942). *Tertiary deposits of north-western South America and Panama.*
- Ordóñez, A. (2007). Asociaciones De Radiolarios De La Cordillera Chongón Colonche. *4th European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin America*, 8(2004), 9.
- Ortiz, C. (2019). *Caracterización sedimentológica de la formación Guayaquil (Cretácico medio - Paleoceno inferior) en el centro-sur del Cerro San Eduardo, Guayaquil.* Universidad de Guayaquil.
- Ourhizif, Z., Algouti, A., Algouti, A., & Hadach, F. (2019). Lithological mapping using Landsat 8 OLI and Aster multispectral data in Imini-Ounilla district south high atlas of Marrakech. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W13, 1255–1262. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-1255-2019>
- Ramberg, H. (1955). Natural and Experimental Boudinage and Pinch-and-Swell Structures. *The Journal of Geology*, 63(6), 512–526. <https://doi.org/10.1086/626293>

- Reynaud, C., Jaillard, É., Lapierre, H., Mamberti, M., & Mascle, G. H. (1999). Oceanic plateau and island arcs of southwestern Ecuador: their place in the geodynamic evolution of northwestern South America. *Tectonophysics*, 307(3–4), 235–254. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00099-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00099-2)
- Robalino, P., Morante, F., Ramos, V., & Ergüez, H. (2005). *Caracterización Básica de las zeolitas (Fm. Cayo-Ecuador) para su aplicación como material puzolánico*.
- Rodríguez, E., Morris, C. S., & Belz, J. E. (2006). A Global Assessment of the SRTM Performance. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(3), 249–260. <https://doi.org/10.14358/PERS.72.3.249>
- Rosenqvist, A., Shimada, M., Ito, N., & Watanabe, M. (2007). ALOS PALSAR: A Pathfinder Mission for Global-Scale Monitoring of the Environment. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(11), 3307–3316. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.901027>
- Servicio Nacional de Geología y Minas, & Bureau D'études Industrielles. (1969). *Mapa Geológico del Ecuador 1'000.000*. Instituto Frances de Petróleo.
- Sheppard. (1946). *Guayaquil Argillites and Cherts*.
- Sigal, J. (1968). *Estratigrafía micropaleontológica del Ecuador, datos anteriores y nuevos*.
- Sikdar, P. K., Chakraborty, S., Adhya, E., & Paul, P. K. (2004). Land Use/Land Cover Changes and Groundwater Potential Zoning in and around Raniganj coal mining area, Bardhaman District, West Bengal - A GIS and Remote Sensing Approach. *Journal of Spatial Hydrology*, 4.
- Sinclair, J., & Berkey, C. (1924). *Geology of Guayaquil, Ecuador, South America*.
- Snelling, N. (1970). K:Ar age determinations on samples from Ecuador. *Geochemical Div., London*.
- Stainforth, R. (1948). Applied Micropaleontology in Coastal Ecuador. *Journal of Paleontology*, 22, 43.

- Tapia, R. (2019). *Importancia de las técnicas participativas en el diagnóstico de intervención comunitaria en la cooperativa 25 de julio – Cerro San Eduardo* [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/44264>
- Thalman, H. (1946). Micropaleontology of Upper Cretaceous and Paleocene in Western Ecuador. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 3, 337–347.
- Tschopp, H. (1948). Geologische Skizze von Ekuador. *Bull. Ass. Swiss Géol. Ing. Pétr.*, 15, 45.
- United Nations Development Programme. (1969). *Survey of metallic and no metallic minerals. Iron ore and Baritine (Operation N°7, Guayas-Manabí)*.
- Vallejo, C., Spikings, R. A., Horton, B. K., Luzieux, L., Romero, C., Winkler, W., & Thomsen, T. B. (2019). Late cretaceous to miocene stratigraphy and provenance of the coastal forearc and Western Cordillera of Ecuador: Evidence for accretion of a single oceanic plateau fragment. En *Andean Tectonics*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816009-1.00010-1>
- Van Melle, J., Vilema, W., Faure-Brac, B., Ordoñez, M., Lapierre, H., Jimenez, N., Jaillard, E., & Garcia, M. (2008). Pre-collision evolution of the Piñón oceanic terrane of SW Ecuador: Stratigraphy and geochemistry of the “Calentura Formation”. *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 179(5), 433–443. <https://doi.org/10.2113/gssgfbull.179.5.433>
- Wallrabe-adams, H. J. (1990). Petrology and geotectonic development of the Western Ecuadorian Andes: the Basic Igneous Complex. *Tectonophysics*, 185(1–2), 163–182. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(90\)90411-Z](https://doi.org/10.1016/0040-1951(90)90411-Z)
- White, S. M., Trenkamp, R., & Kellogg, J. N. (2003). Recent crustal deformation and the earthquake cycle along the Ecuador–Colombia subduction zone. *Earth and Planetary Science Letters*, 216(3), 231–242. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(03\)00535-1](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(03)00535-1)
- Wolf. (1874). Geognostische Mittheilungen aus Ecuador. *Kritische Zusammenstellung der in Ecuador stattgerundenen, Vulkan-Ausbrüche und Erdleben seit der Zeit der*

*Conquista. Ibid., 1875.*

Zambrano, K. (2018). *Susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa en los cerros del casco urbano del Cantón Eloy Alfaro (Durán)*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

# APÉNDICES

## A. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS

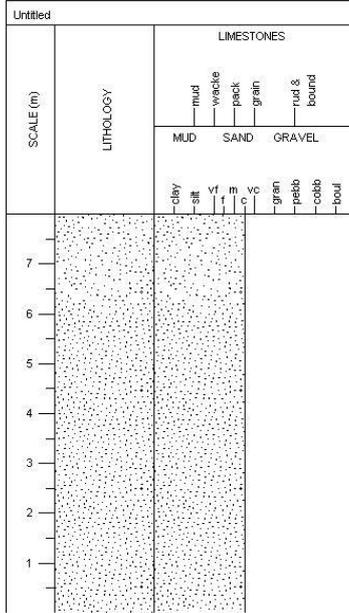


Figura A.1 Columna estratigráfica A6

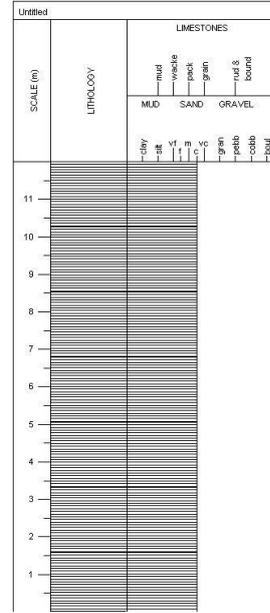


Figura A.2 Columna estratigráfica A7

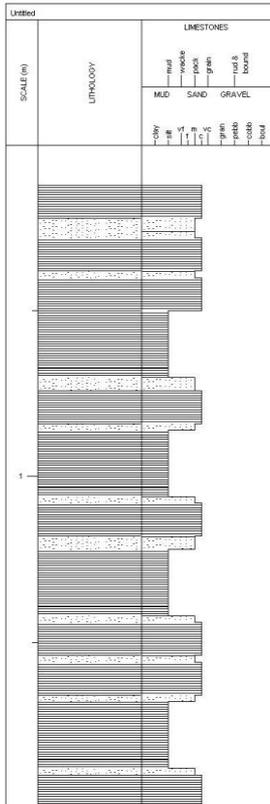


Figura A.3 Columna estratigráfica A8

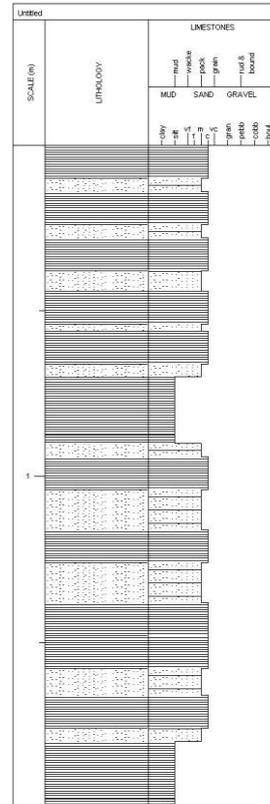


Figura A.4 Columna estratigráfica A9

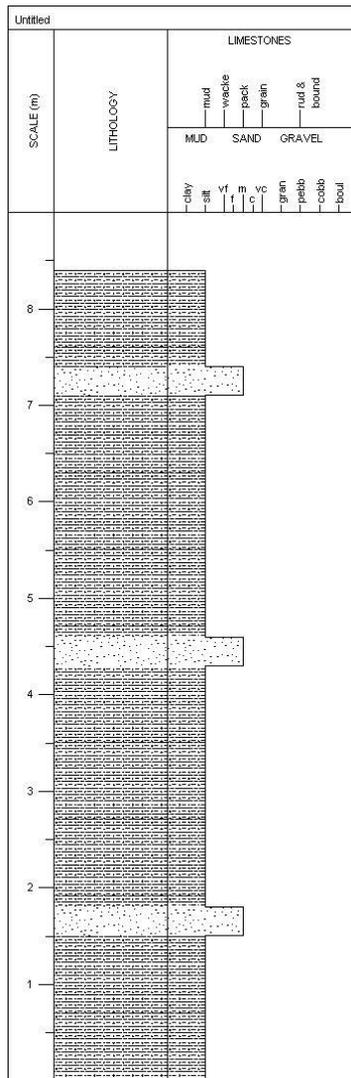


Figura A.5 Columna estratigráfica A10

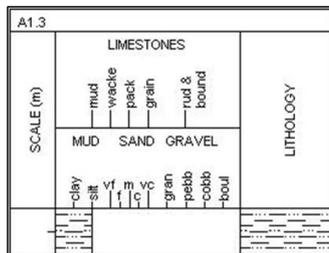


Figura A.8 Columna estratigráfica A18

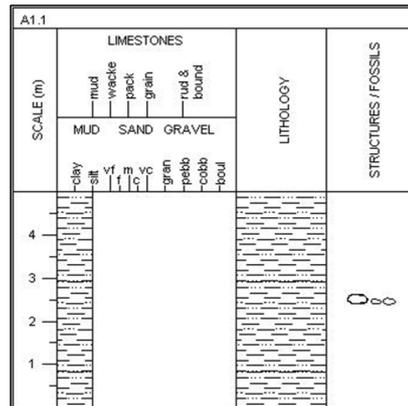


Figura A.6 Columna estratigráfica A15

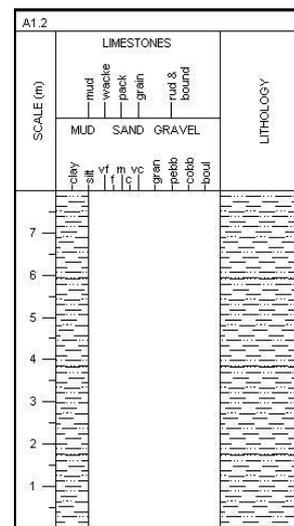


Figura A.7 Columna estratigráfica A16

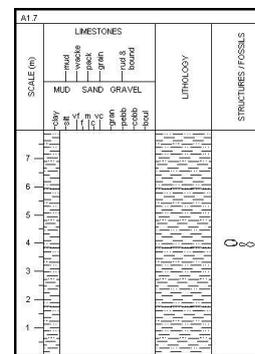


Figura A.9 Columna estratigráfica A21

## B. CARTOGRAFÍA

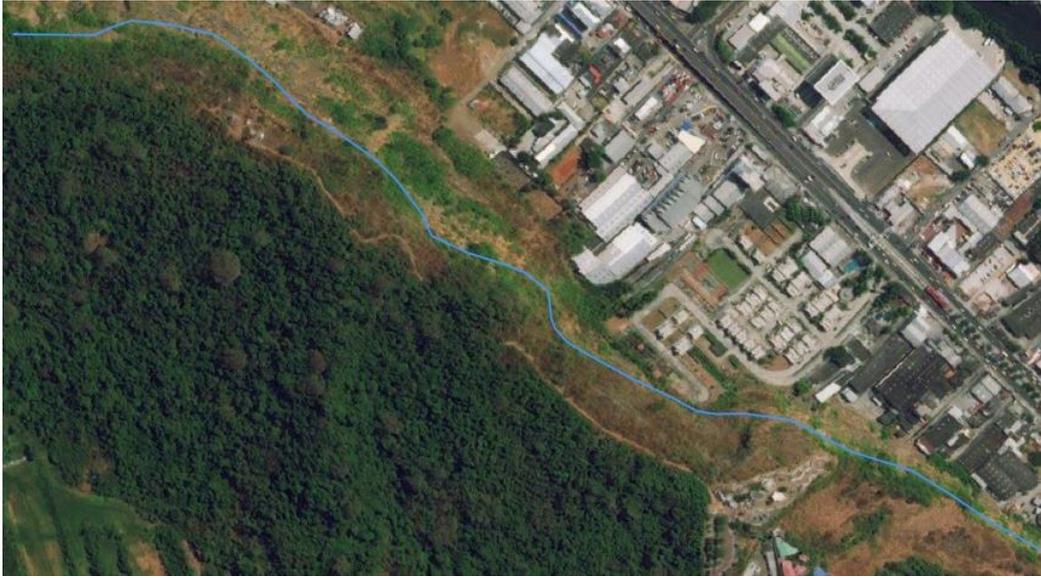


Figura B.1 Contacto estratigráfico propuesto satelitalmente entre Cayo y Guayaquil



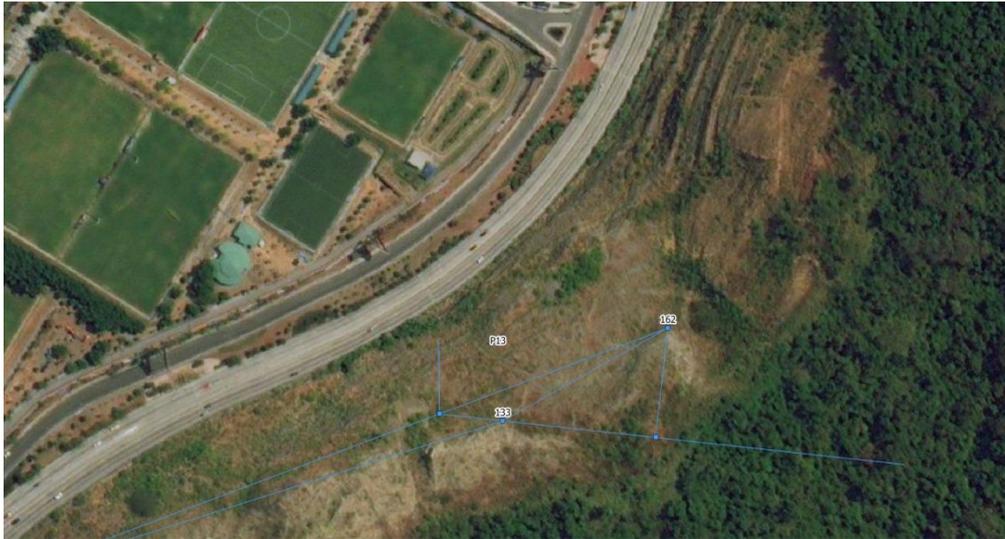
Figura B.2 Cálculo de 3 puntos para límite propuesto



Figura B.3 Proyección del contacto a partir de 3 puntos



Figura B.4 Similitud en contacto propuesto y contacto de la hoja geológica Guayaquil



**Figura B.5 Cálculo de 3 puntos en el centro del Área de estudio**



**Figura B.6 Falla propuesta**



**Figura B.7 No observación del contacto propuesto en Figura 3.56**

## **C. MAPAS**

Los mapas mostrados a continuación respetan el orden en el que se los menciona; al mapa de pendientes se lo ilustra bajo la identificación de:

**Figura C.1 Mapa de pendientes de los Cerros San Eduardo y Bellavista**

Al mapa geológico se lo ilustra bajo la identificación de:

**Figura C.2 Mapa geológico de los Cerros San Eduardo y Bellavista**

Al mapa geomorfológico se lo ilustra bajo la identificación de:

**Figura C.3 Mapa geomorfológico de los Cerros San Eduardo y Bellavista**

Al mapa tectónico se lo ilustra bajo la identificación de:

**Figura C.4 Mapa tectónico de los Cerros San Eduardo y Bellavista**

## BREVE DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

### Introducción

En este estudio se pretende elaborar la caracterización geológica de los cerros de San Eduardo y Bellavista por medio del análisis de imágenes satelitales e información disponible de la zona para la elaboración de mapas temáticos actualizados del área de estudio.

### Geología

El Ecuador es un país ubicado en el noroeste de Sudamérica el cual cuenta con una serie de características geodinámicas importantes las cuales ha sido resultado de los procesos tectónicos que han creado y modificado la corteza sobre la cual descansa, pues, el país se encuentra en un margen continental activo que destruye la placa de Nazca bajo la Sudamericana (James, 1971).

La Cordillera Chongón-Colonche, ubicada en el norte de la Península de Santa Elena, al oeste de Guayaquil, constituye un relieve sobresaliente en la Costa ecuatoriana. Esta cordillera homoclinal consta de 100km de extensión con alturas que llegan a los 500 m, esta quiebra de oeste a noroeste, en ángulo recto con el rumbo de la Cordillera de los Andes, la cual se encuentra a solo 80 km al este. (Feininger & Bristow, 1980).

### Cerro San Eduardo

El cerro San Eduardo se encuentra ubicado al oeste de Guayaquil, con coordenadas (618797, 9758486) (Escobar, 2019). Este cerro presenta una alineación aproximadamente N-S y que junto con el cerro Bellavista corresponde a la prolongación final de la Cordillera Chongón Colonche en el sur. En el Cerro San Eduardo, la Fm. Guayaquil está compuesta de estratos centimétricos y decimétricos de lutitas silicificadas, cherts, limolitas tobáceas, chert nodular bandeado, tobas, areniscas tobáceas y lutitas calcáreas, así como una serie de areniscas (Stalin Benitez, 1995). En este lugar, además se han realizado estudios bioestratigráficos, principalmente de la Fm. Guayaquil (Escobar, 2019).

### Fm. San Eduardo

Se trata de una roca caliza bien asentada con alto contenido fosilífero. Se describe que la roca recién fracturada emite un fuerte olor a hidrocarburos. Se pueden encontrar en algunas localidades lechos intercalados de lutitas silicificadas y masas lenticulares de sílex, especialmente en la parte baja. Las partes inferiores de San Eduardo contienen fragmentos angulares de pedernal los cuales tienen una proveniencia de los lechos más altos de la Formación Cayo subyacente (CANFIELD, 1966). En la península de Santa Elena, San Eduardo también consta con la presencia de (Feininger & Bristow, 1980). La formación se encuentra además constituida por turbiditas de naturaleza terrígena, con un incremento gradual de turbiditas calcáreas y lutitas silíceas (Ordóñez, 2007).

### Fm. Guayaquil

En esta formación se encuentran argilitas silicificadas, con la presencia de cherts en capas delgadas con coloración anteaada hasta negro, intercalaciones de argilitas tobáceas y tobas de coloración verdosa o gris oscura en estratificación bien definida. Localmente la roca se observa reemplazada completamente por sílice. Se pueden ver además la presencia de vetas de sílice, de cuarzo, calcedonia azul, casi opalescente y nódulos de pirita (C. Bristow & Hoffstetter, 1968).

### Fm. Cayo

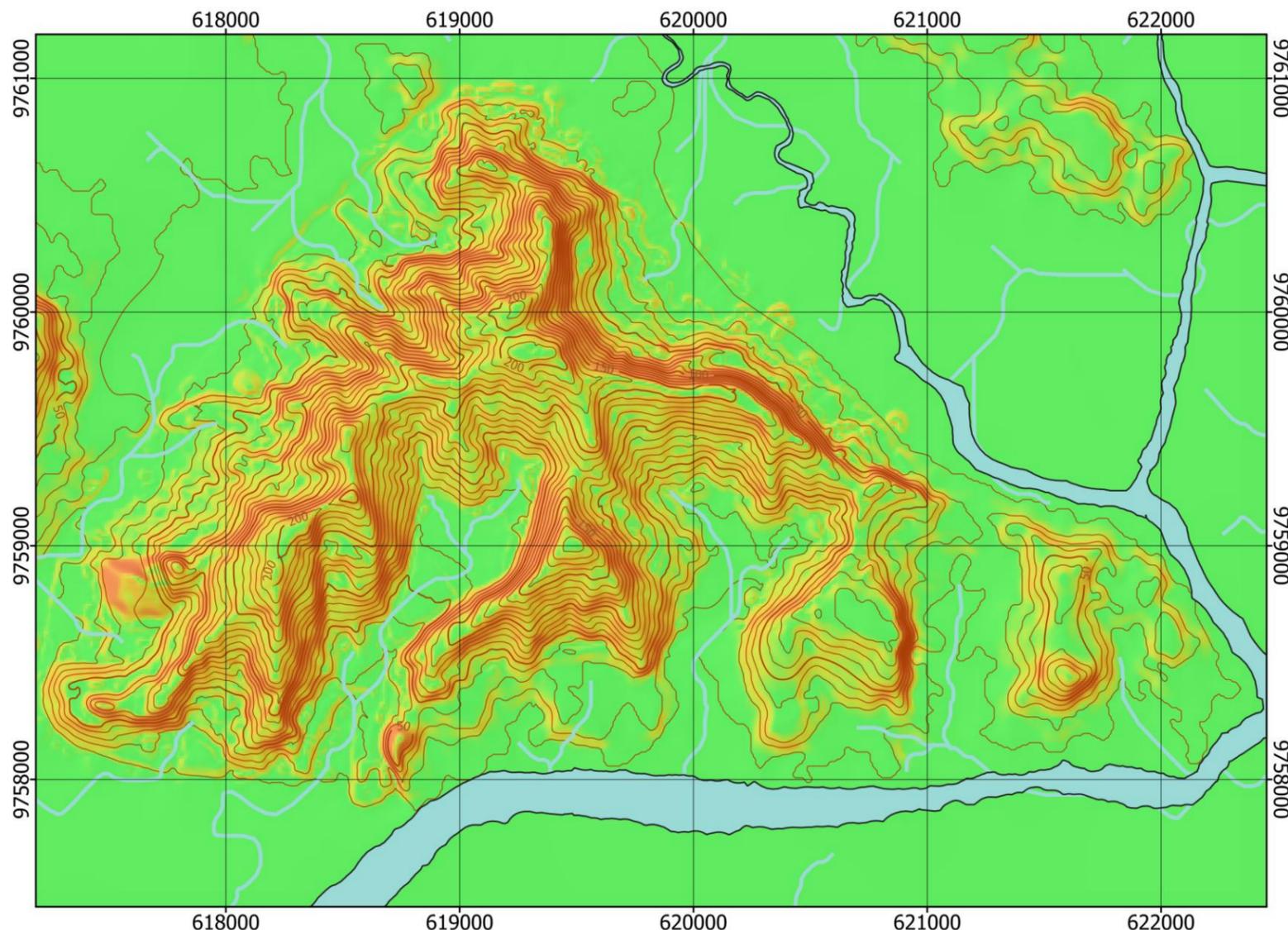
Se encuentra compuesta por una alternancia de brechas sedimentarias con bloques (con un diámetro de hasta 2m) los cuales se encuentran constituidos por andesitas, areniscas de grano fino y grueso de coloración verdosa frecuentemente grawáquicas y lutitas. (Duque, 2000)

## MAPA DE PENDIENTES DE LOS CERROS SAN EDUARDO Y BELLAVISTA

ECUADOR 1:25000

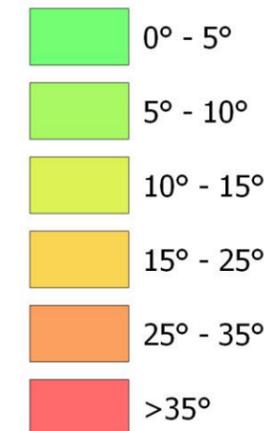
(GUAYAQUIL)

EDICIÓN 1

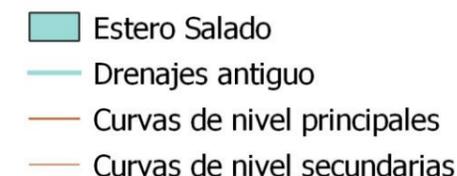


### LEYENDA

#### Pendientes



### SÍMBOLOS CONVENCIONALES



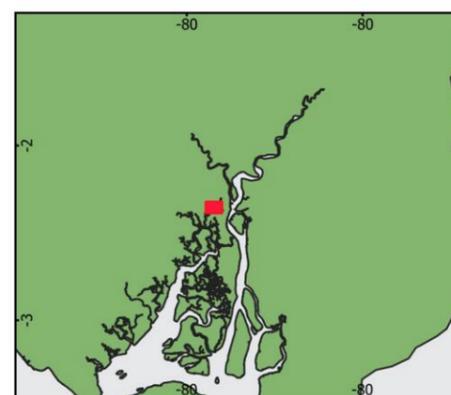
ESCALA 1:25 000



### DIAGRAMA DE UBICACIÓN REGIONAL



### DIAGRAMA DE UBICACIÓN LOCAL



Mapa basado en curvas de nivel 1m obtenidas con dron  
Proyección Universal Transverse Mercator Zona 17 Sur  
Elipsoide Westmorland Geological Society 1984

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**MAPA DE PENDIENTES DE LOS CERROS SAN EDUARDO Y BELLAVISTA**

AÑO 2020

Creado por Juan Arévalo Ochoa  
Revisado por Dr. Eddy Sanclemente y Msc. David Altamirano

espol

FICT  
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

### BREVE DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

El Ecuador es un país ubicado en el noroeste de Sudamérica el cual cuenta con una serie de características geodinámicas importantes las cuales han sido resultado de los procesos tectónicos que han creado y modificado la corteza sobre la cual descansa, pues, el país se encuentra en un margen continental activo que destruye la placa de Nazca bajo la Sudamericana (James, 1971).

La Cordillera Chongón-Colonche, ubicada en el norte de la Península de Santa Elena, al oeste de Guayaquil, constituye un relieve sobresaliente en la Costa ecuatoriana. Esta cordillera homoclinal consta de 100km de extensión con alturas que llegan a los 500 m, esta quiebra de oeste a noroeste, en ángulo recto con el rumbo de la Cordillera de los Andes, la cual se encuentra a solo 80 km al este. (Feininger & Bristow, 1980).

#### Cerro San Eduardo

El cerro San Eduardo se encuentra ubicado al oeste de Guayaquil, con coordenadas (618797, 9758486) (Escobar, 2019). Este cerro presenta una alineación aproximadamente N-S y que junto con el cerro Bellavista corresponde a la prolongación final de la Cordillera Chongón Colonche en el sur. En el Cerro San Eduardo, la Fm. Guayaquil está compuesta de estratos centimétricos y decimétricos de lutitas silicificadas, cherts, limolitas tobáceas, chert nodular bandeado, tobas, areniscas tobáceas y lutitas calcáreas, así como una serie de areniscas (Stalin Benitez, 1995). En este lugar, además se han realizado estudios bioestratigráficos, principalmente de la Fm. Guayaquil (Escobar, 2019).

#### Fm. San Eduardo

Se trata de una roca caliza bien asentada con alto contenido fosilífero. Se describe que la roca recién fracturada emite un fuerte olor a hidrocarburos. Se pueden encontrar en algunas localidades lechos intercalados de lutitas silicificadas y masas lenticulares de sílex, especialmente en la parte baja. Las partes inferiores de San Eduardo contienen fragmentos angulares de pedernal los cuales tienen una proveniencia de los lechos más altos de la Formación Cayo subyacente (CANFIELD, 1966). En la península de Santa Elena, San Eduardo también consta con la presencia de (Feininger & Bristow, 1980). La formación se encuentra además constituida por turbiditas de naturaleza terrígena, con un incremento gradual de turbiditas calcáreas y lutitas silíceas (Ordóñez, 2007).

#### Fm. Guayaquil

En esta formación se encuentran argilitas silicificadas, con la presencia de cherts en capas delgadas con coloración anteaada hasta negra, intercalaciones de argilitas tobáceas y tobas de coloración verdosa o gris oscura en estratificación bien definida. Localmente la roca se observa reemplazada completamente por sílice. Se pueden ver además la presencia de vetas de sílice, de cuarzo, calcedonia azul, casi opalescente y nódulos de pirita (C. Bristow & Hoffstetter, 1968).

#### Fm. Cayo

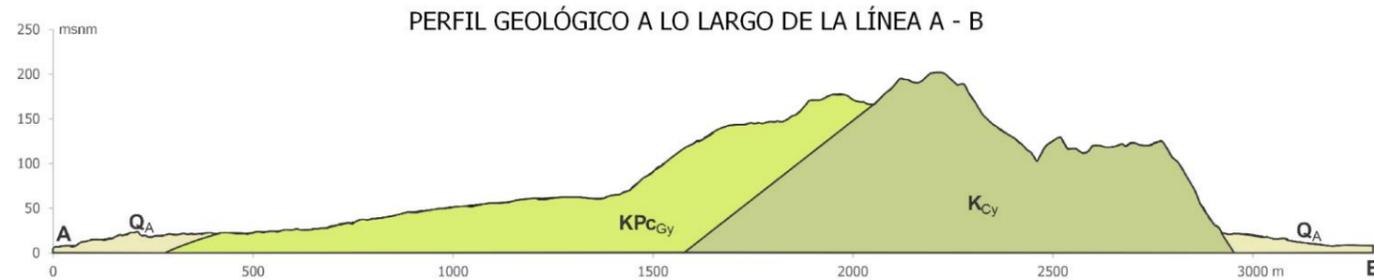
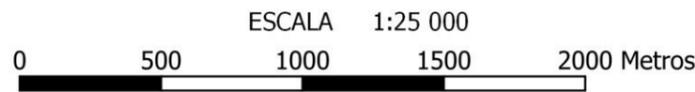
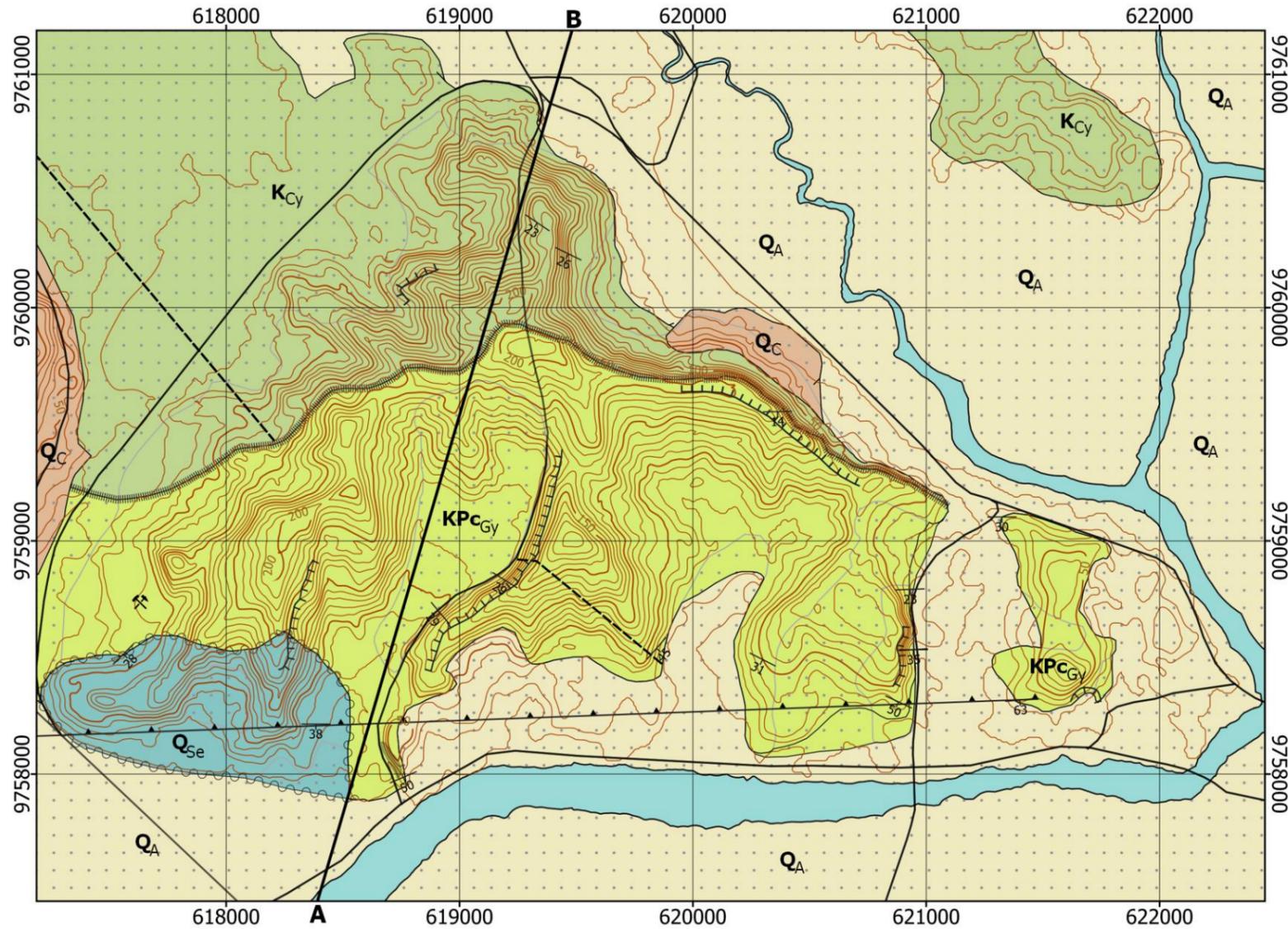
Se encuentra compuesta por una alternancia de brechas sedimentarias con bloques (con un diámetro de hasta 2m) los cuales se encuentran constituidos por andesitas, areniscas de grano fino y grueso de coloración verdosa frecuentemente graváquicas y lutitas. (Duque, 2000)

#### Geología económica

Las rocas ígneas de la Fm. Piñón y sedimentos de la Fm. Cayo se las usa como lastre y ripio, además de su uso para la construcción de carreteras; rocas como la diorita de Pascuales se las puede utilizar como roca ornamental, a oeste de Pascuales se encuentran concentraciones de baritina, lugar en donde, además, existen indicios de otros minerales de hierro y a las calizas de la formación San Eduardo se las utiliza en grandes volúmenes para la elaboración de cementos. (United Nations Development Programme, 1969)

## MAPA DE GEOLÓGICO DE LOS CERROS SAN EDUARDO Y BELLAVISTA

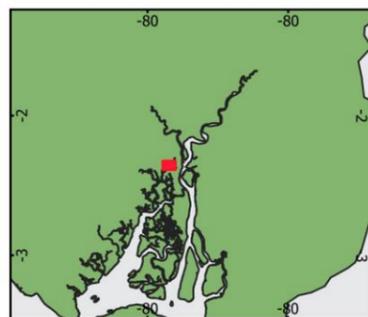
ECUADOR 1:25000 (GUAYAQUIL) EDICIÓN 1



#### DIAGRAMA DE UBICACIÓN REGIONAL



#### DIAGRAMA DE UBICACIÓN LOCAL



#### SÍMBOLOS CONVENCIONALES

- Curva de nivel principal
- Curva de nivel secundaria
- Zonas pobladas
- Estero Salado

#### LEYENDA

- |  |  |             |               |             |          |             |  |                                  |             |             |                      |  |  |
|--|--|-------------|---------------|-------------|----------|-------------|--|----------------------------------|-------------|-------------|----------------------|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 15px; background-color: #f0e68c; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> <b>QA</b> Depósito Aluvial<br/>Rodados de rocas sedimentarias en matriz limosa.</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 15px; background-color: #e69a00; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> <b>QC</b> Depósito Coluvial<br/>Fragmentos angulosos de gravas y limos</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 15px; background-color: #46b8d0; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> <b>ESe</b> Fm. San Eduardo<br/>Calizas y lutitas</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 15px; background-color: #90ee90; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> <b>KPCGy</b> Fm. Guayaquil<br/>Lutitas silíceas</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 15px; background-color: #90ee90; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> <b>KCy</b> Fm. Cayo<br/>Grauvacas y lutitas</li> </ul> | <table border="0"> <tr> <td style="font-size: small;">] Holoceno</td> <td style="font-size: small;">] Cuaternario</td> <td style="font-size: small;">] Cenozoico</td> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">] Eoceno</td> <td style="font-size: small;">] Paleogeno</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">] Cretácico Superior - Paleoceno</td> <td style="font-size: small;">] Cretácico</td> <td style="font-size: small;">] Mesozoico</td> </tr> <tr> <td style="font-size: small;">] Cretácico Superior</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | ] Holoceno  | ] Cuaternario | ] Cenozoico | ] Eoceno | ] Paleogeno |  | ] Cretácico Superior - Paleoceno | ] Cretácico | ] Mesozoico | ] Cretácico Superior |  |  |
| ] Holoceno   | ] Cuaternario  | ] Cenozoico |               |             |          |             |  |                                  |             |             |                      |  |  |
| ] Eoceno   | ] Paleogeno  |             |               |             |          |             |  |                                  |             |             |                      |  |  |
| ] Cretácico Superior - Paleoceno   | ] Cretácico  | ] Mesozoico |               |             |          |             |  |                                  |             |             |                      |  |  |
| ] Cretácico Superior   |  |             |               |             |          |             |  |                                  |             |             |                      |  |  |

#### SÍMBOLOS GEOLÓGICOS

- Desprendimiento de Rocas
- Rumbos y Buzamientos
- Escarpe
- Carreteras
- Cantera
- Falla Inferida
- Falla Inversa
- Contacto
- Contacto gradacional
- Contacto discordante

Mapa basado en la hoja geológica de Guayaquil 1:100 000

Proyección Universal Transverse Mercator Zona 17 Sur  
Elipsoide Westmorland Geological Society 1984

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

## MAPA DE GEOLÓGICO DE LOS CERROS SAN EDUARDO Y BELLAVISTA

AÑO 2020

Creado por Juan Arévalo Ochoa  
Revisado por Dr. Eddy Sanclemente y Msc. David Altamirano

**BREVE DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA**

**Geología**

El Ecuador es un país ubicado en el noroeste de Sudamérica el cual cuenta con una serie de características geodinámicas importantes las cuales ha sido resultado de los procesos tectónicos que han creado y modificado la corteza sobre la cual descansa, pues, el país se encuentra en un margen continental activo que destruye la placa de Nazca bajo la Sudamericana (James, 1971).

La Cordillera Chongón-Colonche, ubicada en el norte de la Península de Santa Elena, al oeste de Guayaquil, constituye un relieve sobresaliente en la Costa ecuatoriana. Esta cordillera homoclinal consta de 100km de extensión con alturas que llegan a los 500 m, esta quiebra de oeste a noroeste, en ángulo recto con el rumbo de la Cordillera de los Andes, la cual se encuentra a solo 80 km al este. (Feininger & Bristow, 1980).

**Movimientos de masa**

Son procesos en los que se movilizan materiales por la acción de la gravedad y pueden ser peligrosos o incluso desastrosos cuando afectan a la vida y propiedades del hombre. Son fuente de inquietud para los ingenieros geotécnicos e ingenieros geólogos (Bromhead, 1986). Entre los principales movimientos de masa se tienen a las caídas de rocas, deslizamientos rotacionales, avalanchas de detritos y los flujos de detritos.

**Caídas de rocas**

Se definen como una masa generalmente de rocas que se desprende de un talud abrupto (cantil, desmonte), mediante una superficie de corte normalmente pequeña (Ayala et al., 1987)

**Deslizamientos**

Un deslizamiento es un movimiento de ladera de una masa de suelo o roca que tiene lugar fundamentalmente sobre superficies de rotura o sobre estrechas zonas de intensa deformación por cizallamiento (Cruden y Vames, 1996).

**Cantera**

Una cantera es una zona de explotación minera de donde se extraen rocas industriales, ornamentales y otras. Estas generalmente son explotaciones a pequeña escala, aunque el conjunto de todas ellas representaría el mayor volumen de extracción mineral a nivel mundial.

**Colina**

Una colina es un pedazo de tierra que se eleva más alto que todo lo que lo rodea. Parece un pequeño bulto en la Tierra. Dado que son más altos que todo lo que los rodea (National Geographic, 2020)

**Escarpe**

Un escarpe es una pendiente pronunciada o un acantilado largo que se forma como resultado de fallas o erosión y separa dos áreas relativamente niveladas que tienen diferentes elevaciones (Easterbrook, 1999).

**Ladera**

La superficie inclinada de una colina, en lugar de la superficie nivelada en la parte superior de la misma.

**Llanura aluvial**

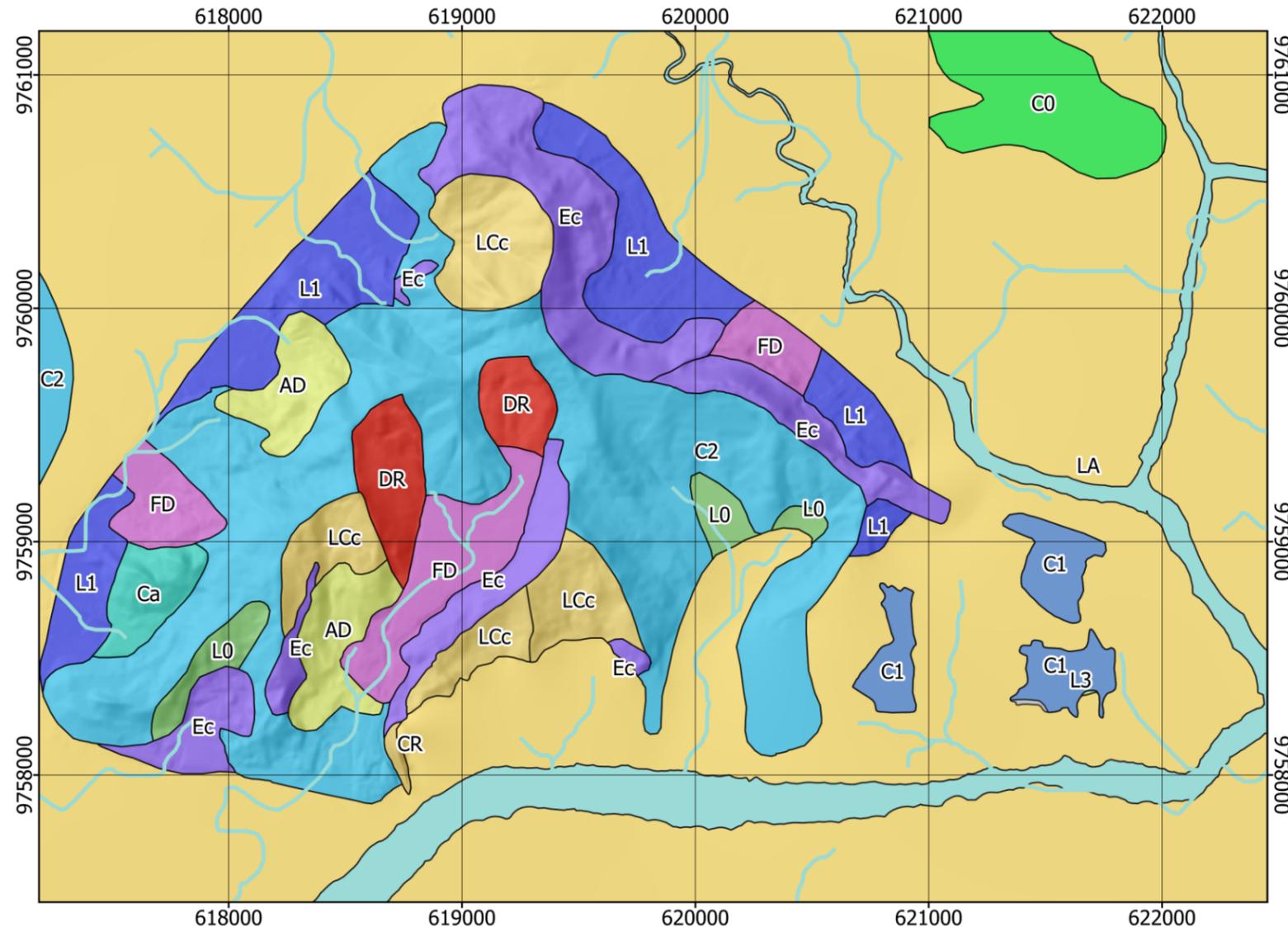
Una llanura aluvial es una forma de relieve en gran parte plana creada por la deposición de sedimentos durante un largo período de tiempo por uno o más ríos procedentes de las regiones montañosas, a partir de los cuales se forma el suelo aluvial.

**MAPA DE GEOMORFOLÓGICO DE LOS CERROS SAN EDUARDO Y BELLAVISTA**

ECUADOR 1:25000

(GUAYAQUIL)

EDICIÓN 1



**LEYENDA**

- AD Avalancha de detritos
- CR Caída de rocas
- Ca Cantera
- C1 Colinas bajas
- C2 Colinas medias
- C0 Colinas muy bajas
- DR Deslizamiento rotacional
- Ec Escarpe
- FD Flujo de detritos
- L0 Ladera planar
- L3 Laderas altas
- L1 Laderas bajas
- LA Llanura aluvial
- LCc Ladera cóncava

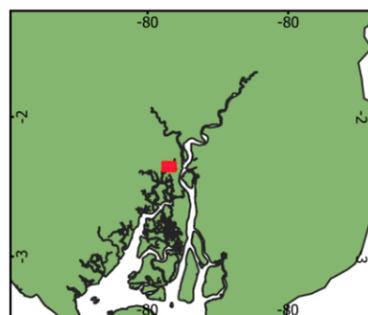
ESCALA 1:25 000



**DIAGRAMA DE UBICACIÓN REGIONAL**



**DIAGRAMA DE UBICACIÓN LOCAL**



**SÍMBOLOS CONVENCIONALES**

- Drenajes
- Estero Salado

Mapa basado curvas de nivel 1m obtenidas con dron e imágenes satelitales de Bing  
Proyección Universal Transverse Mercator Zona 17 Sur  
Elipsoide Westmorland Geological Society 1984

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**MAPA DE GEOMORFOLÓGICO DE LOS CERROS SAN EDUARDO Y BELLAVISTA**

AÑO 2020

Creado por Juan Arévalo Ochoa  
Revisado por Dr. Eddy Sanclemente y Msc. David Altamirano

**BREVE DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA Y TECTÓNICA**

**Marco geodinámico**

El Ecuador es un país ubicado en el noroeste de Sudamérica el cual cuenta con una serie de características geodinámicas importantes las cuales ha sido resultado de los procesos tectónicos que han creado y modificado la corteza sobre la cual descansa, pues, el país se encuentra en un margen continental activo que destruye la placa de Nazca bajo la Sudamericana (James, 1971).

El Ecuador se divide en zonas tectono-estratigráficas que se ubican de forma paralela a la disposición de la cordillera de los Andes del norte (ver Figura 1.2). La región Costa y la Cordillera Occidental son parte de los diversos terrenos oceánicos acumulados, separados entre sí por sistemas de fallas del Cretácico. (Alvarado et al., 2016)

Al norte del Golfo de Guayaquil, se ha identificado una gran franja (North Andean Sliver, NAS) (Ver Figura 1.1) que comprende a los Andes y su margen oeste desde el Ecuador hasta Venezuela (White et al., 2003). La costa ecuatoriana se presenta estructuras con rumbo NO-SE (Misión Británica & Dirección General de Geología y Minas, 1975) y, una tectónica de bloques fallados, de donde destacan 2 bloques levantados: el bloque Azúcar-Playas y la Cordillera Chongón Colonche (Nuñez & Dugas, 1986). Mediciones de GPS han permitido definir el límite este de NAS en Ecuador: el cual incluye el Golfo de Guayaquil, corta oblicuamente la Cordillera de los Andes y luego se ubica a lo largo del frente oriental de la Cordillera Oriental. (Nocquet et al., 2014).

**Marco geológico regional**

La Región Costa o Región Litoral del Ecuador integra una franja con disposición N-S de tierra de más de 500 km de largo y de aproximadamente 25 a 200 km de ancho, misma que se encuentra ubicada entre la Cordillera de los Andes y la línea de costa del Pacífico (ver Figura 1.2). Una buena parte de la región Costa es parcialmente plana con una altura menor a 100m de relieve local, pero con algunos lugares en donde se pueden encontrar cadenas de cerros de más de 300 m de altura (Feininger & Bristow, 1980) como es el caso de los cerros que conforman la Cordillera Chongón Colonche.

**Cordillera Chongón Colonche**

La Cordillera Chongón-Colonche, ubicada en el norte de la Península de Santa Elena, al oeste de Guayaquil (ver Figura 1.2), constituye un relieve sobresaliente en la Costa ecuatoriana. Esta cordillera homoclinal consta de 100km de extensión con alturas que llegan a los 500 m, esta quiebra de oeste a noroeste, en ángulo recto con el rumbo de la Cordillera de los Andes, la cual se encuentra a solo 80 km al este. (Feininger & Bristow, 1980)

Según (Nuñez, 2003) Las rocas ígneas que afloran en la Cordillera de Chongón-Colonche, son de variados tipos y en su publicación, las agrupa dentro de la siguientes denominaciones: Rocas volcánicas (Formación Piñón, andesitas y dacitas, basaltos terciarios) y rocas plutónicas (dioritas y gabros).

**Cerro San Eduardo**

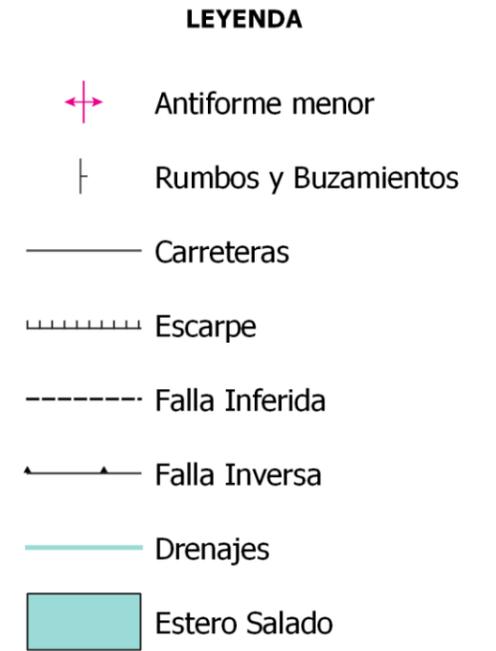
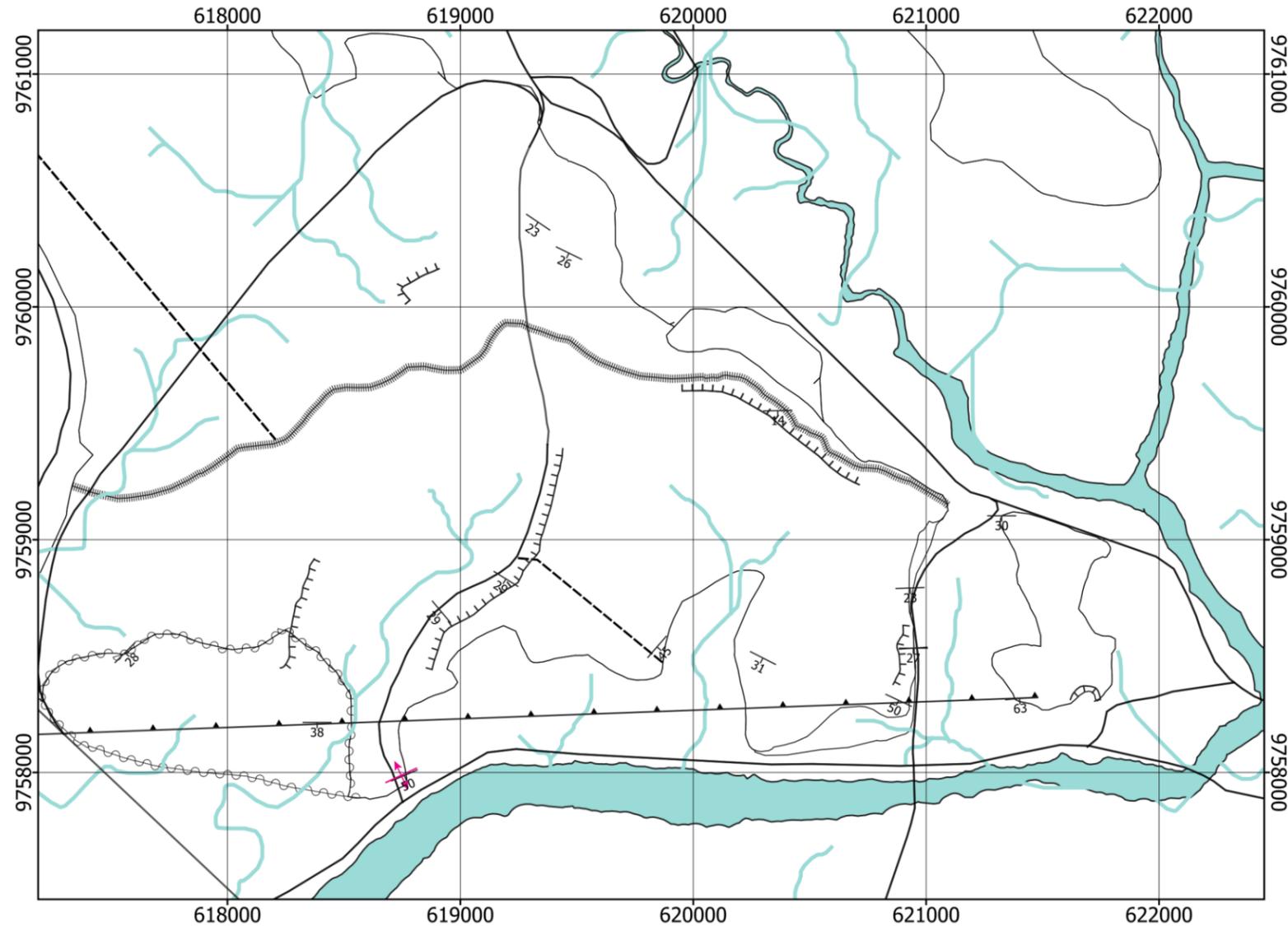
El cerro San Eduardo se encuentra ubicado al oeste de Guayaquil, con coordenadas (618797, 9758486) (ver Figura 1.3) (Escobar, 2019). Este cerro presenta una alineación aproximadamente N-S y que junto con el cerro Bellavista corresponde a la prolongación final de la Cordillera Chongón Colonche en el sur. En el Cerro San Eduardo, la Fm. Guayaquil está compuesta de estratos centimétricos y decimétricos de lutitas silicificadas, cherts, limolitas tobáceas, chert nodular bandeado, tobas, areniscas tobáceas y lutitas calcáreas, así como una serie de areniscas (Stalin Benitez, 1995). En este lugar, además se han realizado estudios bioestratigráficos, principalmente de la Fm. Guayaquil (Escobar, 2019).

**MAPA DE TECTÓNICO DE LOS CERROS SAN EDUARDO Y BELLAVISTA**

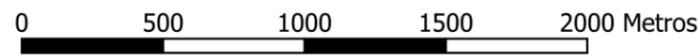
ECUADOR 1:25000

(GUAYAQUIL)

EDICIÓN 1



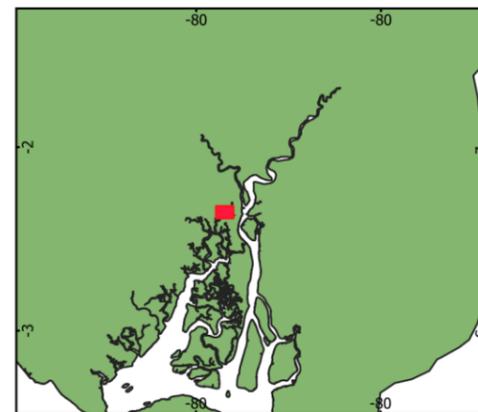
ESCALA 1:25 000



**DIAGRAMA DE UBICACIÓN REGIONAL**



**DIAGRAMA DE UBICACIÓN LOCAL**



Proyección Universal Transverse Mercator Zona 17 Sur  
Elipsoide Westmorland Geological Society 1984

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**MAPA TECTÓNICO DE LOS CERROS SAN EDUARDO Y BELLAVISTA**

AÑO 2020

Creado por Juan Arévalo Ochoa  
Revisado por Dr. Eddy Sanclemente y Msc. David Altamirano

