

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Prospección geológica de arcillas industriales en el cantón Isidro Ayora
provincia del Guayas

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniera Geóloga

Presentado por:

Inés del Cisne Castillo Sánchez

Guayaquil - Ecuador

PAO II 2023

Dedicatoria

Este proyecto se lo dedico a MSc. David Altamirano y MSc. Mónica López, quién con sus conocimientos supieron dirigirme y ayudarme en el desarrollo del trabajo.

Gracias a ESPOL, por haberme acogido como parte de su familia y a todos los docentes que me brindaron sus conocimientos y ayuda a lo largo de la carrera.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por todas las oportunidades, fracasos, logros y aprendizaje que adquirí durante el lapso que duró mi carrera.

Además, gracias, hijo mío por haber sido mi inspiración y fortaleza, porque cuando quise rendirme, con tu presencia y compañía sentía que lo podía todo, y en serio que no fue nada fácil. Gracias, padres míos, porque son mi mayor apoyo y están siempre que los necesito.

Sin olvidar gracias, CP porque con tus palabras entendí que había escogido la mejor carrera para mí vida.

Declaración Expresa

Yo, Inés del Cisne Castillo Sánchez acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra autorizada a sublicenciar incluyendo la autorización para su divulgación, y para crear y usar obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mi persona durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba para la explotación de mi innovación de ser el caso.

En los casos que la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL, comunique al autor que existe una innovación patente sobre los resultados del proyecto de graduación, no se harán publicaciones ni revelaciones, sin autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 22 de febrero del 2024.



Inés del Cisne Castillo Sánchez

Evaluadores

MSc. David Altamirano

Profesor de Materia

MSc. David Altamirano

Tutor de proyecto

Resumen

El presente trabajo integrador, pretende brindar información técnica de áreas que contienen arcilla industrial en el cantón Isidro Ayora provincia del Guayas. Mediante la evaluación de las formaciones geológicas existentes en este cantón usando técnicas de prospección geológica, acompañado de una caracterización de muestras de arcilla obtenidas en campo, se pretendió satisfacer la necesidad del conocimiento de la ubicación exacta y el tipo de arcillas industriales que se pueden encontrar en la zona.

En primer lugar, se realizó la búsqueda de información a través de revisión bibliográfica del área de estudio, identificando la composición de las formaciones geológicas existentes. Luego se, usó técnicas de teledetección para analizar el área de interés empleando imágenes satelitales Landsat 7. Seguido a esto, se diseñó un plan de muestreo con los lugares de interés, a fin de visitar las zonas seleccionadas (prospección in situ), acompañada de muestreo, donde dichas muestras se analizaron en el laboratorio de suelos de ESPOL. Finalmente se diseñó el mapa de ocurrencia de arcillas en el cantón Isidro Ayora.

Según el análisis de límites de Atterberg, en Isidro ayora encontramos arcillas inorgánicas de plasticidad media (caolinita) y de alta plasticidad (caolín plástico).

Palabras Clave: Prospección geológica, arcillas industriales, formaciones geológicas, imágenes satelitales, Límites de Atterberg.

Abstract

This integrative work aims to provide technical information on areas that contain industrial clay in the Isidro Ayora canton, province of Guayas. By evaluating the existing geological formations in this canton using geological prospecting techniques, accompanied by a characterization of clay samples obtained in the field, we sought to satisfy the need to know the exact location and type of industrial clays that can be found in the zone.

Firstly, the search for information was conducted through a bibliographic review of the study area, identifying the composition of the existing geological formations. Then, we used remote sensing techniques to analyze the area of interest using images from the Landsat 7 satellite. Subsequently, a sampling plan was designed with the places of interest, to visit the selected areas (in situ prospecting), accompanied by sampling, where said Samples were analyzed in the ESPOL soil laboratory. Finally, the map of clay occurrence in the Isidro Ayora canton was designed.

According to Atterberg limit analysis, in Isidro Ayora we found inorganic clays of medium plasticity (kaolinite) and high plasticity (plastic kaolin).

Keywords: Geological prospecting, industrial clays, geological formations, satellite images, Atterberg Limits.

Índice general

Resumen	VI
Abstract.....	VII
Abreviaturas.....	XI
Simbología.....	XII
Índice de figuras.....	XIII
Índice de tablas	XIV
Capítulo 1	1
1 Introducción	1
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Justificación del problema.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Ubicación	5
1.5 Aspectos Sociales.....	5
1.6 Aspectos Económicos	7
1.7 Clima.....	8
Capítulo 2	10
2 Marco teórico	11

2.1	Geodinámica regional	11
2.2	Geología local	12
2.3	Arcillas de importancia industrial	18
2.3.1	Arcillas división 1:1	19
2.3.2	Arcillas división 2:1	19
Capítulo 3		23
3	Datos y Metodología	24
3.1	Fase 1: Recopilación Bibliográfica y uso de SIG	26
3.1.1	Sensores remotos	26
3.1.2	Procesamiento	28
3.1.3	Elaboración Cartográfica	30
3.1.4	Integración y correlación	31
3.2	Fase 2: Recopilación de muestras en campo	31
3.3	Fase 3: Análisis físicos de las muestras en laboratorio	32
3.3.1	Granulometría por lavado	32
3.3.2	Límites de Atterberg	33
Capítulo 4		38
4	Resultados y análisis	39
4.1	Procesamiento	39
4.1.1	Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).....	39
4.1.2	Profundidad de banda de absorción relativa (RBD).....	41
4.2	Integración y correlación.....	43

4.3	Recopilación de muestras en campo.....	45
4.4	Análisis físicos de las muestras en laboratorio	45
4.4.1	Granulometría.....	45
4.4.2	Límites de Atterberg.....	47
4.5	Mapa de ocurrencia de arcillas	49
Capítulo 5	50
5	Resultados y análisis	51
5.1	Conclusiones.....	51
5.2	Recomendaciones.....	52
Referencias	54
Anexos	61

Abreviaturas

ASTM-D4318	Método estándar de ensayos para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelo
CPV	Censo de Población de Vivienda
DRX	Difracción Rayos X
E	Este
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
IP	Índice de plasticidad
LL	Límite líquido
LP	Límite plástico
Msnm	Metros sobre el nivel del mar
N	Norte
NBI	Necesidades Básicas Insatisfechas
NDVI	Índice de Vegetación Diferencial Normalizado
PEA	Población Económicamente Activa
RBD	Profundidad de banda de absorción relativa
UPC	Unidad de Policía Comunitaria
USGS	Servicio Geológico de los Estados Unidos

Simbología

Al	Aluminio
cm	Centímetro
° C	Grados Celsius
Fe	Hierro
Fm	Formación
gr	Gramos
ha	Hectáreas
km²	Kilómetros cuadrados
Ma	Millones de años
Mg	Magnesio
m	Metro
mm	Milímetros
nm	Nanómetro
N.º	Número
µm	Micra
%	Porcentaje
Al₂Si₂O₅(OH)₄	Silicato de aluminio hidratado
θ	Teta

Índice de figuras

Figura 1.1 <i>Mapa de ubicación del cantón Isidro Ayora en relación con sus límites</i>	5
Figura 1.2 <i>Porcentaje de autoidentificación étnica obtenida por NBI.</i>	7
Figura 2.1 <i>Movimiento de las placas tectónicas en Ecuador</i>	12
Figura 2.2 <i>Estructura de las arcillas</i>	22
Figura 3.1 <i>Esquema de la metodología general</i>	25
Figura 3.2 <i>Firmas espectrales de algunas rocas en la superficie terrestre.</i>	29
Figura 3.3 <i>Comparación de las bandas de Landsat 7 y 8, Sentinel-2 y ASTER</i>	29
Figura 3.4 <i>Proceso de granulometría</i>	33
Figura 3.5 <i>Identificaciones de arcillas usando el límite plástico y el índice de plasticidad.</i>	34
Figura 3.6 <i>Proceso de análisis de límites de Atterberg.</i>	37
Figura 4.1 <i>Mapa del índice de vegetación de diferencia normalizada del cantón Isidro Ayora.</i>	40
Figura 4.2 <i>Cantón Isidro Ayora con su índice de arcillas, presentado en 6 partes a escala 1:50000</i>	42
Figura 4.3 <i>Mapa integrado, que contiene el relieve, los ríos, las vías, la geología y el índice de arcillas del cantón Isidro Ayora.</i>	44
Figura 4.4 <i>Carta de plasticidad de Casagrande</i>	47
Figura 4.5 <i>Identificación de arcillas usando el límite plástico y el índice de plasticidad</i>	48
Figura 4.6 <i>Mapa de ocurrencias de arcillas industriales en el cantón Isidro Ayora, provincia del Guayas.</i>	49

Índice de tablas

Tabla 1.1 <i>Población ocupada por rama de actividad</i>	7
Tabla 3.1 <i>Características de la escena satelital Landsat 7</i>	26
Tabla 3.2 <i>RBD probados para las bandas Sentinel 7 SWIR, en base al RBD en VNIR-SWIR ASTER</i>	30
Tabla 3.3 <i>Relación de plasticidad de arcilla con su proporción</i>	32
Tabla 3.4 <i>Rango de los números de golpes para llevar a cabo el análisis</i>	36
Tabla 4.1 <i>Estaciones muestreadas al ir a campo</i>	45
Tabla 4.2 <i>Datos obtenidos de IA-IC-005, durante el proceso de granulometría de lavado en el laboratorio</i>	46
Tabla 4.3 <i>Resultados de las 8 muestras luego de haber realizado granulometría por lavado</i>	46
Tabla 4.4 <i>Resultados obtenidos de haber realizado el análisis de límites de Atterberg</i>	47

Capítulo 1

1 Introducción

La arcilla es material de grano fino ($< 2\mu\text{m}$), con propiedades de plasticidad y un porcentaje apropiado de agua que se endurece al secarse (Akisanmi, 2022). Su estructura básica pertenece al grupo de los filosilicatos y químicamente son aluminosilicatos hidratados cristalinos (Tan et al., 2021). Es considerada como una de las sustancias minerales más antiguas, su uso fue esencial en las civilizaciones antepasadas como, por ejemplo: Estructuras de ladrillo, monumentos, cerámicas y escritos en tablillas de arcilla (Akisanmi, 2022).

El conocimiento de la arcilla inició lentamente en el siglo XVIII - XIX acompañado del desarrollo del microscopio petrográfico. En 1920 se consideró como coloide, Hadding, en 1923 en Suecia y Rinne en 1924 en Alemania publicaron los primeros análisis de difracción rayos X (DRX) en arcillas. De ahí que, su nombre proviene del latín “*argilla*” y ésta del griego “*argos*” o “*argilos*” (blanco), debido al color usado en cerámica (Besoain, 1985).

Desde el paleolítico superior hasta la actualidad, los seres humanos han utilizado arcillas industriales como caolines, bentonitas, sepiolitas, arcillas comunes y lutitas en diversas industrias como: alfareras, farmacéuticas, cosméticas, petrolíferas, agricultura, de procesos (cerámica), remediación ambiental, ingeniería, construcción, etc., (Christidis, 2013).

Al redirigirnos el estudio de las arcillas en Ecuador, algunos depósitos arcillosos se han determinado usando información básica de la zona; como el número de industrias involucradas en el sector, materia prima utilizada y los productos elaborados. Además, se determinó que el mayor porcentaje se ubica en las provincias del Azuay (37%) y Pichincha (21%), seguido por la provincia de Guayas (13%) y los productores más pequeños incluyen las provincias de Loja (10%), Chimborazo y Cañar (5%), Manabí, Tungurahua e Imbabura (3%) (Jordán et al., 2014).

Ecuador produce, tejas, ladrillos, bloques de arcilla, revestimientos y pisos, porcelanato sanitario y porcelanato, usando arcillas cerámicas del Guayas; además, tiene arcillas provenientes de Samborondón, Marcabelí y San Roque-Piñas, destinadas a aplicaciones industriales. Finalmente, para la fabricación de artesanías usa cerámicas tradicionales provenientes de planicies cercanas a profundidades de 25 a 30 cm (materiales cuaternarios depositados durante diferentes episodios por el río Guayas) (Jordán et al., 2014).

La materia prima de la cerámica tradicional en el Ecuador es arcilla con niveles aproximados de sílice al 60%, lumina 15%, bajos niveles de álcalis y carbonatos y altos niveles de hierro (Jordán et al., 2014).

Existe información recopilada de fábricas de ladrillos seleccionadas al azar de la Costa, Sierra y Amazonía. En la región costera fueron Guayas, Manabí y El Oro; en la región Andina Pichincha, Chimborazo, Cotopaxi, Tungurahua, Cañar, Azuay y Loja; y en la región Amazónica de Morona Santiago y Zamora Chinchipe (Cajamarca-Zuniga & Campos, 2023).

En Guayaquil (1994), un grupo de investigadores cubanos describieron a las zeolitas por primera vez, luego en marzo del 2000 se creó el proyecto “Sustratos Ecológicos a base de Zeolitas Naturales en la ESPOL con el propósito de investigar la ocurrencia y mineralogía de las zeolitas en la zona y sus aplicaciones en la agricultura, materiales de construcción, acuicultura y otras aplicaciones industriales y medioambientales. (Machiels et al., 2008)

Con este preámbulo acerca de las características de las arcillas y sus aplicaciones se abre paso al desarrollo del proyecto donde, las conclusiones escritas en este documento corresponden a los resultados obtenidos al estudiar en el contenido bibliográfico, la prospección in situ y los análisis de las muestras de arcillas realizados en los laboratorios de ESPOL.

1.1 Descripción del problema

Existen pocas publicaciones o estudios sobre depósitos o yacimientos de arcillas industriales existentes en el cantón Isidro Ayora (Jordán et al., 2014). Ocasionalmente que el conocimiento a detalle de la ubicación exacta de ocurrencia de las arcillas industriales (caolín, bentonita o sepiolita) sea casi nula, generando problemas de demanda de materia prima (arcillas) para las industrias petrolíferas, farmacéuticas, agrícolas y medicinales. Esto se debe a que, utilizan este tipo de arcillas como materia prima para la creación de cerámica, cemento (El hammouti et al., 2023), medicina, cosméticos, lodos de perforación, absorbentes industriales, moldes de fundición, filtrado de aceites, aditivos gelificantes para pinturas e impermeabilizantes para obras civiles.

Además, en el cantón Isidro Ayora los ingresos económicos dependen en mayor porcentaje de la agricultura y silvicultura (55.1%) (Motivos et al., 2021), debido a esto existe la necesidad de conocer la ubicación exacta del material arcilloso, puesto que algunas industrias agrícolas están interesadas, ya que al no contar con dicho material pueden sufrir grandes pérdidas económicas. Un ejemplo es el del empresario Rómulo Falconí, dedicado a la industria alimenticia y agrícola. Él necesita determinar la ocurrencia de arcillas industriales en el cantón Isidro Ayora, para la expansión de los productos y servicios que ofrece. Ahora bien, con las fuentes de arcilla con las que cuenta actualmente, no cubrirá la demanda futura de materia prima.

1.2 Justificación del problema

Este estudio surge de una necesidad de la industria agrícola del Ecuador: Localizar arcillas de alta plasticidad que posean alto grado de cohesión al secado y amplios rangos de vitrificación. Estas características son especialmente deseadas para la producción agrícola.

La prospección geológica de arcillas industriales es la etapa en la que se realiza un conjunto de operaciones destinadas a determinar la naturaleza y características de un área de interés. Las labores de esta etapa implican una alta inversión. Además, se debe considerar que la zona a prospectarse no siempre tiene resultados favorables.

Al encontrar la ocurrencia de arcillas, se determina fuentes de materia prima para diversas industrias. De este modo, se genera información clave que permite tomar decisiones adecuadas a personas o instituciones públicas o privadas. Así, se establece cuales materiales requieren de una transformación física y química para su uso en la industria. Se emplea tanto en agricultura, como en petróleo, construcción, alfarería, cosmética y alimentos.

Por ejemplo, para explotar y obtener bentonita, se debe cumplir con las fases de prospección y exploración. Sin embargo, se desconoce que se hayan desarrollado estudios científicos preliminares acerca de sus propiedades mineralógicas y tecnológicas en las áreas que se consideran de interés. Esto incide en su limitado y mal aprovechamiento en diversos sectores.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar las formaciones geológicas del cantón Isidro Ayora, mediante técnicas de prospección geológica, para la selección de áreas de ocurrencia de minerales no metálicos arcillosos con aplicación industrial.

1.3.2 Objetivos específicos

Analizar las formaciones geológicas del cantón Isidro Ayora, a través del uso de sistemas de información geográfica (SIG), para la evaluación de zonas de ocurrencia de arcillas industriales.

Elaborar un inventario de ocurrencia de arcillas industriales por medio de SIG.

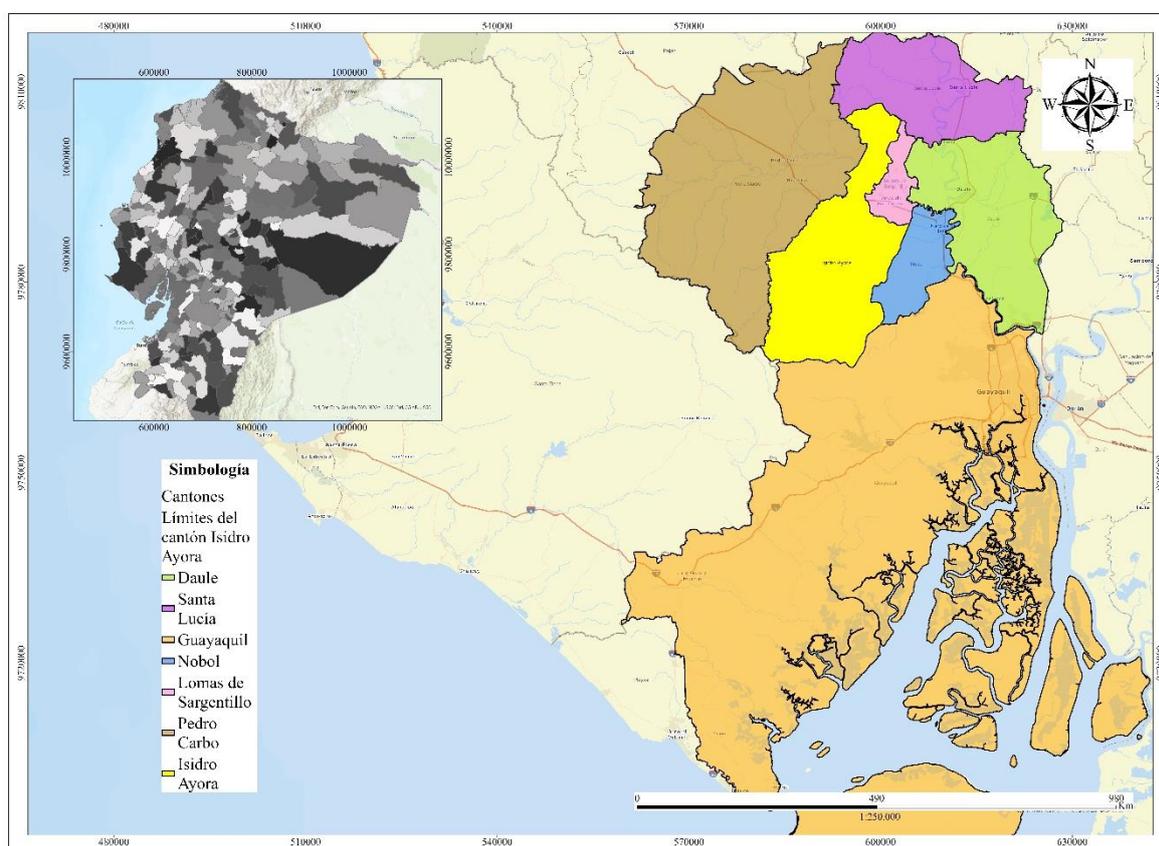
Caracterizar las arcillas mediante ensayos físicos de laboratorio.

1.4 Ubicación

El cantón Isidro Ayora, se localiza al nor-occidente de la provincia del Guayas, se puede revisar en **Figura 1.1**, a una distancia de 56000 m de Guayaquil. Se encuentra limitado por los cantones; norte-Daule y Santa Lucía, sur-Guayaquil, este-Lomas de Sargentillo y Nobol, oeste-Pedro Carbo.

Figura 1.1

Mapa de ubicación del cantón Isidro Ayora en relación con sus límites



1.5 Aspectos Sociales

La cabecera cantonal posee el mismo nombre del cantón, siendo creado el 2 de agosto de 1996. Posee 487.33 Km² de área superficial habitada por 14 582 personas según la proyección poblacional INEC (2010 -2020). Se consideran a Pueblo Nuevo y Las Mercedes

sus dos poblados más grandes e importantes. (Del Plan Desarrollo Y Ordenamiento Territorial, 2016).

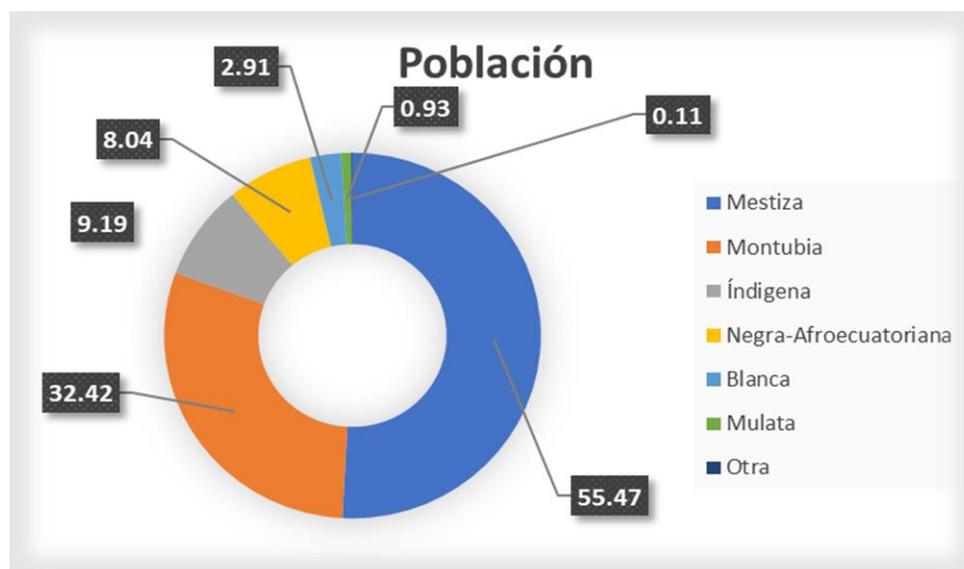
Para viajar con destino a este distrito desde Guayaquil, podemos tomar las cooperativas Mi Piedacita y Pedro Carbo, sus salidas son diarias y cada siete minutos. Se considera 20% de vías en buen estado, debido a que están asfaltadas conectando a territorio urbano, 39% avenidas, 39% caminos con gravas que permiten el acceso a los habitantes que residen en su interior. Además, un 2% de caminos frágiles dañados debido al material del que está compuesto y el tiempo atmosférico.

Además, es uno de los 20 cantones más pobres del Ecuador puesto que, posee un índice alto de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) (94.48 %), esto se debe a que encontramos viviendas con servicios inadecuados, mala atención por parte de los médicos en hospitales, alimentación baja en vitaminas, moradas precarias, servicios urbanos escasos, falta de oportunidades de empleo y analfabetismo. Trayendo consigo la relación siguiente; por cada 9 478 personas, 437 migran, para conseguir oportunidades más convenientes de trabajo y alcanzar logros personales y familiares, siendo Guayaquil uno de sus destinos.

De acuerdo con la comparación entre el número de habitantes del cantón con el Guayas, su pobreza es de 0.5%. Según datos del Censo de Población de Vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en el año 2010, en la **Figura 1.2** vemos que, el 55.47 % de la población se considera mestiza, le sigue la identidad montubia con el 32.42 %, 9.19 % indígena, 8.04 % negra-afroecuatoriana, y las etnias de menor concentración son la blanca con el 2.91 %, 0.93 % mulata y 0.11 % autoidentificada como otra.

Figura 1.2

Porcentaje de autoidentificación étnica obtenida por NBI.



1.6 Aspectos Económicos

Según el INEC, el ámbito económico del cantón Isidro Ayora se desarrolla en diversas actividades, siendo la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca la rama de actividad mayoritaria con un 55.1 %, seguida por la actividad no declarada con un 10.4 % y otras actividades en menor porcentaje. Los datos más detallados se los encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 1.1

Población ocupada por rama de actividad

Actividad	Población
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	55.1 %
Actividades del hogar como empleadores	3.4 %
Transporte y almacenamiento	2.8 %
Enseñanza	2.8 %
Alojamiento y servicio de comidas	1.4 %
Servicio administrativo	1.4%
Actividades profesionales, científicas y técnicas	0.5%

Información y comunicación	0.4%
Abastecimiento de electricidad, gas, vapor y aire	0.3 %
Explotación de minas y canteras	0.1 %
No declarado	10.4 %

Nota: Datos tomados del INEC (2010-2020).

Al ser la producción agrícola aquella actividad que más se realiza en el cantón Isidro Ayora es importante mencionar los productos que conforman sus cultivos: arroz, maíz, mango, pitajayas, guayacanes, limones, poroto, yuca y limón. Estos productos deben ser de calidad ya que, dependen del sistema de producción y uso de arcillas como insumo agrícola (Del Plan Desarrollo Y Ordenamiento Territorial, 2016).

En las estadísticas de la **Tabla 1.1**, existen grandes extensiones de tierra que se usan para actividades agrícolas, siendo aproximadamente 6 243 ha destinadas para las plantaciones de mango y cacao. Demostrado así que, es la actividad que genera mayores ingresos económicos debido a su porcentaje de producción en la zona (Motivos et al., 2021). No obstante, se pueden encontrar pocos sitios turísticos y ecológicos, como son, La Playa de Agua Dulce del río Pedro Carbo en el Recinto Ciénaga Redonda, Iglesia Catedral San Juan de Soledad que es una infraestructura que supera los 100 años de haber sido construida, donde podemos adquirir hamacas y otras artesanías hechas de mocora, debido a esto se lo conoce como cantón de las hamacas. Además, está el Complejo Vacacional “La Ciénaga”, comprende sitios de obtención agrícola y propagación de amabilidad con el medio ambiente (Del Plan Desarrollo Y Ordenamiento Territorial, 2016).

1.7 Clima

El cantón está en una zona que tiene un clima Tropical Megatérmico, semihúmedo, con temperaturas medias que oscilan de 23 a 27 °C, generándose precipitaciones medias al año de 500 a 1200 mm.

Por otro lado, al referirnos al territorio, este abarca un déficit hídrico para actividades destinadas a la agricultura, este déficit suele ser de quinientos a setecientos milímetros, con zonas de evapotranspiración potencial de 1400 - 1600 mm, la cual se ve variante desde oriente a occidente.

Capítulo 2

2 Marco teórico

2.1 Geodinámica regional

La costa ecuatoriana es una región con grandes planicies bajas, cubiertas por sedimentos terciarios y cuaternarios (Iriondo, 2002), considerando que, desde el cretácico ocurrieron eventos tectónicos donde se suscitaron deposiciones de tobas y otros fragmentos de rocas y sedimentos marinos (Mercedes et al., 2008). Esta región está atravesada por cordilleras que alcanzan los 200-600 metros. Se destacan los cerros Jama y Cuaque al Norte, Chongón Colonche al centro y Masvale, Taura y Boliche al sur (Núñez del Arco, 2003).

Ecuador está sometido a subducción entre la placa de Nazca y las placas continentales, esto es la Sudamericana y del Bloque Nor-Andino (Pardo-Casas & Molnar, 1987) el movimiento de esta placa se ha producido más o menos hace unos 70 Ma, con orientación Oeste-Este y choca con Sudamérica.

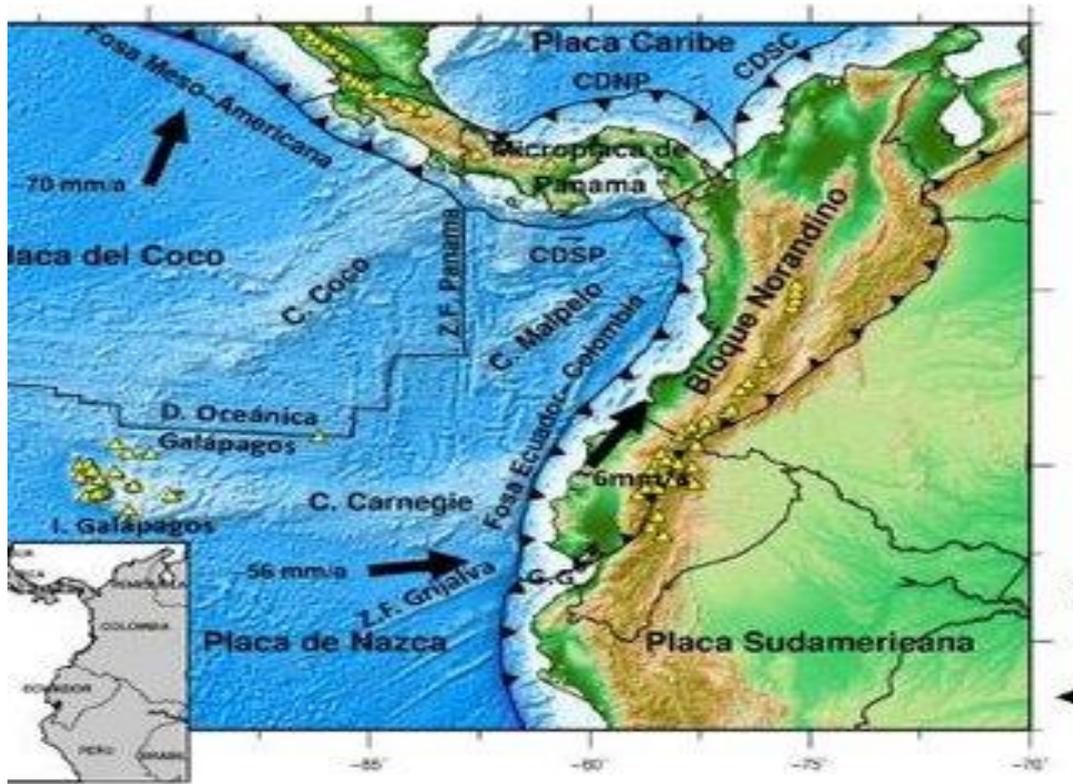
Hoy en día, esta placa oceánica se desplaza perpendicularmente frente al Ecuador aproximadamente 5-6 cm/año, y diagonalmente frente a Colombia a 8 cm/año, se puede evidenciar en la **Figura 2.1**. Generando que el suelo continental retroceda con respecto al mar aproximadamente 2 cm/año, debido a que el suelo continental es un material plástico (Aguilar & Mizobe, 2016).

Este movimiento está directamente vinculado con la cercanía existente a la placa de Cocos, zona de expansión de las Galápagos y el hundimiento de la cordillera Carnegie (Núñez del Arco, 2003). Aun así, la deformación del margen de convergencia del Ecuador se atribuye a la tectónica de compresión, extensión y deslizamientos ocurridos en el cretácico tardío (Bulois et al., 2023; Schiffer et al., 2020).

La región costera está constituida por terrenos de origen oceánico a la vez, está limitada por la fosa oceánica (Oeste), falla Guayaquil, Babahoyo, Santo Domingo, Tosan, Jijón y Maldonado (Este) (Goossens et al., 1970).

Figura 2.1

Movimiento de las placas tectónicas en Ecuador



Nota: Modificado de Nocquet et al, TrenKamp et al., 2014

2.2 Geología local

Se consideran, la Fm. Piñón que se encuentra en el centro sur del cantón, con rocas ígneas básicas como; basaltos andesíticos, conglomerados del fondo del océano (Goosens et al., 1977), tobas, toleitas del arco insular que constituye la Fm San Lorenzo (Mégard et al., 1986) capas delgadas de argilitas. También se han encontrado pillos lavas, hialoclastitas y metabasaltos.

Se caracterizó petrológicamente por Raharijohana (1980) y geoquímicamente por Lebrat (1985). Se organiza de la siguiente manera:

a) La Fm Piñón s.s. está compuesta por almohadillas de basaltos afaníticos (feldespatos 50 – 80 años) con intrusivos frecuentes, del mismo modo la región Guayaquil solo que con intrusiones gabroicas y ultramáficas. Las lavas de Piñón son toleíticas MORB tipo N formadas en una cresta (Cordillera Pacífico-Farallón), además estas rocas al sufrir metamorfismo se convierten en zeolitas incluso lutitas verdes (Benitez, 1995).

b) La Fm San Lorenzo está cubierta por rocas volcano-sedimentarias, aunque se confunde con la base Piñón s.s. conociéndose solo en el tramo Manta Portoviejo. Puede considerarse parcialmente como equivalente estratigráfico de Fm. Cayo s.s. Además, se logran ver andesitas, basaltos porfídicos (plagioclasa 40-50 años) (Eguez et al., 1992).

c) Intrusiones observadas en el complejo volcánico como los de Pascuales, cruce de umbrales de diabasa o gabro, dique dacítico del Eoceno (Eguez et al., 1992).

Por consiguiente, la Fm Piñón se considera una serie volcánica, confundida con emanaciones ígneas básicas. Cuando nos acercamos a Guayaquil se presentan flujos de diabasas que se hacen fuertemente complejos. La parte alta es verde claro, con porfirita ígneas básica, lutitas tobáceas color gris a crema rojiza, toba y limolita silicificada (Núñez del Arco, 2003). Está conformada por basaltos muy deformados del Coniaciano, almohadillas de lavas (Bulois et al., 2023) almohadillas de lavas (Bulois et al., 2023), diabasas, tobas, brechas y piroclastos donde se han ubicado filones de hematita y filones esporádicos de cuarzo. (Núñez del Arco, 2003) Ausencia de zeolitas y presencia de Qz, calcita y capa mixta de C/S (Machiels et al., 2014).

Esta formación por lo general se explota para realizar construcciones, a la vez zeolitas que son usadas como abono para productos, alimentos de ganado, de camarones y otros.

Otra de las formaciones importantes es la Fm Cayo, la cual ocupa la región sur presentándose relieves altos a medios y donde la litología se compone de areniscas finas a gruesas con color verde y también por lutitas. Además, se tiene fragmentos de arenisca verdosa que dominan la base de la secuencia y al tope se intensifican las lutitas, pasando transicionalmente al Miembro Guayaquil (Del Plan Desarrollo Y Ordenamiento Territorial, 2016).

Se extiende sobre un área de más de 10 000 km², con presencia de zeolitas. En el campus ESPOL en el anillo perimetral y cerca de Guayaquil se ha descrito la presencia de clinoptilolita (Machiels et al., 2008). Se tienen canteras de zeolitas a pequeña escala (Enrique & Carballo, 2004). Tiene origen volcano-clástico, donde estas rocas se han depositado en un ambiente marino, se encuentran lutitas tobáceas, limolitas de color café amarillento, areniscas tobáceas, grauvacas y aglomerados (Núñez del Arco, 2003).

Se pueden encontrar zeolitas a lo largo de todo el espesor estratigráfico de esta formación. En los lechos superiores se encuentran pedernales compuestos por cuarzo y cristobalita y tridimita menores. Más depósitos de flujo masivo volcánico marino y tobas acuíferas, debido a un vulcanismo andesítico (fragmentos de vidrio y cristal, piedra pómez escorácea y fragmentos expansivos de rocas volcánicas). Y la unidad inferior se compone de depósitos de flujo piroclástico marino dacítico (piedra pómez tabular, clastos de vidrio y cristal) (Machiels et al., 2014).

La Fm. Angostura es aquella que está en el centro norte del cantón, se encuentran areniscas amarillentas y arenas grisáceas azuláceas (Del Plan Desarrollo Y Ordenamiento Territorial, 2016). En la base presenta conglomerados con carácter transgresivo, en la siguiente capa se observa areniscas de grano medio a fino y lutitas calcáreas, poco consolidadas, con un espesor total de 550m. Sucede en los peldaños orientales de la Cordillera Chongón-Colonche sobre Cayo y cuenca del Guayas (Núñez del Arco, 2003).

Finalmente, se encuentra la Fm. Balzar, la cual está en todo el costado N del cantón, comprendiendo capas de arena y tobas. Además, se consideran conglomerados, areniscas calcáreas, limos y arcillas de color amarillento rojizo. Siendo una terraza estuarina plio-pleistocénica de unos 300 m de espesor (Núñez del Arco, 2003).

Asimismo, se tiene las formaciones Ancón, Guayaquil, San Eduardo y Onzole. Donde, Ancón se denomina como una de las más caóticas del Ecuador (Pardo-Casas & Molnar, 1987). Posee un espesor estimado de 1500 m, emerge principalmente en la cuenca de Ancón (Sur de la depresión) y en la Codillera Chongón-Colonche.

Se considera la división entre las formaciones Seca y Socorro. Siendo que, la Fm. Socorro se subdivide en camas de guijarros de arcillas (lutita, cuarcita, conglomerados, pedernales, rocas ígneas, piedra caliza, arenisca turbidítica y fragmentos de roca de formaciones preexistentes) y Miembros de Socorro (lutitas turbidíticas, areniscas y lutitas), en cuanto a Seca, los miembros de Lutita Seca (lutitas turbidíticas y areniscas) y areniscas Punta Ancón (areniscas de grava con intercalaciones de lutita, conglomerados con lignito, calizas y lutitas) (Mercedes et al., 2008).

La formación Guayaquil está compuesta por areniscas, limolitas y pedernales distales (Bulois et al., 2023). Su estructura básica pertenece al grupo de los filosilicatos y químicamente son aluminosilicatos hidratados cristalinos (Tan et al., 2021).

La formación Guayaquil está compuesta por areniscas, limolitas y pedernales distales (Bulois et al., 2023), secuencia monótona de lutitas silíceas con presencia de nódulos de pedernales (Núñez del Arco, 2003), los cuales están compuestos por cuarzo y cristobalita y tridimita menores (Machiels et al., 2014).

Presenta, estratificaciones delgadas masivas, color gris, habano, verdoso oscuro y gris y negro, con intercalaciones de lutitas silíceas, arcillita y tobas deformadas sin-sedimentación y rizadas. La parte superior es calcárea y contiene bastante lutita y arcilla. Además, hallamos

chert color gris claro a gris oscuro y negro de 0.5 cm de ancho. Varían de pocos cm a 1 m de diámetro (Núñez del Arco, 2003).

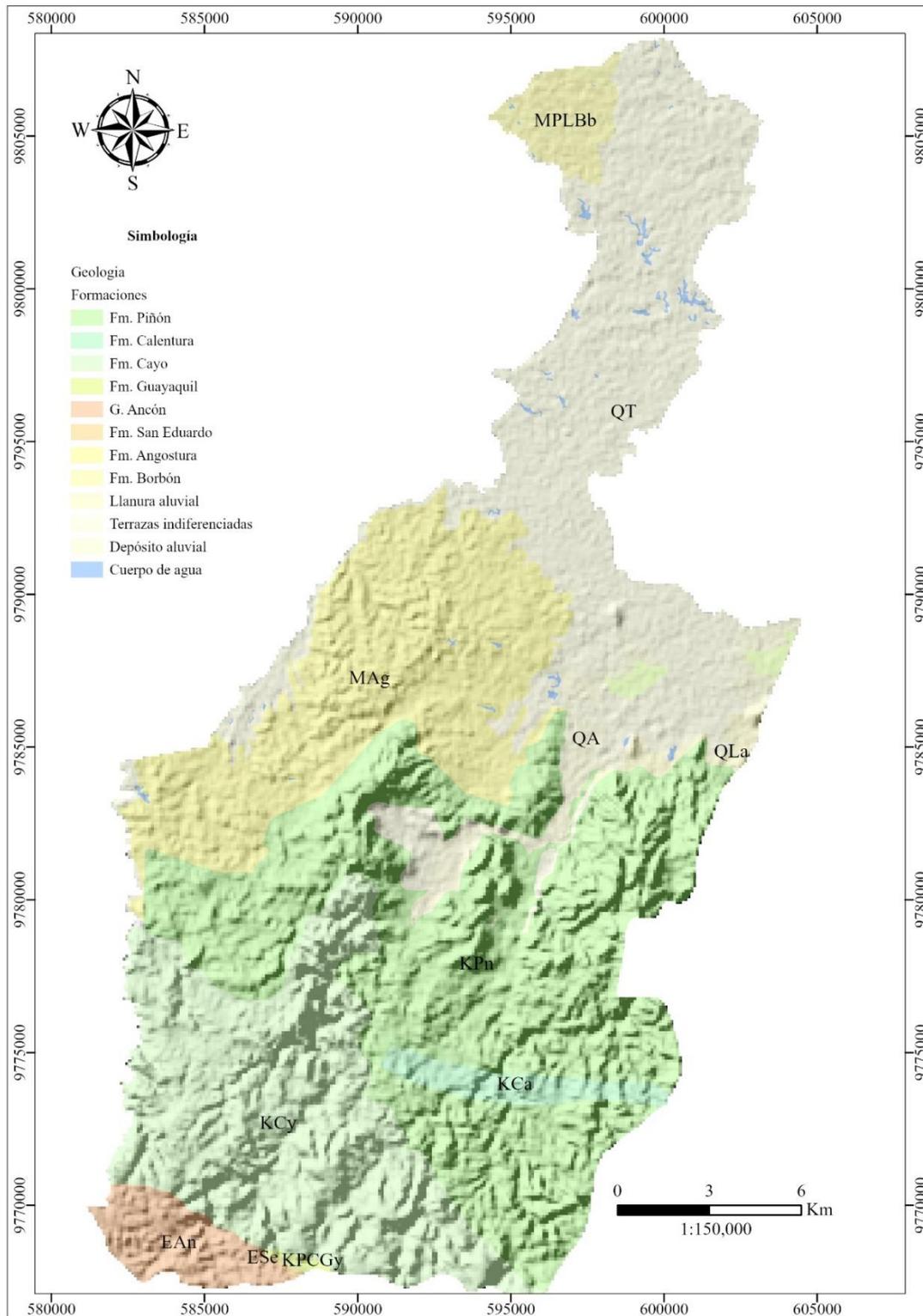
Ahora bien, la Fm. San Eduardo, es la parte superior de la Javita, consiste en la calcarenitas de color crema a gris café, grano grueso, alternado con conglomerados o brechas. Es común encontrar lutitas calcáreas y en la base nódulos de chert. Con un espesor de 0-60 m; en la sección inferior San Eduardo, aflora cerca de Guayaquil y en San Antonio, cerca de Playas. Se encuentran algas arrecifales, guijarros de calcilutitas y chert. Tiene un espesor de hasta 200 m (Núñez del Arco, 2003).

Y la Fm. Onzole, tiene un espesor de 250 m, se logran ver limolitas silíceas azuladas y horizontales de areniscas finas, con coloración café marrón, equivalente al miembro Progreso, subyace a Formación Borbón y se coloca sobre Formación Angostura (Núñez del Arco, 2003).

Todas estas formaciones se pueden visualizar en el mapa geológico del cantón Isidro Ayora, **Figura 2.2.**

Figura 2.2

Mapa de las formaciones geológicas que forman parte del cantón Isidro Ayora.



2.3 Arcillas de importancia industrial

Las arcillas se originan a partir de la meteorización de las rocas, son partículas muy finas (>50% es <2 μ m). Están constituidas principalmente por aluminosilicatos de origen secundario (vermiculita, cao-linita, clorita, sepiolita, esmectita, entre otros) y por componentes accesorios, primarios, secundarios u orgánicos radicando gran parte de la actividad fisicoquímica del suelo.

Las arcillas se dividen en primarias y secundarias, donde las primeras son las formadas en el lugar de sus rocas madres y no han sido transportadas por agentes externos como el agua, viento o glaciación, y las segundas con las que han sufrido desplazamiento del lugar de las rocas madres originales (De Tunja-Boyacá et al., 2018).

Se debe considerar que, el término arcilla no indica una sustancia única (Besoain, 1985). De ahí que, por mineral de arcilla se comprende esencialmente a los aluminosilicatos hidratados cristalinos, algunos con sustitución parcial o total de Al, Mg o Fe, en ocasiones incluyen como constituyentes a elementos alcalinos o alcalinotérreos. Se clasifican en dos grupos definidos según su estructura: 2:1 (pirofilita, talco, esmectita, vermiculita y micas) y 1:1 (caolinita, serpentina) (Tan et al., 2021). Esto se puede ver en la **Figura 2.2**.

También forman parte de los minerales de arcilla, el grupo de los aluminosilicatos amorfos y paracristalinos, pese a su estructura poco definida con sus representantes principales alófono e imogolita (Besoain, 1985). Ahora bien, su composición mineralógica ejerce influencia sobre las propiedades geotécnicas, como la plasticidad, resistencia, compresibilidad, cambio de volumen, entre otras (Unemi et al., 2019).

Las arcillas se usan en la agricultura, industrias proceso, protección o remediación ambiental, ingeniería, construcción, entre otras. Las más importantes son caolines, bentonitas, sepiolitas/palygorskita y lutitas comunes (Christidis, 2013). Generalmente, debe ser blanca mientras más fina sea (Christidis, 2013; Christidis et al., 2006).

2.3.1 Arcillas división 1:1

Son prácticamente puras en la naturaleza, poseen muy poca sustitución isomórfica, lo cual define sus propiedades fisicoquímicas, y se conocen como grupo de la serpentina-caolín (Bloodworth et al., 1993).

2.3.1.1 Caolín. Los depósitos primarios de caolín se forman del granito a partir de meteorización o alteración hidrotermal y raramente termales (Bloodworth et al., 1993); los secundarios tienen origen sedimentario (Mbey et al., 2019), algunos pueden haberse formado por transporte y deposición de caolinita formada en otros lugares, los procesos diagenéticos y meteorización desempeñan un papel importante en la formación y modificación in situ de caolín sedimentario.

El tamaño de los cristales del caolín hidrotermal es de hasta 20 μm de largo (dickita) (Beaufort et al., 1998). Se presenta en color blanco, es plástico y blando, puesto que se compone principalmente de caolinita, la cual es un silicato de aluminio hidratado ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), se forma por la alteración del feldespato y moscovita (Haydn Murray, 2002), cuando las caolinitas son puras presentan coloración verde. Otros minerales que forman parte del caolín son la illita y clorita (Christidis, 2013).

El caolín se utiliza en diversos procesos de fundición. El 10 % se usa al fabricar las cerámicas, el 75 % para revestir el papel (Christidis, 2013), el 15 % en relleno de pinturas, cauchos y plásticos (Bloodworth et al., 1993).

2.3.2 Arcillas división 2:1

Muestran alta variabilidad con respecto a la sustitución isomórfica, siendo mayor que la de la división 1:1, se diferencia por la cantidad de carga existente en la estructura (Teepakakorn & Ogawa, 2022). Pueden ser pirofilitas, esmectitas y vermiculitas, dentro de este grupo están la montmorillonita, beidelita, nontronita, vermiculita dioctaedral, hectorita, saponita, sauconita, vermiculita trioctaédrica, entre otras (Zapata, 2018).

2.3.2.1 Esmectita. La esmectita es una arcilla que surge de la erosión de feldespatos y minerales pesados en rocas hidrotermales, además de la nucleación y crecimiento espontáneo de cristales en agua salina con la composición vítrea de la ceniza volcánica, su tamaño promedio es inferior a 0.5 μm en las bentonitas (GrIm & Guven, 1978), contienen minerales arcillosos micáceos expandibles, ya sea si se originó por erosión de minerales o cenizas volcánicas.

Presenta estanqueidad, ductibilidad y capacidad para expandirse. Tiene la capacidad de retrasar el transporte por propagación de elementos con carga positiva (Pusch, 2015), aquellas que tienen baja carga desarrollan alta viscosidad (Christidis et al., 2006). Si presenta poca clorita entre capas puede verse color marrón a verde pardusco con colores de interferencia del primer orden (Machiels et al., 2014). Es importante en la industria del gas y petróleo, área de medicina, dermatología y cosmetología (Pusch, 2015).

Dentro del grupo de las arcillas esmectitas se destaca la bentonita que tiene su origen en 1917 (Reynolds, RC, Moore, & DM, 1989), se forma a partir de la alteración de rocas volcánicas silíceas ricas en vidrio (Haydn Murray, 2002), perteneciendo a sedimentos del cretácico y terciario (Subsecretaría de Minería, 2017). Está compuesta por 92% de montmorillonita que también pertenece al grupo de la esmectita y es un silicato hidratado de sodio, calcio, magnesio y aluminio (Pusch, 2015).

Las bentonitas pueden ser sódicas o cálcicas (Christidis, 2013). Las sódicas en su estructura contienen niveles altos de Na, al entrar en contacto con el agua se dilata y al momento de absorberla puede crecer hasta 12 veces su volumen, debiéndose a que el sodio produce una expansión más notable (Benvindo Da Luz & Honório De Oliveira, n.d). En las bentonitas cálcicas, quien predomina es el calcio, tiene menos facultad de dilatación (GrIm & Guven, 1978), sin olvidar sus propiedades absorbentes, como es el caso al momento de absorber numerosas moléculas de proteínas de soluciones acuosas. Puede convertirse en

sódica por medio del intercambio de iones, al tener alta carga tiende a desarrollar gran viscosidad (Christidis et al., 2006).

2.3.2.2 Pirofilita Es un silicato de aluminio hidratado, compuesto por un 66.7 % de sílice, 28.3 % de alumina y 5 % de agua. Presenta las mismas propiedades, se la encuentra en rocas metamórficas y es relativamente rara. Presenta propiedades semejantes a las del talco como; dureza entre 1 y 2 en la escala de Mohs, completa exfoliación (001), buenas propiedades térmicas, aislantes y eléctricas, excepto por su refractariedad debido a que, la del talco es inferior (Sánchez & Pérez, 1998a), además contiene cuarzo y el talco asbesto (Sánchez & Pérez, 1998b). Se presenta en color blanco, verde, gris y pardo.

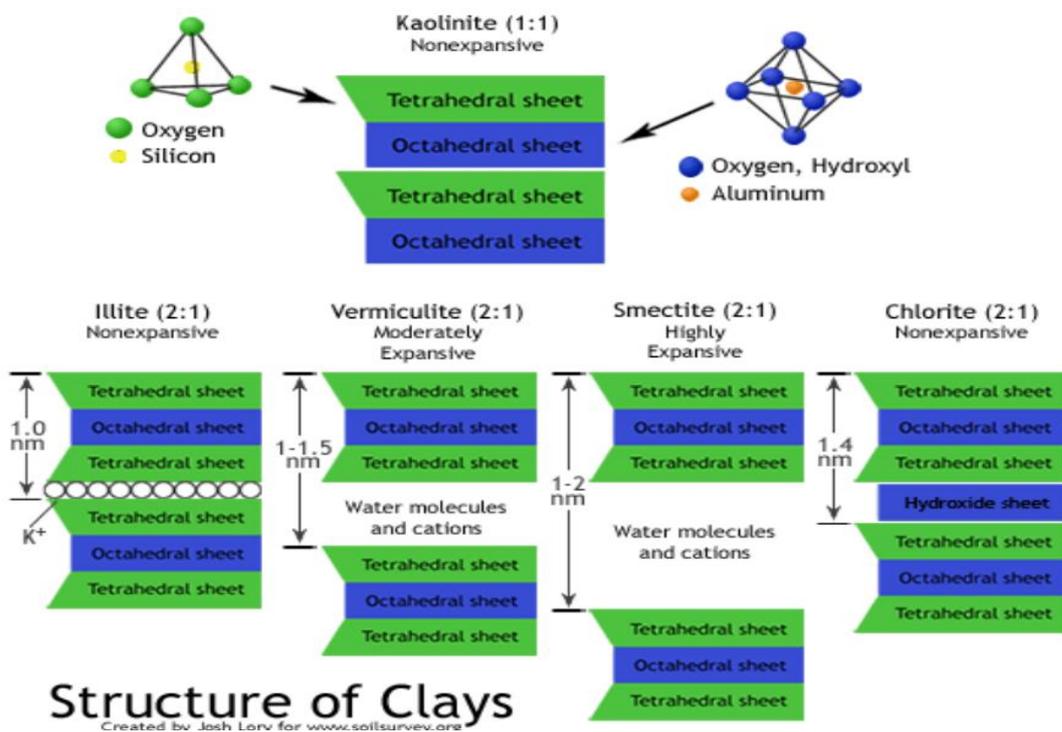
Se presenta en cristales aislados, pocos casos en agregados laminares radiales y aspecto fibroso, blanda y untuosa al tacto, muy parecida externamente al talco. Se los diferencia al momento de tratarlos con nitrato de cobalto y calcinarlos. Mostrándose azul la pirofilita (espinela que se forma con el aluminio) y violeta (Akisanmi, 2022).

Se utiliza la pirofilita para la fabricación de cerámica, insecticidas, refractarios, construcción entre otros usos más (Sánchez & Pérez, 1998b).

2.3.2.3 Vermiculita Tiene un tamaño de 200 μm (Yang et al., 2023). Compuesta por un silicato hidratado de Mg, Al y Fe y tiene una estructura laminar micácea con ruptura basal (Adjei & Elkatatny, 2021). No es pesada y tiene propiedades de aislamiento térmico y acústico. Puede expandirse de 10 a 30 veces su volumen original a temperaturas elevadas de hasta 315 °C, esto ocurre debido a la conversión de agua estructural y de la capa intermedia en vapor. Puede preservar la resistencia mecánica del cemento a temperaturas altas y ser un material preciso resistente al fuego. Se presentan en color marrón, amarillo bronce.

Figura 2.2

Estructura de las arcillas



Capítulo 3

3 Datos y Metodología

Como parte de la metodología, se ha llevado a cabo el estudio de la información del cantón Isidro Ayora, conceptos de arcilla y algunos de los métodos que se pueden usar para localizar este material en una zona.

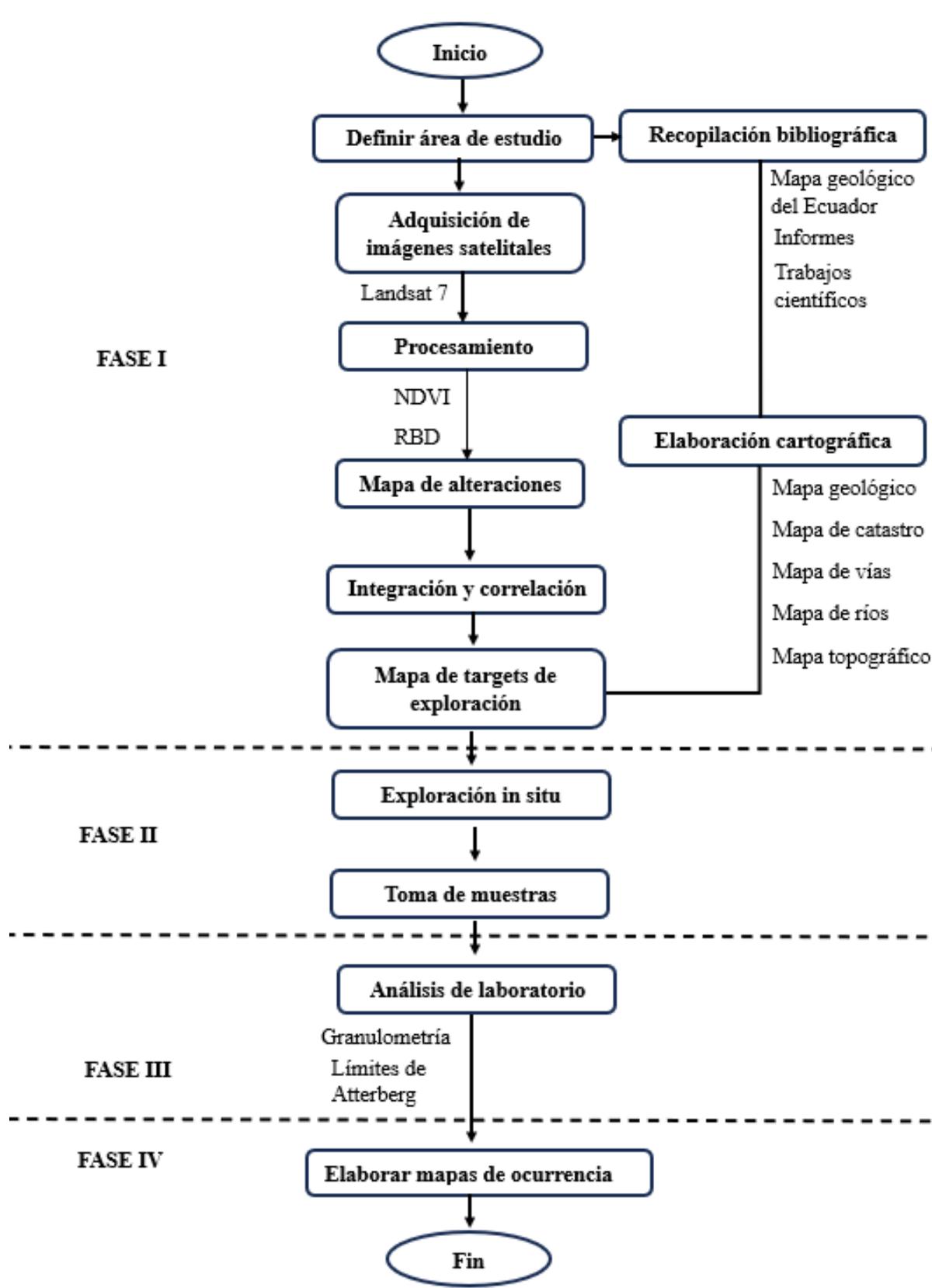
Aunque, en la fase de prospección geológica es común ir a campo directamente, en este proyecto vamos a partir del tratamiento de imágenes satelitales de Landsat 7. Iniciando por el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) y profundidad de banda de absorción relativa (RBD), con los resultados obtenidos se realiza una comparación de datos y se excluyen zonas que pueden causar un error al ir a campo a muestrear. Gracias a esto se combinó la información obtenida en GIS, los estudios de campo y estudios de laboratorio mineralógicos, los cuales fueron de gran utilidad para caracterizar las arcillas existentes en los lugares escogidos para muestrear.

La metodología se resume a los siguientes enunciados:

- Definición del área de estudio
- Análisis bibliográfico
- Obtención y procesamiento de imágenes satelitales
- Elaboración de mapas iniciales
- Visitas in situ al Cantón Isidro Ayora
- Recolección y análisis de muestras de arcilla
- Elaboración de mapa final

Figura 3.1

Esquema de la metodología general



Nota: Modificado de Pal y otros, 2016

3.1 Fase 1: Recopilación Bibliográfica y uso de SIG

Para la obtención de información acerca del cantón Isidro Ayora se utilizó tesis, artículos, trabajos científicos, libros, mapas y cartas geológicas del Ecuador. Además, con los datos encontrados en diversos artículos, en la cartografía y geomorfología del Ecuador, se elaboró el mapa geológico del cantón Isidro Ayora, con sus respectivas fallas geológicas.

Previo a la adquisición de las escenas de las imágenes satelitales se ha considerado la fecha, nubosidad y vegetación. Actualmente, el cantón Isidro Ayora presenta alta nubosidad y vegetación, lo cual afecta la toma de datos de sensores remotos. Debido a esto, se pudo trabajar con imágenes satelitales de Landsat 7 (nivel 2), puesto que las escenas mostraban muy poca nubosidad y al hacer la combinación RGB (321) la coloración en tonos marrones y tostados que indican el suelo (Fernández-Coppel & Herrero Llorente, 2001) de la zona se puede observar en 95% de la imagen satelital, distinguiéndose así los sedimentos de la zona.

3.1.1 Sensores remotos

La imagen satelital de Landsat 7 fue adquirida desde el sitio web del USGS, <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Perteneciente al 23 de noviembre de 2000-17 de septiembre de 2020, en el nivel 2 (Terreno corregido). La escena captada presenta una nubosidad del 1% (Córdoba et al., 2007). Se pueden ver las características de la escena satelital Landsat 7, en la siguiente tabla.

Tabla 3.1

Características de la escena satelital Landsat 7

Nombre de la imagen	LE07_L1TP_011061_20001123_20200917_02_T1
Satélite	LANDSAT 7
Fecha de adquisición	23-nov-2000
Coordenadas UTM	593843 E; 9785818 N



Área de cobertura		
Bandas	Longitud de onda (μm)	Resolución Espacial(m)
Banda 1	0.45 – 0.55	30
Banda 2	0.52 – 0.60	30
Banda 3	0.63 – 0.69	30
Banda 4	0.77 – 0.90	30
Banda 5	1.55 – 1.75	30
Banda 6	10.40 – 12.50	60
Banda 7	2.08 – 2.35	30
Banda 8	0.52 – 0.90	15

El sensor Landsat 7 proporciona cobertura del infrarrojo visible, cercano (VNIR; resolución espacial de 30m), infrarrojo de onda corta (SWIR; 30 m), infrarrojo térmico (TIR; 60 m) y una banda pancromática (PAN; 15 m); donde sus resoluciones radiométricas son de 8 bits (INEGI, 2018). El rango de longitudes de onda en el espectro electromagnético va desde 0.45 – 12.50 μm , incluyendo una banda pancromática que va desde 0.52 – 0.90 μm , tiene 8 bandas u canales espectrales (Córdoba et al., 2007; Fernández et al., 2018).

En este proyecto, las técnicas de procesamiento se aplicaron en las regiones SWIR utilizadas para la discriminación litológica y mapeo mineralógico (Adiri et al., 2020). Las bandas SWIR son específicas para la absorción de carbonatos, hidróxidos y minerales hidratados (El Janati, 2019).

A esta imagen satelital no fue necesario hacerle correcciones atmosféricas, radiométricas o geométricas ya que, al ser obtenidas de LANDSAT 7 y de nivel 2, ya vienen con estas correcciones y su preprocesamiento no es imprescindible.

3.1.2 *Procesamiento*

3.1.2.1 Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI). La vegetación recubre algunas zonas de la imagen satelital, para diferenciarla y visualizarla se considera implementar el NDVI (Xu & Guo, 2014). En el ArcMap se usa ArcToolbox >> Spatial Analyst Tools >> Map Algebra >> Raster Calculator. Para obtener el cociente de bandas se utiliza el condicional float.

$$NDVI = \frac{(IRC - R)}{(IRC + R)}$$

3.1.2.2 Profundidad de banda de absorción relativa (RBD). Es un método para el mapeo litológico y la detección de minerales asociados con alteraciones hidrotermales (El Janati, 2019; Emam et al., 2016; Masoumi et al., 2021). Es una fórmula de relación de tres puntos particularmente útil para mostrar las intensidades de absorción de Al-OH, Fe, Mg-OH y CO₃ (Mars & Rowan, 2006), según Crowley et al. (1989).

Para este proyecto, se usó RBD con el fin de localizar áreas de alteración que contienen minerales arcillosos. Este método se utilizó en (Lamrani et al., 2021) y obtuvo buenos resultados. Para llevar a cabo de manera adecuada y positiva la detección de arcillas en el cantón Isidro Ayora se hizo una comparación de las bandas de Landsat 7 con ASTER, esto se debe a que ASTER es más usado en prospección geológica, debido a que permite la identificación de áreas de alteración hidrotermal, gracias a las 6 bandas en el SWIR, permitiendo analizar las características de absorción de distintos minerales entre estos son la caolinita, alunita, illita, clorita, epidota y sericita (García, 2017). Se pueden ver en la **Figura 3.2**, además con ayuda de las firmas espectrales de las arcillas **Figura 3.1**, se hace el reconocimiento del porcentaje de reflectancia y las longitudes de onda a la que se encuentran las bandas destinadas a la RBD, esta relación se puede observar en la **Tabla 3.3**.

Figura 3.2

Firmas espectrales de algunas rocas en la superficie terrestre.

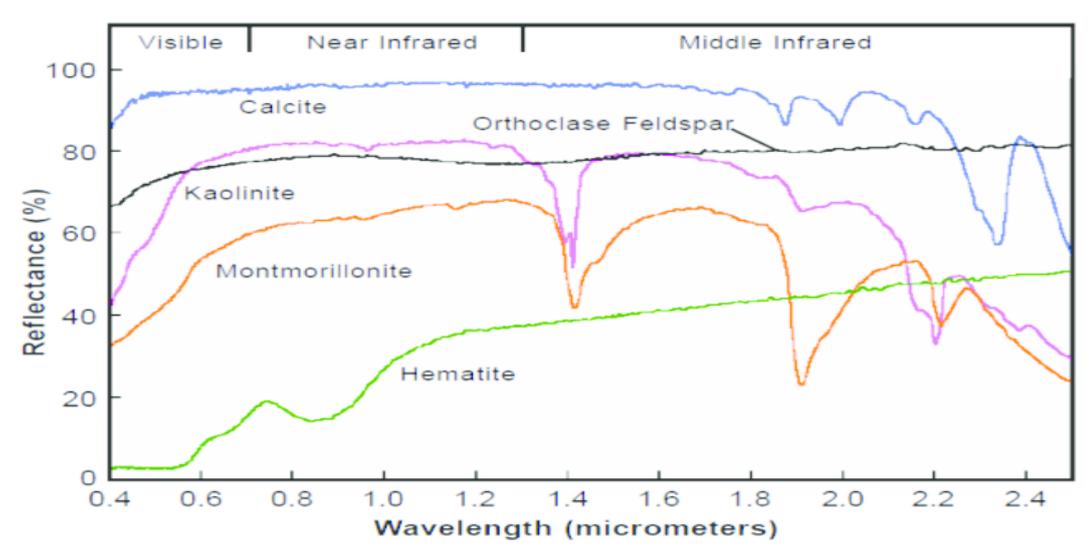
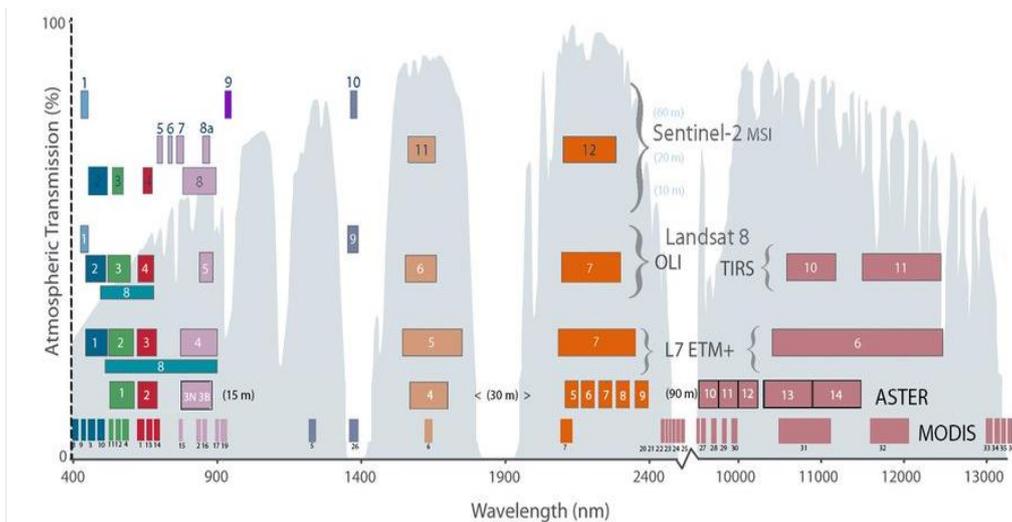


Figura 3.3

Comparación de las bandas de Landsat 7 y 8, Sentinel-2 y ASTER



Nota: Tomada de (El Atillah et al., 2019). En esta comparación de las bandas Landsat-7, Landsat-8 y Landsat-9 con las bandas Sentinel-2, ASTER y MODIS. Tenemos los anchos de banda, ubicaciones de longitudes de onda y región espectral; VIS (azul, verde y rojo), NIR (lavanda), SWIR 1 (naranja tierra), SWIR 2 (rojo ladrillo) y las bandas TIR (rosado). Los números de banda para las bandas MODIS (fila inferior 1) se muestran en orden de longitud de onda, en colores que coinciden con las bandas; azul (8, 9, 3, 10), verde (11, 12, 4), rojo (1, 13, 14), lavanda (15, 2, 16, 17, 19), azul claro (5, 26), naranja tierra (6), rojo ladrillo (7), rosado (20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36). La banda estrecha 18 (931-941 nm) no está representada en esta figura porque está dentro del rango de longitud de onda de la banda 19

(915-965 nm). La banda 18 está ubicada en la característica de absorción de vapor de agua atmosférico y contribuye al producto de agua precipitable MODIS. Las 14 bandas de ASTER (fila 2) varían en tamaño de 15 a 90 m. Las bandas ópticas Landsat-7 y 8 (filas 3 y 4) tienen 30 m de píxeles y bandas térmicas de 120 m (L-7), 100 M (L-8), Sentinel-2 (fila superior 5) tiene 13 ópticas. Tomada de (Ustin & Middleton, 2021).

Tabla 3.2

RBD probados para las bandas Sentinel 7 SWIR, en base al RBD en VNIR-SWIR ASTER

Mineral	RBD (LANDSAT 7)	RBD (ASTER)	Fuentes
Moscovita/esmectita/illita	7	(5 + 7) / 6	Mars and Rowan (2006)
Alunita/caolinita/pirofilita	(5+7) /7	(4 + 6) / 5	Rowan and Mars (2003)
Montmorillonita	(5+7) /7	(4 +6) / 7	Fatima et al. (2017)
Illita/moscovita	(5+7) /7 ²	(4 + 7) / (6 ²)	Mars et al. (2011)

3.1.3 Elaboración Cartográfica

En esta fase, haciendo uso de SIG y colocando como base la interfaz de Google Earth se generan coberturas de vías y ríos. Esto se debe a que se pueden ver los ríos existentes de la zona y las vías de acceso actuales. Además, al revisar el catastro minero del Ecuador se pudo crear el mapa de catastros del cantón Isidro Ayora con el fin de localizar las zonas con arcilla caracterizadas. Seguido a esto, con el conocimiento de la geomorfología de la zona obtenida de SIGTIERRAS, IGEM y el conocimiento del tipo de suelo, el cual se lo obtuvo al leer trabajos científicos, tesis e investigaciones científicas se crea el mapa geológico de la zona. Además, para la creación de la topografía se descarga de LandViewer 380 teselas de terreno (píxeles de 4.77*4.77) y se las trabajarlas en el ArcGIS Pro, generándose primero el mosaico de estas y luego el relieve usando la herramienta de Spatial Analysis Tools>>Surface>>Hillshade, de aquí que se pueden obtener sus curvas de nivel cada 10m.

3.1.4 Integración y correlación

Una vez obtenidos los mapas de catastro, vías, ríos, relieve, alteraciones y geológico, se hace uso de ArcGIS PRO y ArcMap, con ayuda de la herramienta de unir, generando un mapa de targets de exploración.

3.2 Fase 2: Recopilación de muestras en campo

La selección de los puntos de las tomas de muestras es en relación con los resultados obtenidos en el mapa geológico y alteraciones minerales (arcillas). Los materiales necesarios para esta fase son:

- Tabla de color de Munsell.
- Bolsas plásticas de polietileno transparente con capacidad para 3 kg de muestra.
- Guantes desechables.
- Palas y recipientes de plástico.
- Palín en acero.
- Costal de fibra sintética para el cuarteo.
- Marcadores permanente color negro.
- Cinta para enmascarar 5cm y cinta transparente de 5 cm de ancho.
- Cinta métrica.
- Cajas plásticas para el transporte de muestras.
- Brújula, martillo geológico, navaja, lupa de 10x o 20x, imán, altímetro, GPS, HCl diluido al 10%.
- Celular para tomas fotos.
- Mapa con las zonas de interés.

El muestreo se realiza en sitios accesibles, preferiblemente expuestos el horizonte B (0.50 m), C y la roca fresca. Se debe realizar el método de textura a mano, donde una parte pequeña de muestra se humedece y amasa entre los dedos hasta formar una masa homogénea, presionándose

entre el índice y pulgar para formar un cordón de cohesión, brillante y plástico o pegajoso.

Además, la prueba de plasticidad está directamente relacionada con la proporción de arcillas en la muestra.

Tabla 3.3

Relación de plasticidad de arcilla con su proporción

Plasticidad	Descripción
No plástico	No se forma cordón
Ligeramente plástico	Se forma cordón con dificultad
Plástico	Se forma cordón, pero, sin anillos.
Muy plástico	Se forma cordón largo con anillos.

La toma de muestras consiste en, perforar manualmente el piso con un palín de acero, una vez hecho el hoyo inicial se retira el horizonte A (materia orgánica), con la lampa de plástico se recoge el material del horizonte B. Se toma una pequeña porción, se humedece y se forma una bola de aproximadamente 5cm, se lanza al aire y si al caer en la mano mantiene su cohesión, o si al presionarla con la mano mantiene su forma es arcilla y se procede a tomar la muestra. Según las normas AASHTO T 248 (2014), se guardan en fundas ya rotuladas (IA_IC-00X). Cuando estén las bolsas selladas se empacan y se llevan al laboratorio.

3.3 Fase 3: Análisis físicos de las muestras en laboratorio

3.3.1 Granulometría por lavado

Propiedad del suelo que está relacionada con su comportamiento, debido a que tiene influencia sobre la retención-movimiento de agua y retención disponibilidad de nutrientes, trabajabilidad y erosionabilidad. (Gabriels & Lobo, 2006) Este análisis se realiza para cada una de las muestras obtenidas en campo. Los pasos que se realizaron fueron los siguientes:

1. Secar las muestras en el horno a 40 °C por 24 horas.
2. Pasadas las 24 horas se sacan del horno, se dejan enfriar y se disgregan.
3. Se cuarteán las muestras dos veces.

4. Se coloca en un recipiente y se lo pesa, quedando 500-600 g.
5. Se lava la muestra y se deja pasar por el tamiz No. 200, hasta que el agua salga limpia.
6. Colocar las muestras lavadas en un recipiente, para luego pesar cada una y se guarda los datos en la hoja de trabajo.
7. Colocar al horno la muestra lavada por 24 horas.
8. Luego de las 24 horas se sacan del horno, se pesan y se registran los datos.
9. Si el valor de las muestras con material fino disuelto en agua es menor al 50%, se realiza el tamizado.

Figura 3.4

Proceso de granulometría

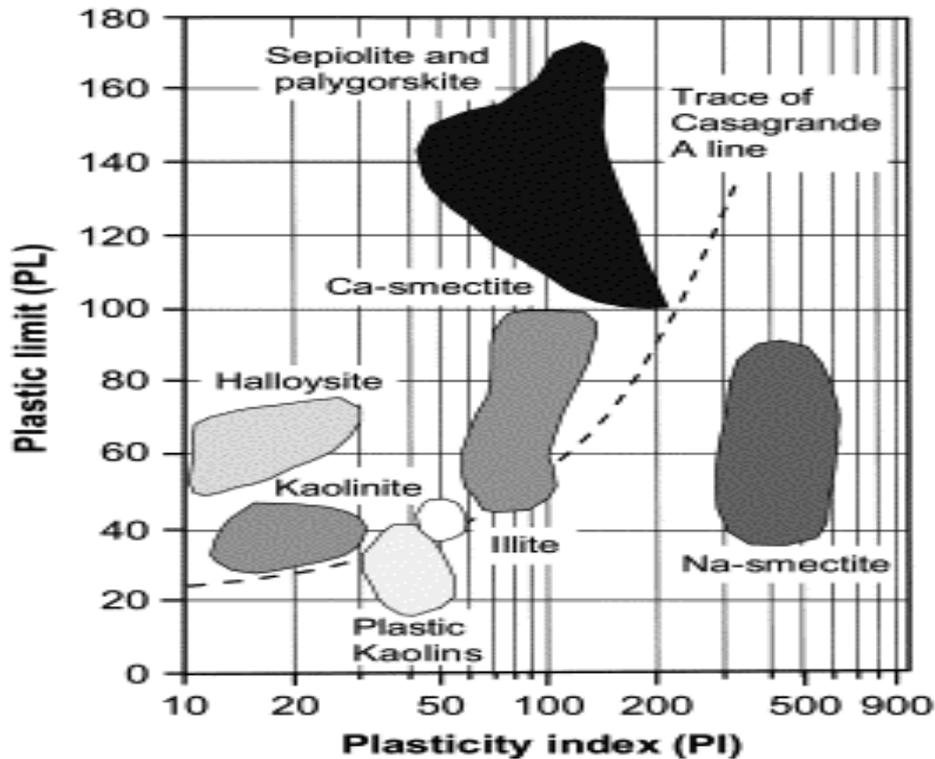


3.3.2 Límites de Atterberg

El propósito de realizar este ensayo es obtener el límite líquido, plástico e índice de plasticidad, para trabajar con la **Figura 3.5**

Figura 3.5

Identificaciones de arcillas usando el límite plástico y el índice de plasticidad.



Nota: Tomada de Bain, 1971.

3.3.2.1 Límite Líquido (LL). Evalúa la plasticidad de las arcillas, donde el índice de plasticidad sirve de guía para establecer la factibilidad de una arcilla y la distribución del tamaño de partículas. La plasticidad es una propiedad de los suelos finos, Atterberg (1911) indicó que al incrementar arcillas en una muestra de suelo también incrementará el límite líquido y el índice de plasticidad o viceversa. El proceso es el siguiente:

1. Secar las muestras en el horno a 40 °C por 24 horas.
2. Pasadas las 24 horas se sacan del horno, se dejan enfriar y se disgregan.
3. Cuartear las muestras dos veces.
4. Se toma una cantidad, se la coloca sobre el tamiz No. 200 y se mueve hasta que el material fino haya pasado por este tamiz.
5. Se coloca este material en un mortero y se lo pesa, quedando 150g de material fino. Dicho valor se registra en la hoja de trabajo.

6. Añadir de 5 ml gradualmente y homogenizar la muestra con una espátula, hasta obtener una masa de suelo homogenizada y de consistencia suave.
7. Verificar que la copa esté apoyada sobre la base de caucho, con la espátula tome una porción de la masa y cloque den la copa. Tomar en cuenta que no se debe colocar hasta la mitad de la copa con material (10mm de alto en la parte más profunda).
8. Con el ranurador, trazar un canal desde el borde más alto hasta el más bajo de la copa, tomando como centro los dos tornillos en la parte superior del borde de la copa, dividiendo así la muestra en dos mitades iguales.
9. Con la manivela levantar y dejar caer la copa a razón de 1.9 a 2.1 caídas por segundo hasta que las dos mitades entre en contacto (que el fondo de la copa no sea visible) una longitud de 13 mm. (verificar la longitud con el vernier) y anote el número de golpes. El rango de número de golpes se establece en la **Tabla 3.4**.
10. Retirar con una espátula la porción de suelo que entró en contacto. Y tomar la humedad.
11. Tomar una porción de la muestra que fue preparada para la determinación del LL (20g). Reducir la humedad de la porción de muestra a una consistencia para manipularse sin que pegue en las manos o en la placa de vidrio.
12. Colocar el material sobrante de la copa de regreso al mortero. Añadir más agua (para bajar el número de golpes). Se registran los datos en la hoja de trabajo, se procede a realizar el mismo paso 2 veces más.
13. Las porciones tomadas se las pesa y se las mete al horno a 40 °C por 24 horas. Pasado este tiempo, se dejan enfriar, se pesan y se guarda el registro.

Tabla 3.4

Rango de los números de golpes para llevar a cabo el análisis

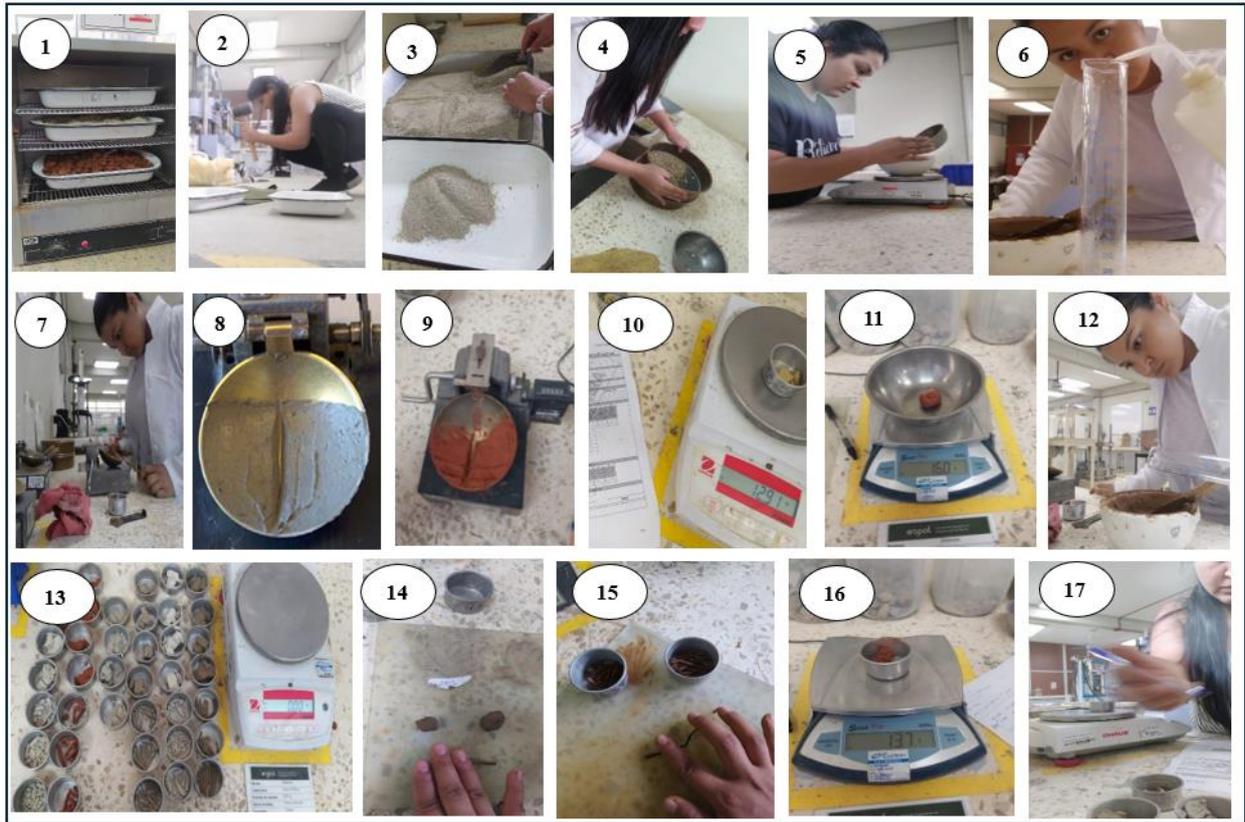
Ensayos	Número de golpes
Primero	25-35
Segundo	20-30
Tercero	15-25

3.3.2.2 Límite Plástico (LP) Para la determinación de este límite se llevan a cabo los siguientes pasos, donde se debe considerar los pasos anteriores con parte de este:

14. Tomar una pequeña porción de 2g y dé una forma elipsoidal con ambas palmas de la mano. Colocar la muestra sobre una placa de vidrio y hacerla rodar con la mano con presión suficiente para formar un hilo de diámetro uniforme a lo largo de su longitud. Rodar hasta llegar a un diámetro de 3.2 mm (se verifica con el vernier).
15. Romper el hilo en 6 u 8 pedazos, amase y repita esta operación hasta que la muestra se desmorone o asomen estrías a lo largo del hilo.
16. Tomar el peso de la muestra en este estado. Realizar este proceso 2 veces más.
17. Colocar en el horno a 40 °C por 24 horas. Pasado el tiempo sacar del horno, dejar enfriar, pesar y guardar los datos en la hoja de registro.

Figura 3.6

Proceso de análisis de límites de Atterberg.



Finalmente, para determinar índice de plasticidad se utiliza la ecuación:

$$IP = L - LP$$

Capítulo 4

4 Resultados y análisis

4.1 Procesamiento

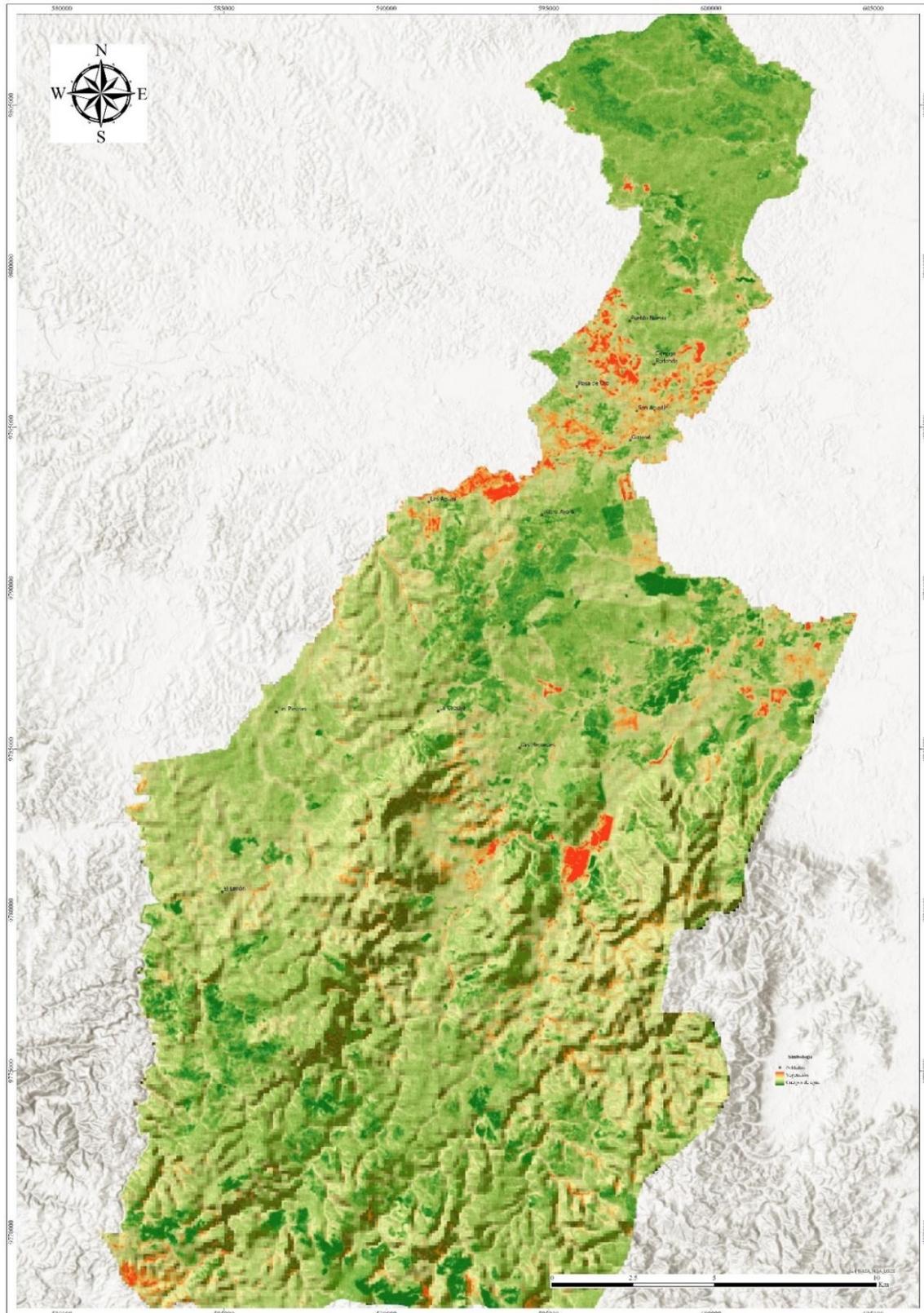
4.1.1 Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)

Al aplicar el NDVI de la imagen satelital, se pueden observar áreas color rojo, siendo la representación de la vegetación. De ahí que, las zonas donde se localiza gran parte de vegetación son al centro norte del cantón con un 10%, al centro y al sur un 4% puesto que, encontramos algunas plantaciones de mango, arboles herbáceos y pitajayas. Esta vegetación mostrada en la imagen satelital abarca algunas zonas cercanas a los poblados de Las Aguas en mayor proporción, seguido de Rosa de Oro, Pueblo Nuevo, San Agustín y Ciénaga Redonda.

Del mismo modo, se tienen las zonas color verde intenso representando los cuerpos de agua en una proporción del 3% a nivel cantonal. Estos cuerpos de agua se encuentran distribuidos al centro norte del Cantón. Y si se logran ver algunas zonas color verde intenso al Sur, se debe a que existen algunos charcos de agua temporales, incluso estos resultan debido a los regadíos de las plantaciones y de los riachuelos existentes en el norte, sin dejar de lado que en estas zonas existe la presencia de cauces y algunas cuencas hidrográficas.

Figura 4.1

Mapa del índice de vegetación de diferencia normalizada del cantón Isidro Ayora.



4.1.2 Profundidad de banda de absorción relativa (RBD)

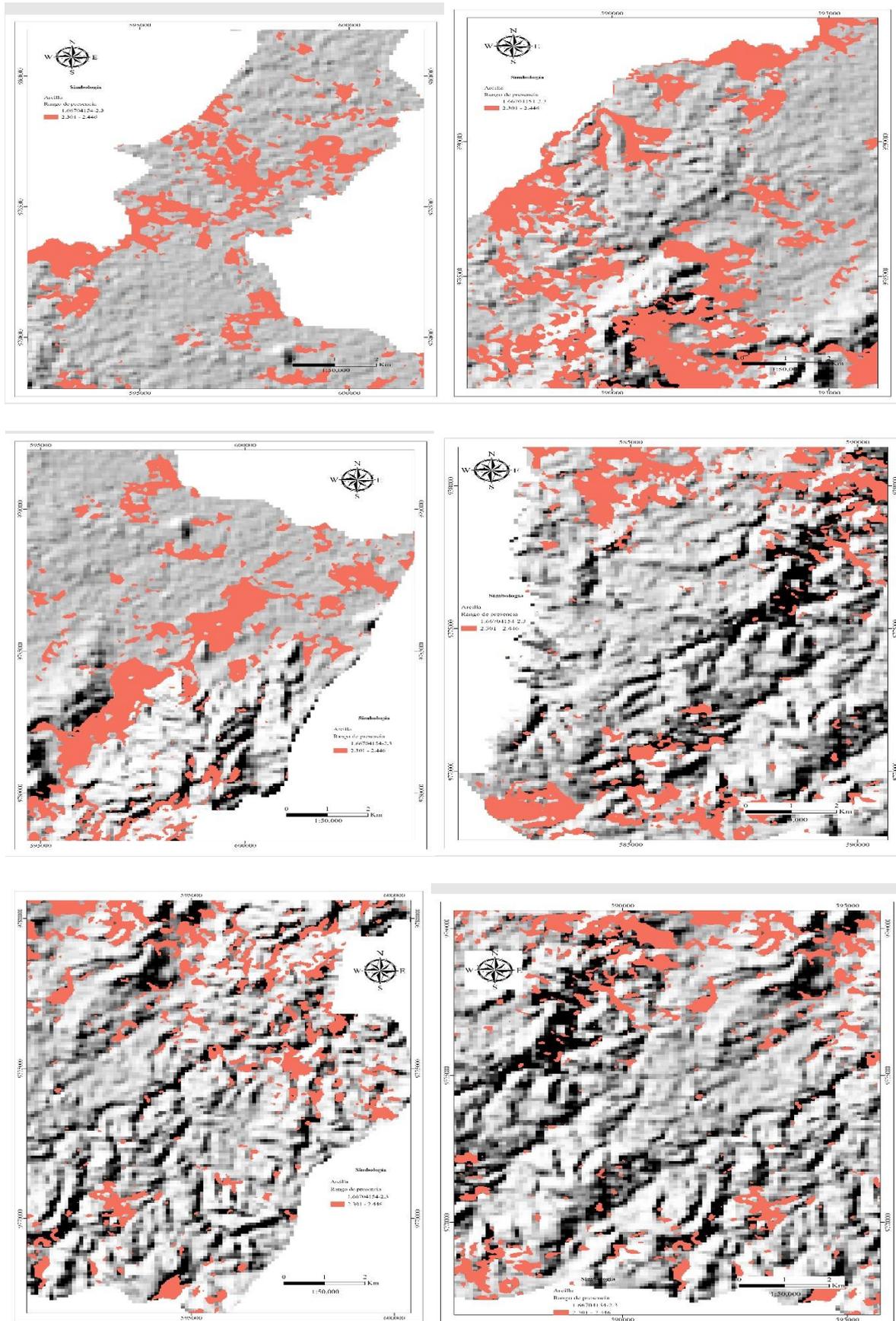
Para la identificación de arcillas en el cantón Isidro Ayora, principalmente se utilizó dos bandas que se encuentran en SWIR, siendo la banda 5 y 7, puesto que al trabajar con Landsat 7, se puede hablar de una sola combinación para la determinación de arcillas al tener la misma relación entre el numerador (5+7) y el denominador (7).

Existe la presencia de arcilla en diversas partes del cantón Isidro Ayora, sin embargo 354954 km² del área norte del cantón no presenta alguna o casi nula existencia de arcilla, de ahí que, muy pocas zonas se pueden excluir del estudio. Se determina que existen grandes anomalías en el centro-norte y centro sur del cantón, esto se debe a que las coloraciones anaranjadas se hallan en estas zonas y representan grandes áreas, lo cual incurre a nuestro interés de prospectar que tipo de arcilla se logra determinar en dichas zonas.

Los resultados de la aplicación de combinación de bandas SWIR, abre camino a estudiar diferentes partes del cantón como son, los sitios El Limón, Las Piedras, Las Aguas, pero, sobre todo en la gran anomalía que existe en las zonas cercanas a los pueblos de San Agustín, Rosa de Oro, Ciénaga Redonde, Corozal y Pueblo Nuevo. Además, cabe mencionar que el estudio no se extendería al sur a profundidad debido a que, se encuentran concesiones mineras donde se explotan zeolita. Existiendo también la cantera del señor Pazmiño Cristóbal que explota cascajo y la del GAD municipal de Isidro Ayora, donde se adquiere material de construcción.

Figura 4.2

Cantón Isidro Ayora con su índice de arcillas, presentado en 6 partes a escala 1:50000



4.2 Integración y correlación

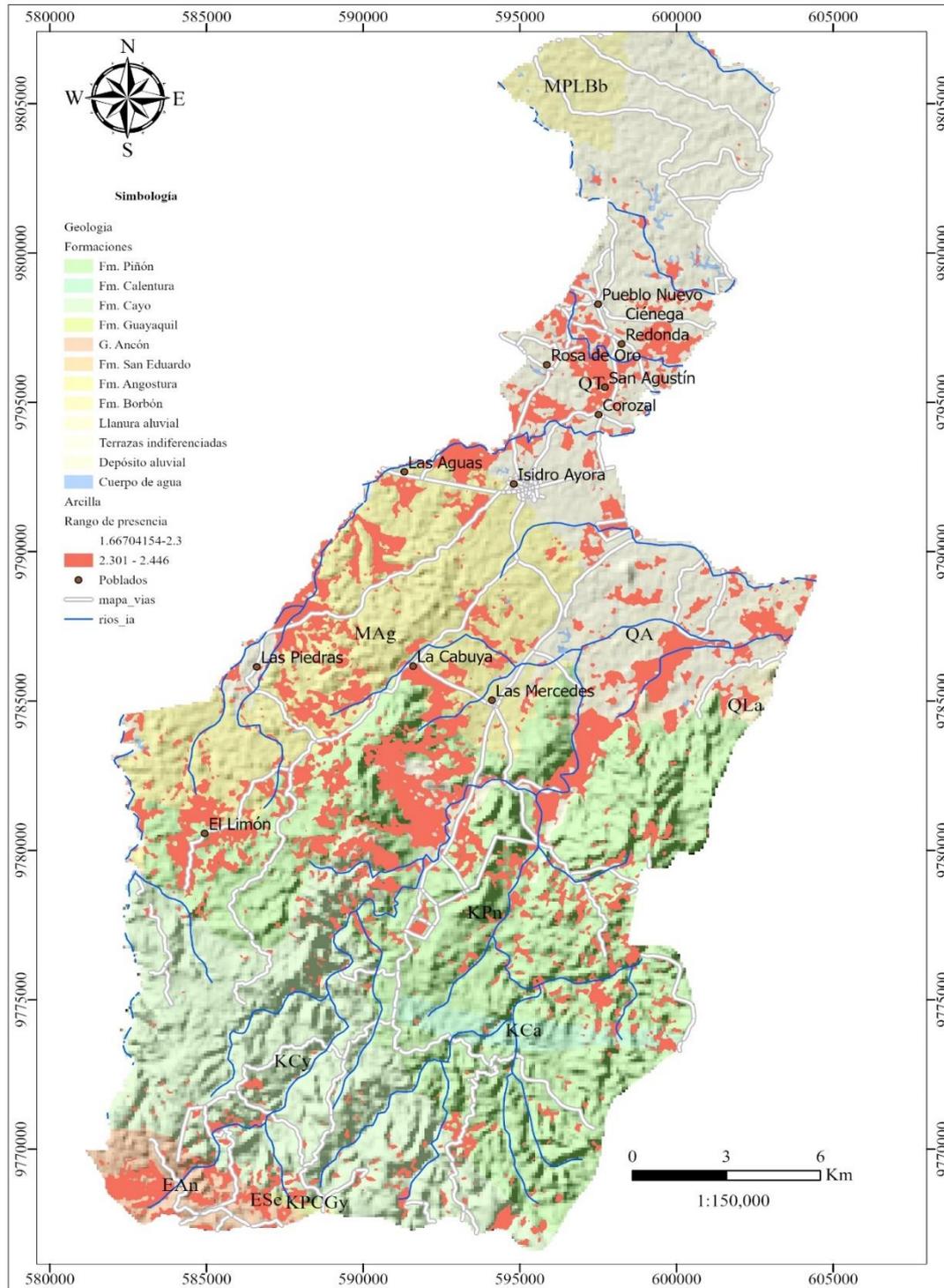
Con ayuda del software de ArcGIS PRO, se hace la unión de todas las coberturas creadas, con el propósito de diseñar un mapa con los detalles más precisos que puedan ayudar en una salida a campo, la cual se llevó a cabo más adelante.

Para la clasificación y la determinación de los puntos a considerarse para muestrear fue de gran importancia diseñar el mapa de geología del cantón, puesto que al conocer su litología y el tipo de suelo con el que contamos al ir a campo, se eligieron las terrazas indiferenciadas debido a la anomalía de arcilla presente, por la presencia de arcilla limosa y limo arenoso, lo cual al momento de tomar la muestra no sería muy trabajoso conseguirla. Además, la Fm. Angostura presenta areniscas y limo arcilloso, teniéndose entonces un suelo suave y de fácil manipulación.

Es importante mencionar que, en la Fm. Piñón también se visualiza gran anomalía de arcilla, por eso se considera colocar un punto para conocer la existencia de arcilla, aunque existe suelo duro, lo cual conlleva más tiempo de estudio y al momento de muestrear puede generar agotamiento o el tiempo estimado para el muestreo suele ser más largo.

Figura 4.3

Mapa integrado, que contiene el relieve, los ríos, las vías, la geología y el índice de arcillas del cantón Isidro Ayora.



4.3 Recopilación de muestras en campo

Esta fase tuvo una duración de 2 días, donde, para la recopilación de muestras en campo, se trabajó con mapas a escala 1:5000 teniendo como base la interfaz del Google Earth, lo cual ayudó a localizar mejor los puntos y donde exactamente llevar a cabo los barrenos para la toma de muestras. Además, cuando no se podía tomar la muestra en la zona establecida, se usó el mapa de índices de arcillas a escala 1:10000 con los puntos escogidos en la fase I. Aunque, inicialmente se planificó tomar 12 muestras, algunas zonas no eran accesibles o estaban muy cercanas, debido a esto se recolectaron solo 8 muestras arcillosas. En la **Tabla 4.1**, se pueden ver los puntos muestreados con sus coordenadas correspondientes.

Tabla 4.1

Estaciones muestreadas al ir a campo.

Estaciones	UTM X	UTM Y
IA-IC-001	591637	9792445
IA-IC-002	590950	9789217
IA-IC-003	589285	9787810
IA-IC-004	589858	9788054
IA-IC-005	589039	9783737
IA-IC-006	598078	9796163
IA-IC-007	598395	9797806
IA-IC-008	597939	9800146

4.4 Análisis físicos de las muestras en laboratorio

4.4.1 Granulometría

La muestra IA-IC-005 es una arena-arcillosa, puesto que fue aquella que arrojó un porcentaje menor al 50% de grano fino, debido a que, al realizar el proceso de tamización, solo 0.17g de 515.99g pasó por el tamiz 200. Ahora bien, previo a la tamización se realizó granulometría por lavado, donde 225.83g también pasaron por el tamiz 200. De ahí que, la

muestra fina tendría una masa de 226g, correspondiente al 44% del porcentaje de la masa total de la muestra. Estos resultados se muestran en la **Tabla 4.1**.

Tabla 4.2

Datos obtenidos de IA-IC-005, durante el proceso de granulometría de lavado en el laboratorio.

ID del recipiente		C1
Masa del recipiente (g)	A	167.13
Masa del recipiente + muestra seca antes del lavado (g)	B	683.12
Masa de la muestra seca antes del lavado (g)	C=(B-A)	515.99
Masa del recipiente + muestra lavada y secada al horno (g)	D	456.29
Masa de la muestra seca retenida sobre tamiz No. 200 (g)	E=(D-A)	289.16
Masa de la muestra que paso el tamiz No. 200 (g)	F=(C-E)	225.83
Porcentaje más fino que el tamiz No. 200 (%)	G=(F/C) *100	44%

Las muestras IA-IC-001, IA-IC-002, IA-IC-003, IA-IC-004, IA-IC-006, IA-IC-007 y IA-IC-008 pueden ser arcillas o limos, debido a que, al hacer granulometría por lavado de estas muestras, al momento de pesar el material seco y retenido por el tamiz No. 200 arrojaron un porcentaje superior al 50% de grano fino. Considerándose los valores para cada una de 62%, 66%, 73%, 54%, 73%, 87% y 93% respectivamente. En vista a esto, estas muestras se destinaron al desarrollo de análisis de Límites de Atterberg.

Tabla 4.3

Resultados de las 8 muestras luego de haber realizado granulometría por lavado.

Determinacion de la fraccion retenida sobre el tamiz No. 200 mediante lavado		1	2	3	4	6	7	8
ID del recipiente		C3	C13	C4	C18	C7	C16	C12
Masa del recipiente (g)	A	171	159,1	151,82	166,1	158,77	154,4	152,75
Masa del recipiente + muestra seca antes del lavado (g)	B	599,24	551,57	652,89	607,29	619,35	455,4	546,96
Masa de la muestra seca antes del lavado	C=(B-A)	428,24	392,47	501,07	441,19	460,58	301	394,21
Masa del recipiente + muestra lavada y secada al horno (g)	D	332,41	293,67	289,16	367,76	281,48	194,28	181,92
Masa de la muestra seca retenida sobre tamiz No.200 (g)	E=(D-A)	161,41	134,57	137,34	201,66	122,71	39,88	29,17
Masa de la muestra que paso el tamiz No. 200 (g)	F=(C-E)	266,83	257,9	363,73	239,53	337,87	261,12	365,04
Porcentaje mas fino que el tamiz No. 200 (%)	G=(F/C)*100	62%	66%	73%	54%	73%	87%	93%

4.4.2 Límites de Atterberg

Las muestras categorizadas con alto porcentaje de grano fino **Tabla 4.3** son arcillas de alta y baja plasticidad **Figura 4.4**. Debido a que, el límite líquido de las muestras se mantiene entre los valores 37-65%, y el índice de plasticidad entre 14 y 39.71% y al representar estos valores en la carta de plasticidad de Casagrande la muestra IA-IC-003 y IA-IC-007 resultan ser arcillas inorgánicas de alta plasticidad, y las 5 muestras restantes son arcillas inorgánicas de plasticidad media.

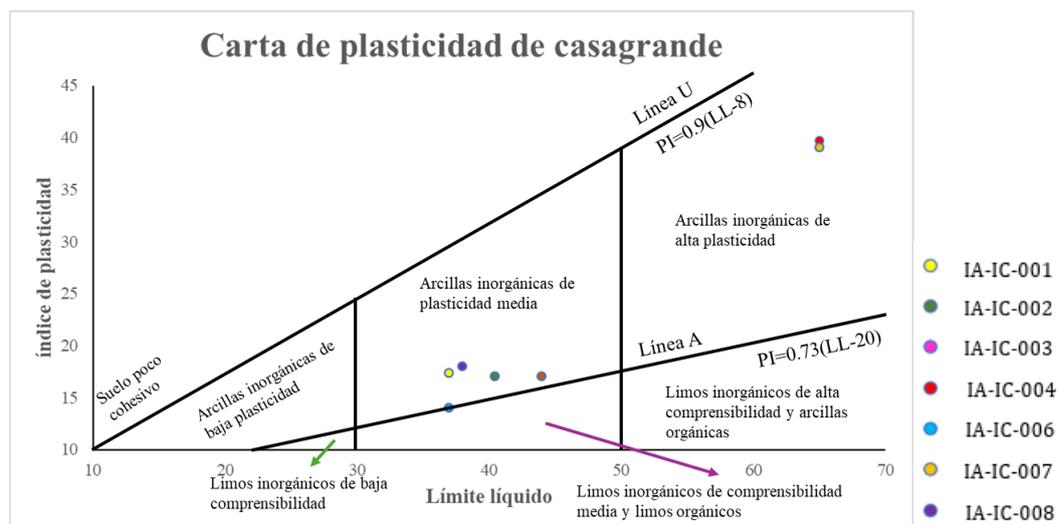
Tabla 4.4

Resultados obtenidos de haber realizado el análisis de límites de Atterberg.

	001	002	003	004	006	007	008
L.L	37 %	40.45 %	65 %	44 %	37 %	65 %	38 %
L.P	20.14 %	23.46 %	25.57 %	27.17 %	22.56 %	26.36 %	19.47 %
I.P	17.33 %	16.99 %	39.71 %	17%	14 %	39 %	18 %

Figura 4.4

Carta de plasticidad de Casagrande

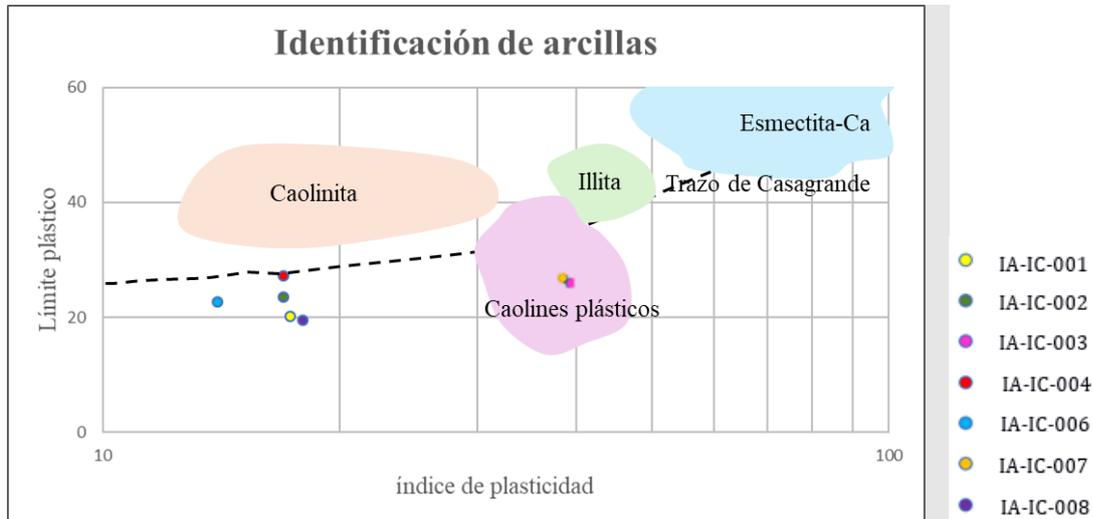


Nota: Modificada de Braja M. Das, 2001. Las muestras IA-IC-003 y IA-IC-007 se encuentran en el área de arcillas inorgánicas de alta plasticidad, y las muestras IA-IC-001, IA-IC-002, IA-IC-004, IA-IC-006 y IA-IC-008 sobre el área de arcillas inorgánicas de plasticidad media.

Al colocar los datos en la gráfica de identificación de arcillas usando el límite plástico y el índice de plasticidad, se obtuvo que cinco muestras de arcillas pertenecen al grupo de la caolinita y dos son caolines plásticos.

Figura 4.5

Identificación de arcillas usando el límite plástico y el índice de plasticidad

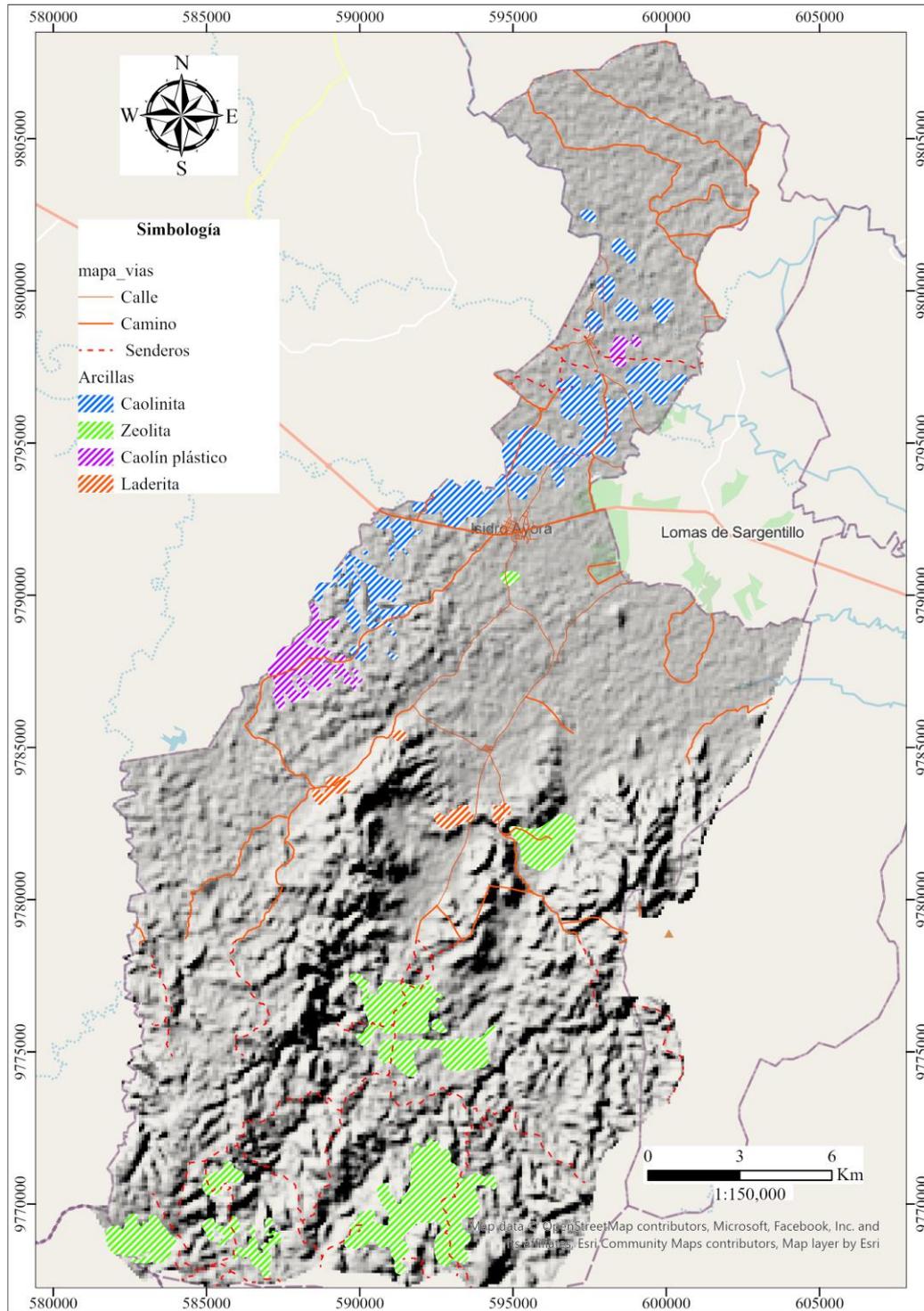


Nota: Modificado de Bain, 1971.

4.5 Mapa de ocurrencia de arcillas

Figura 4.6

Mapa de ocurrencias de arcillas industriales en el cantón Isidro Ayora, provincia del Guayas.



Nota: En el cantón Isidro Ayora, encontramos arcillas industriales como: Caolín con caolinita, zeolita y laderita.

Capítulo 5

5 Resultados y análisis

5.1 Conclusiones

Debido a que, existen trabajos científicos, tesis, investigaciones e inclusive hay registro en el catastro minero donde se evidencia la explotación de zeolita en la parte Centro-Sur del cantón Isidro ayora, no se consideró como zona de interés a muestrear. Solo se consideran 8 puntos a visitarse, aunque previamente se tenía planeado muestrear en 10 puntos, estos se localizan en el centro-Norte del cantón.

Al trabajar con Landsat 7, se cuenta con una ventaja y una desventaja. Esto se debe a que, al trabajar con imágenes satelitales de Landsat 7 y de nivel 2, al hacer la combinación de bandas para descubrir la presencia de arcillas en la zona de interés solo se pueden determinar de manera general dicha ocurrencia, es decir, no se puede estimar el tipo de arcilla que se encuentra en la zona. Ahora bien, lo bueno de esto es que, si quiere obtener un resultado rápido es el camino más fácil, puesto que, ya no se hacen correcciones atmosféricas, radiométricas y geométricas a las imágenes satelitales y el proceso de combinación de bandas es directo, rápido y fácil.

Las imágenes de Landsat 7, también brindan información de las ocurrencias de arcillas, salvo que puede existir un margen de error del 10%, debido a que el sensor al captar la escena de la imagen satelital y al procesarla mediante el índice espectral de profundidad de banda de absorción relativa, consideró el suelo arenoso como arcilloso. Esto se evidenció, en la salida de campo siendo que, en el mapa de índice de arcillas se podían visualizar anomalías de este material, pero en realidad al tomar una porción y hacer la prueba cualitativa del material, la bolita se desmoronada, aunque mantenía un 40% de plasticidad.

El uso de SIG al aplicar el índice espectral de profundidad de banda de absorción relativa aplicado a la imagen satelital obtenida del USGS, en conjunto con el conocimiento de la

geología, el trabajo de campo realizado en el centro-norte del cantón Isidro Ayora, permitieron elaborar un mapa de ocurrencia de arcillas industriales la presencia de arcillas las cuales son; tipo caolín (caolinita), lateritas (caolín con porcentajes de óxidos de hierro) y arcillas plásticas (caolín).

Al realizar la caracterización de las arcillas mediante los ensayos físicos de laboratorio en ESPOL, se determinó que en la Fm. Piñón se encuentra lateritas y zeolita, en la Fm. Angostura y las terrazas indiferencias hay caolín con caolinita y en la Fm. Cayo se halla zeolita.

Las muestras IA-IC-003, IA-IC-007, corresponden a arcillas tipo caolín plástico en base a los resultados de los análisis físicos de laboratorio, donde se obtuvo un porcentaje del 73% de grano fino en granulometría por lavado y los valores del límite plástico del 26 al 23% respectivamente e índice de plasticidad del 39% en las dos muestras.

La muestra IA-IC-005 es una arena con un 44% de arcilla, debido a que en base a los resultados obtenidos en el análisis de granulometría existió un 56% de grano mayor a 2 μm .

No solo la Fm. Angostura cuenta con caolinita, el 20% de las terrazas indiferenciadas poseen ocurrencias de esta arcilla. Sin embargo, se debe considerar el origen de este caolín plástico, lo cual incurre a que, al encontrar caolinitas en zonas muy cercanas a este, se manifiesta que tiene origen secundario, resultado del transporte y erosión de caolinita.

Existe la posibilidad de que se pueda encontrar Illita en las coordenadas 589284.9 E, 9787810.4 S y 598395.2 W y 9797806.3 S, ya que es considerada una arcilla perteneciente al caolín y tienen características más plásticas.

5.2 Recomendaciones

Es de suma importancia que se realice el NDVI de la imagen satelital, previo al proceso del RBD, ya que brinda información de la existencia de vegetación, trayendo consigo la idea clara de que estamos refiriéndonos a una anomalía de arcillas y no a la vegetación del área de interés. Contribuyendo a una adecuada y más precisa selección de las zonas de interés.

Los sitios de muestreo deben estar a una distancia lejana de fuentes evidentes de contaminación por actividades antrópicas. Al igual que se debe limpiar el material usado en la toma de muestra para evitar contaminantes al realizar las pruebas de laboratorio.

Antes de iniciar el barrenado se debe retirar y reservar el horizonte orgánico para luego de haber tomado la muestra se pueda realizar la debida restauración ambiental. Además, se debe tener presente que el área intervenida no exceda más de 30 cm x 30 cm.

Tras cada prueba o análisis físicos en límites de Atterberg, se debe limpiar la copa Casagrande, el ranurador y la base de caucho.

Es de suma importancia que las muestras deben secarse en el horno a 40° C para que puedan mantener su composición sin alteraciones. Si se llegase a secar a temperaturas más elevadas se le estaría haciendo un cambio a la composición química de las muestras, en nuestro caso a las arcillas.

Referencias

- Adiri, Z., El Harti, A., Jellouli, A., Maacha, L., Azmi, M., Zouhair, M., & Bachaoui, E. M. (2020). Mapping copper mineralization using EO-1 Hyperion data fusion with Landsat 8 OLI and Sentinel-2A in Moroccan Anti-Atlas. *Geocarto International*, 35(7), 781–800. <https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1544287>
- Adjei, S., & Elkatatny, S. (2021). Overview of the lightweight oil-well cement mechanical properties for shallow wells. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 198. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.108201>
- Aguilar & Mizobe, R. J. (2016). *Rehabilitación de edificio por el terreno del 16 de abril de 2016 DE Ecuador en la ULEAM*.
- Akisanmi, P. (2022). Classification of Clay Minerals. In M. René (Ed.), *Mineralogy* (p. Ch. 12). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.103841>
- Beaufort, D., Cassagnabere, A., Petit, S., Lanson, B., Berger, G., Lacharpagne, J. C., & Johansen, H. (1998). Kaolinite-to-dickite reaction in sandstone reservoirs. *Clay Minerals*, 33(2), 297–316. <https://doi.org/10.1180/000985598545499>
- Benitez, S. (1995). *Évolution géodynamique de la province côtière sud-équatorienne au Crétacé supérieur-Tertiaire*. <https://theses.hal.science/tel-00542421>
- Benvindo Da Luz, A., & Honório De Oliveira, C. (2005). *Argila-Bentonita*.
- Besoain, E. (1985). *Mineralogía de arcillas de suelos*. San José, Costa Rica: IICA.
- Bloodworth, K. A. J., Highley, D. E., Mitchell, C. J., Bloodworth, A. J., & Mitchell, D. E. (1993). *Industrial minerals laboratory manual kaolin*.
- Bulois, C., Saillard, M., Espurt, N., Benítez, P. R., Michaud, F., Barba, D., Peuzin, A., Hernández Salazar, M. J., Schenini, L., Régnier, M., & Ratzov, G. (2023). Structural

- evolution of the southern Ecuadorian forearc in the Santa Elena Peninsula region. *Journal of South American Earth Sciences*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104503>
- Cajamarca-Zuniga, D., & Campos, D. (2023). Definition of the most commonly used ceramic brick for construction in Ecuador: Type and dimensions. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.299>
- Christidis, G. E. (2013). Assessment of Industrial Clays. In *Developments in Clay Science* (Vol. 5, Issue C, pp. 425–449). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098259-5.00017-2>
- Christidis, G. E., Blum, A. E., & Eberl, D. D. (2006). Influence of layer charge and charge distribution of smectites on the flow behaviour and swelling of bentonites. *Applied Clay Science*, 34(1–4), 125–138. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2006.05.008>
- Córdoba, E., Gabriel, M., Galindo, P., Jesús, L., & Díaz, O. (2007). *Análisis de imágenes LANDSAT-7 ETM+ para determinar la cobertura del suelo de la zona costera de La Bahía de Tumaco*.
- De Tunja-Boyacá, M., Sepúlveda, E. L., & Medina, J. J. (2018). *Characterization of clay for the elaboration of bricks in the municipality of Tunja-Boyacá*.
- Del Plan Desarrollo Y Ordenamiento Territorial. (2016). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial*.
- Eguez, A., Dugas, F., Bonhomme, M., & Dolomieu, I. (1992). Las unidades Huigra y Alausi en la evolución geodinámica del valle interandino del Ecuador. In *BoL Geol. Ecuat* (Vol. 3).
- El Atillah, A., El Morjani, Z. E. A., & Souhassou, M. (2019). Use of the Sentinel-2A Multispectral Image for Litho-Structural and Alteration Mapping in Al Glo'a Map Sheet (1/50,000) (Bou Azzer-El Graara Inlier, Central Anti-Atlas, Morocco). *Artificial Satellites*, 54(3), 73–96. <https://doi.org/10.2478/arsa-2019-0007>
- El hammouti, A., Charai, M., Channouf, S., Horma, O., Nasri, H., Mezrhab, A., Karkri, M., & Tankari, M. A. (2023). Laboratory-testing and industrial scale performance of different

- clays from eastern Morocco for brick manufacturing. *Construction and Building Materials*, 370, 130624. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130624>
- El Janati, M. (2019). Application of remotely sensed ASTER data in detecting alteration hosting Cu, Ag and Au bearing mineralized zones in Taghdout area, Central Anti-Atlas of Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, 151, 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.12.002>
- Emam, A., Zoheir, B., & Johnson, P. (2016). ASTER-based mapping of ophiolitic rocks: Examples from the Allaqi-Heiani suture, SE Egypt. *International Geology Review*, 58(5), 525–539. <https://doi.org/10.1080/00206814.2015.1094382>
- Enrique, F., & Carballo, M. (2004). *Las zeolitas de la costa de Ecuador (Guayaquil): Geología, caracterización y aplicaciones*.
- Fernández, A., Coppel, I., Herrero, E., & Llorente, E. H. (2018). *Análisis Visual de Imágenes Obtenidas del Sensor ETM+-Satélite Landsat*.
- Fernández-Coppel, I., & Herrero Llorente, E. (2001). *El satélite Landsat: Análisis de imágenes obtenidas del sensor ETM+satélite Landsat*. Universidad de Valladolid, Valladolid, España.
- Gabriels, D., & Lobo, D. (2006). *Methods for determining granulometry and bulk density of the soil*.
- García, J. (23 de Agosto de 2017). *slideshare.net*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/JennyGarciaGonzalez/exploracion-geologica-minera-79077785>
- Goossens, P. J., ROSE JR., W. I., & FLORES, D. (1977). Geochemistry of tholeiites of the Basic Igneous Complex of northwestern South America. *GSA Bulletin*, 88(12), 1711–1720. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1977\)88<1711: GOTOTB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1977)88<1711: GOTOTB>2.0.CO;2)
- Goossens, P. J., Le, D., & Superieur, C. (1970). *The geology of Ecuador explanatory note for the geological map of the republic of Ecuador (1:500 000)*.

GrIm, R., & Guven, N. (1978). *Bentonites. Geology, Mineralogy, Properties and Uses.*

Amsterdam. Obtenido de

https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=xeiv1p6HKF0C&oi=fnd&pg=PP1&ots=NjdwY8Zf50&sig=OOCn7w49PuHVJ6uDVMt99jRBnmE&redir_esc=y#v=onepage&q&f=f

Haydn Murray, P. (2002). *Mining, Minerals and Sustainable Development Industrial Clays Case Study.*

INEGI. (2018). *Aspectos técnicos de imágenes Landsat.*

Iriondo, M. (2002). *Dinámica Litoral en la Costa Ecuatoriana durante el Holoceno Superior.*

Jordán, M. M., Pardo, F., Sanfeliu, T., & Meseguer, S. (2014). Ceramic behaviour of some clay deposits from Guayas province, Ecuador: Preliminary study. *Applied Clay Science, 101*, 619–622. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.09.028>

Lamrani, O., Aabi, A., Boushaba, A., Seghir, M. T., Adiri, Z., & Samaoui, S. (2021). Bentonite clay minerals mapping using ASTER and field mineralogical data: A case study from the eastern Rif belt, Morocco. *Remote Sensing Applications: Society and Environment, 24*. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100640>

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), 180–188. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clay.2008.01.012>

Mars, J. C., & Rowan, L. C. (2006). Regional mapping of phyllic- and argillic-altered rocks in the zagros magmatic arc, Iran, using advanced spaceborne thermal emission and reflection

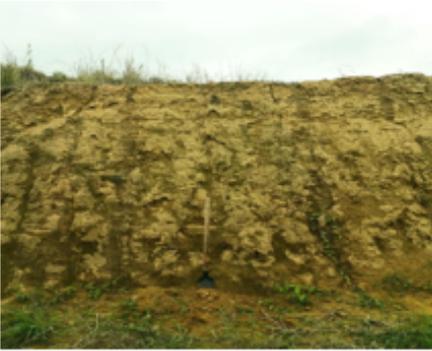
- radiometer (ASTER) data and logical operator algorithms. *Geosphere*, 2(3), 161–186.
<https://doi.org/10.1130/GES00044.1>
- Masoumi, M., Honarmand, M., & Salimi, A. (2021). Integration of concentration-area fractal model and relative absorption band depth method for mapping hydrothermal alterations using ASTER data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23.
<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100519>
- Mbey, J. A., Thomas, F., Razafitianamaharavo, A., Caillet, C., & Villieras, F. (2019). A comparative study of some kaolinites surface properties I.
- Mégard, Lebrat, Michel, & Mégard F. (1986). *Geoquímica de las formaciones volcánicas pre-orogénicas de edad cretácica y/o terciaria del Ecuador*.
- Mercedes, A., Carrera, M., Fortes, A., Chicarino Varajão, D., & Gonçalves, M. A. (2008). *Geociências Caracterização Mineralógica das Argilas da Península de Santa Elena, Equador (Mineralogical characterization of the clays of the Santa Elena Peninsula, Ecuador)*.
- Motivos, E. DE, Pfoyi, A., ep, C. DE, pr, oEL, & oEsAaFoLLo, D. Y. (2021). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*.
- Núñez del Arco, E. (2003). *Geología del Ecuador*.
- Pardo-Casas, F., & Molnar, P. (1987). Relative motion of the Nazca (Farallon) and South American Plates since Late Cretaceous time. *Tectonics*, 6(3), 233–248.
<https://doi.org/10.1029/TC006i003p00233>
- Pusch, R. (2015). *BENTONITE CLAY, Environmental Properties and Applications*. (1ra, Ed.)
doi:<https://doi.org/10.1201/b18543>
- Sánchez, P. J., & Pérez, J. L. (1998a). Características generales, propiedades, yacimientos y aplicaciones de pirofilita. I: Estructura, síntesis y características térmicas. *Cerámica y Vidrio*.

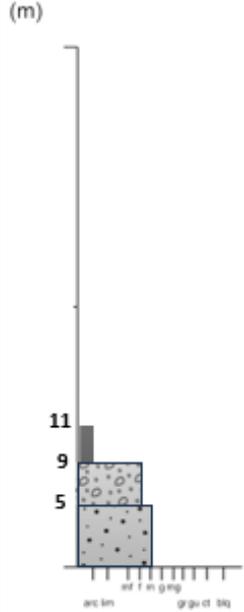
- Resende, M., Silva, L., Cano, & T.M. (2007). *Bentonita*. Simario: Mineral DNPM.
- Reynolds, J., RC, Moore, & DM. (1989). Principles and Techniques of Quantitative Analysis of Clay Minerals by X-Ray. *Powder Diffraction*, 332-337.
- Sánchez, P. J., & Pérez, J. L. (1998b). Características generales, propiedades, yacimientos y aplicaciones de pirofilita. II. Yacimientos, aplicaciones y utilización como materia prima cerámica. *Cerámica y Vidrio*.
- Schiffer, C., Doré, A. G., Foulger, G. R., Franke, D., Geoffroy, L., Gernigon, L., Holdsworth, B., Kuszniir, N., Lundin, E., McCaffrey, K., Peace, A. L., Petersen, K. D., Phillips, T. B., Stephenson, R., Stoker, M. S., & Welford, J. K. (2020). Structural inheritance in the North Atlantic. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 206). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102975>
- Subsecretaría de Minería. (2017). Bentonite. *Clay Minerals*.
- Subsecretaria de Minería. (2017). *Perfil de mercado de la bentonita*. Mexico.
- Tan, W., Qin, X., Liu, J., Michalski, J., He, H., Yao, Y., Yang, M., Huang, J., Lin, X., Zhang, C., & Liang, X. (2021). Visible/near infrared reflectance (VNIR) spectral features of ion-exchangeable Rare earth elements hosted by clay minerals: Potential use for exploration of regolith-hosted REE deposits. *Applied Clay Science*, 215.
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2021.106320>
- Teepakakorn, A., & Ogawa, M. (2022). Interactions of layered clay minerals with water-soluble polymers; structural design and functions. In *Applied Clay Science* (Vol. 222). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2022.106487>
- Unemi, R. C., Estatal, U., Moreno, M. E., Muñoz-Rosado, L. ;, Ramírez-Palma, M. ;, Caracterización, R., De Suelos, M., Costero, D. P., Ancón, E., & Anconcito, Y. (2019). Caracterización mecánica de suelos del perfil costero entre Ancón y Anconcito. *Revista Ciencia Unemi*, 12, 40–53. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=582661248005>

- Ustin, S. L., & Middleton, E. M. (2021). Current and near-term advances in Earth observation for ecological applications. In *Ecological Processes* (Vol. 10, Issue 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00255-4>
- Xu, D., & Guo, X. (2014). Compare NDVI Extracted from Landsat 8 Imagery with that from Landsat 7 Imagery. *American Journal of Remote Sensing*, 2, 10–14.
<https://doi.org/10.11648/j.ajrs.20140202.11>
- Yang, Y., Zhong, Z., Du, H., Li, Q., Zheng, X., Qi, R., & Ren, P. (2023). Experimental and theoretical study to control the heavy metals in solid waste and sludge during pyrolysis using modified expanded vermiculite. *Journal of Hazardous Materials*, 132885.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132885>
- Zapata. (2018). *Tipos de suelo: Caracterización de suelos arcillosos y limosos*.

Anexos

CAMPO

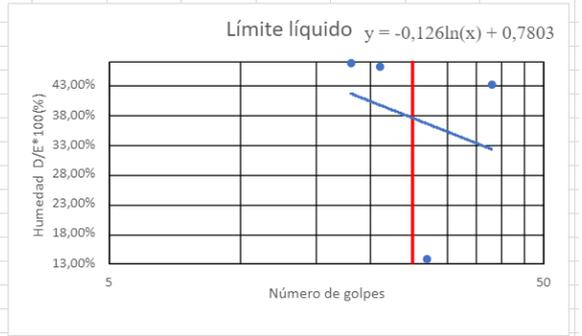
FICHA DE CAMPO		
Fecha:	05/01/2023	Nombre: Inés Castillo
Localización/Ubicación geográfica:	Cantón Isidro Ayora	
Nombre de sección:	Punto 01	Escala: 1:5 000
Coordenadas [UTM WG584 17S]:	Longitud: 591636.8 Latitud: 9792445.3	
Puntos de referencia/características	A un costado de la vía, Pedro Carbo-Isidro Ayora, cerca de un charco lagunoso ente un tamaño de 10 metros.	
Descripción MACRO		
Características	Descripción	Imagen
Estructura del depósito	Masivo con intercalaciones de conglomerados basales.	
Color:	Blanca, además de amarillenta amarronada.	

Nombre Unidad - Características	Espesor (cm)	Columna estratigráfica	Descripción Litológica
Formación Angostura	2 m 4 m >1m	(m) 	<p>Masivo, con coloración blanca grisácea, con tonalidades rosáceas. Matriz soportada, con base arcillosa</p> <p>Masivo, color amarillento amarronado con lentes de arena muy color anaranjada. Matriz soportada con un porcentaje de 60% de gravas de tamaño máximo de 2 cm, subredondeados formando una capa de líticos de 10-15 cm, erosivo con vetillas de carbonatos. La matriz es arenosa-arcillosa.</p> <p>Masivo con conglomerados blanquecinos. Matriz soportada, areniscas de grano medio.</p>
Otras observaciones: No existe presencia de fósiles.		Muestras (Código): IA-IC-001	

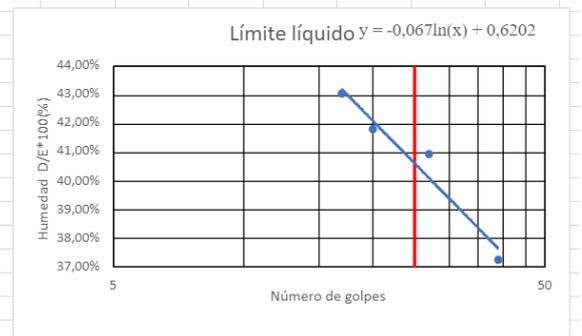
LABORATORIO

Datos tomados en el laboratorio y todo su proceso en Excel.

Límite líquido										x	y
	1	2	3	4						25	0,13
Id del recipiente	1	26	94	88						25	0,47
Masa del recipiente A(g)	5,79	6,17	5,74	6,14							
Número de golpes	38	27	21	18							
Masa de suelo humedo + recipiente B(g)	18	19,78	16,48	21,55							
Masa del suelo seco + recipiente C(g)	14,31	18,13	13,08	16,63							
Masa de agua evaporada D=B-C (g)	3,69	1,65	3,4	4,92							
Masa de suelo seco E=C-A (g)	8,52	11,96	7,34	10,49							
Humedad D/E*100(%)	43,31%	13,80%	46,32%	46,90%							
Límite plástico											
	1	2	3								
Id del recipiente	61	118	12								
Masa del recipiente A(g)	6,09	6,11	6								
Masa del suelo humedo + recipiente B(g)	12,15	11,24	11,25								
Masa del suelo seco + recipiente C(g)	11,17	10,35	10,37								
Masa del agua evaporada D=B-C (g)	0,98	0,89	0,88								
Masa del suelo seco E=C-A(g)	5,08	4,24	4,37								
Humedad D/E*100(%)	19,29%	20,99%	20,14%							L.L	37%
Índice de Plasticidad										L.P	20,14%
IP = LL - LP =											
											17,33%



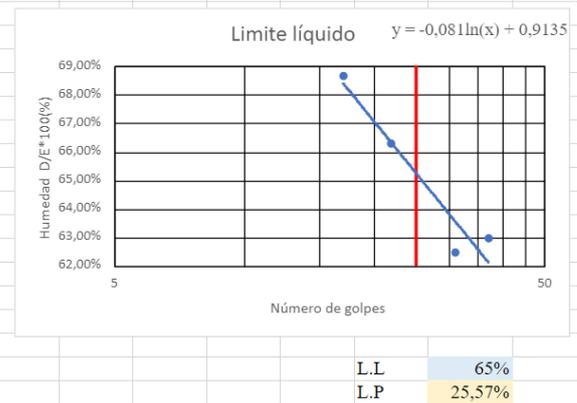
Límite líquido										x	y
	1	2	3	4						25	0,37
Id del recipiente	8	57	56	40						25	0,44
Masa del recipiente A(g)	6,19	6,02	6,03	6,09							
Número de golpes	39	27	20	17							
Masa de suelo humedo + recipiente B(g)	25,02	22,55	20,72	20,38							
Masa del suelo seco + recipiente C(g)	19,91	17,75	16,39	16,08							
Masa de agua evaporada D=B-C (g)	5,11	4,8	4,33	4,3							
Masa de suelo seco E=C-A (g)	13,72	11,73	10,36	9,99							
Humedad D/E*100(%)	37,24%	40,92%	41,80%	43,04%							
Límite plástico											
	1	2	3								
Id del recipiente	42	109	122								
Masa del recipiente A(g)	6,08	6,07	5,94								
Masa del suelo humedo + recipiente B(g)	12,53	14,97	16,71								
Masa del suelo seco + recipiente C(g)	11,37	13,25	14,59								
Masa del agua evaporada D=B-C (g)	1,16	1,72	2,12								
Masa del suelo seco E=C-A(g)	5,29	7,18	8,65								
Humedad D/E*100(%)	21,93%	23,96%	24,51%								
Determinacion del Índice de Plasticidad											
IP = LL - LP =											
											40,45%
											23,46%



Limite líquido				
	1	2	3	4
Id del recipiente	82	81	23	91
Masa del recipiente A(g)	6,11	6,28	5,87	6,22
Número de golpes	37	31	22	17
Masa de suelo humedo + recipiente B(g)	17,68	20,92	21,85	19,31
Masa del suelo seco + recipiente C(g)	13,21	15,29	15,48	13,98
Masa de agua evaporada D=B-C (g)	4,47	5,63	6,37	5,33
Masa de suelo seco E=C-A (g)	7,1	9,01	9,61	7,76
Humedad D/E*100(%)	62,96%	62,49%	66,29%	68,69%

Limite plástico				
	1	2	3	
Id del recipiente	33	12	112	
Masa del recipiente A(g)	5,76	6,17	6,17	
Masa del suelo humedo + recipiente B(g)	10,11	9,27	11,24	
Masa del suelo seco + recipiente C(g)	9,2	8,68	10,17	
Masa del agua evaporada D=B-C (g)	0,91	0,59	1,07	
Masa del suelo seco E=C-A(g)	3,44	2,51	4	
Humedad D/E*100(g)	26,45%	23,51%	26,75%	

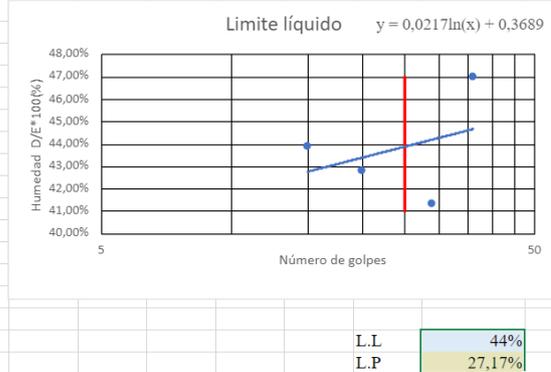
Determinacion del Indice de Plasticidad		
IP = LL - LP =	39,71%	



Limite líquido				
	1	2	3	4
Id del recipiente	17	62	103	80
Masa del recipiente A(g)	6,26	6,13	6,33	6,06
Número de golpes	36	29	20	15
Masa de suelo humedo + recipiente B(g)	22,68	19,64	20,85	20,36
Masa del suelo seco + recipiente C(g)	17,43	15,69	16,5	16
Masa de agua evaporada D=B-C (g)	5,25	3,95	4,35	4,36
Masa de suelo seco E=C-A (g)	11,17	9,56	10,17	9,94
Humedad D/E*100(%)	47,00%	41,32%	42,77%	43,86%

Limite plástico				
	1	2	3	
Id del recipiente	47	4	69	
Masa del recipiente A(g)	6,26	5,99	6,29	
Masa del suelo humedo + recipiente B(g)	11,45	13,33	12,97	
Masa del suelo seco + recipiente C(g)	10,36	11,76	11,52	
Masa del agua evaporada D=B-C (g)	1,09	1,57	1,45	
Masa del suelo seco E=C-A(g)	4,1	5,77	5,23	
Humedad D/E*100(g)	26,59%	27,21%	27,72%	

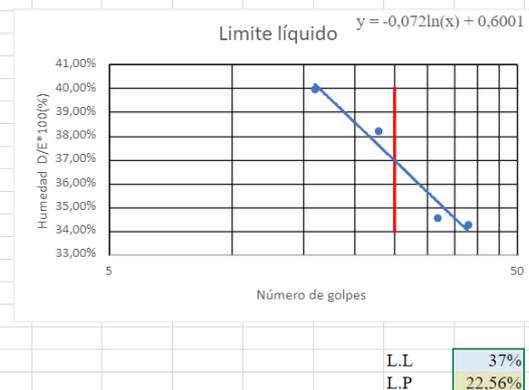
Determinacion del Indice de Plasticidad		
IP = LL - LP =	17%	



Limite líquido				
	1	2	3	4
Id del recipiente	88	63	9	11
Masa del recipiente A(g)	6,16	5,98	6,06	5,91
Número de golpes	38	32	23	16
Masa de suelo humedo + recipiente B(g)	21,29	24,56	22,31	20,8
Masa del suelo seco + recipiente C(g)	17,43	19,79	17,82	16,55
Masa de agua evaporada D=B-C (g)	3,86	4,77	4,49	4,25
Masa de suelo seco E=C-A (g)	11,27	13,81	11,76	10,64
Humedad D/E*100(%)	34,25%	34,54%	38,18%	39,94%

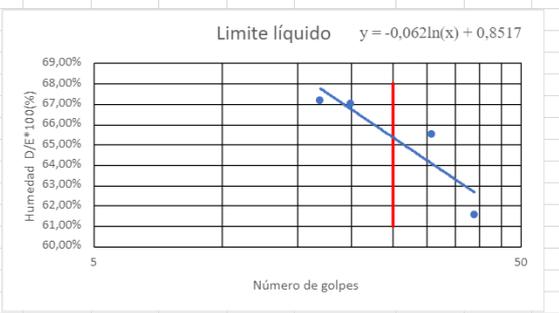
Limite plástico				
	1	2	3	
Id del recipiente	89	84	79	
Masa del recipiente A(g)	5,86	5,84	6,14	
Masa del suelo humedo + recipiente B(g)	11,48	12,11	13,33	
Masa del suelo seco + recipiente C(g)	10,43	10,97	12,01	
Masa del agua evaporada D=B-C (g)	1,05	1,14	1,32	
Masa del suelo seco E=C-A(g)	4,57	5,13	5,87	
Humedad D/E*100(g)	22,98%	22,22%	22,49%	

Determinacion del Indice de Plasticidad		
IP = LL - LP =	14%	



Limite líquido				
	1	2	3	4
Id del recipiente	7	55	101	125
Masa del recipiente A(g)	6,02	5,69	6,09	5,97
Número de golpes	39	31	20	17
Masa de suelo humedo + recipiente B(g)	17,65	17,64	19,5	16,7
Masa del suelo seco + recipiente C(g)	13,22	12,91	14,12	12,39
Masa de agua evaporada D=B-C (g)	4,43	4,73	5,38	4,31
Masa de suelo seco E=C-A (g)	7,2	7,22	8,03	6,42
Humedad D/E*100(%)	61,53%	65,51%	67,00%	67,13%

x	y
25	0,61
25	0,68

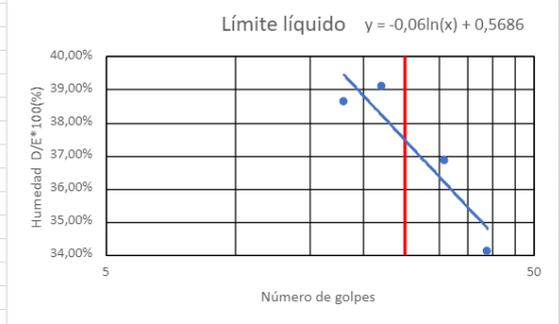


Limite plástico				
	1	2	3	
Id del recipiente	6	25	66	
Masa del recipiente A(g)	6,27	6,15	6,09	
Masa del suelo humedo + recipiente B(g)	9,29	9,06	8,98	
Masa del suelo seco + recipiente C(g)	8,66	8,45	8,38	
Masa del agua evaporada D=B-C (g)	0,63	0,61	0,6	
Masa del suelo seco E=C-A(g)	2,39	2,3	2,29	
Humedad D/E*100(g)	26,36%	26,52%	26,20%	

Determinacion del Indice de Plasticidad				
IP = LL - LP =	39%			
			L.L.	65%
			L.P.	26,36%

Limite líquido				
	1	2	3	4
Id del recipiente	59	65	77	28
Masa del recipiente A(g)	6,16	6,2	6,46	5,96
Número de golpes	39	31	22	18
Masa de suelo humedo + recipiente B(g)	19,14	19,57	18,88	18,2
Masa del suelo seco + recipiente C(g)	15,84	15,97	15,39	14,79
Masa de agua evaporada D=B-C (g)	3,3	3,6	3,49	3,41
Masa de suelo seco E=C-A (g)	9,68	9,77	8,93	8,83
Humedad D/E*100(%)	34,09%	36,85%	39,08%	38,62%

x	y
25	0,34
25	0,4



Limite plástico				
	1	2	3	
Id del recipiente	29	60	5	
Masa del recipiente A(g)	5,99	6,05	6,41	
Masa del suelo humedo + recipiente B(g)	9,31	10,3	9,78	
Masa del suelo seco + recipiente C(g)	8,75	9,62	9,24	
Masa del agua evaporada D=B-C (g)	0,56	0,68	0,54	
Masa del suelo seco E=C-A(g)	2,76	3,57	2,83	
Humedad D/E*100(g)	20,29%	19,05%	19,08%	

Determinacion del Indice de Plasticidad				
IP = LL - LP =	18%			
			L.L.	38%
			L.P.	19,47%