



Caracterización geomorfológica del sector Yunganza, cantón Limón Indanza – Ecuador

Geomorphological characterization of the Yunganza sector, Limón Indanza canton – Ecuador

Caracterização geomorfológica do setor Yunganza, cantão Limón Indanza – Equador

Gregory Guillermo Cuesta-Andrade ^I
gregory.cuesta@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9308-0593>

Santiago Nathanael Toapanta-Santacruz ^{II}
santiago.toapanta@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4378-3821>

Marco Antonio Mejia-Flores ^{III}
marco.mejia@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2093-7530>

Briggitty Naomy Rivera-Andrade ^{IV}
nbriggitty@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-9622-7342>

Julio Cesar López-Ayala ^V
julio.lopez@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8625-1091>

Correspondencia: gregory.cuesta@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 19 de abril de 2024 * **Aceptado:** 03 de mayo de 2024 * **Publicado:** 26 de junio de 2024

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Sede Morona Santiago, Macas EC140101, Grupo de Investigación de Recursos Mineros e Ingeniería – GIRMI, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Sede Morona Santiago, Macas EC140101, Grupo de Investigación de Recursos Mineros e Ingeniería – GIRMI, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Sede Morona Santiago, Macas EC140101, Grupo de Investigación de Recursos Mineros e Ingeniería – GIRMI, Ecuador.
- IV. Estudiante de la Carrera de Minas, Ecuador.
- V. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Sede Morona Santiago, Macas EC140101, Grupo de Investigación de Recursos Mineros e Ingeniería – GIRMI, Ecuador.

Resumen

Con el propósito de revisar las principales características geomorfológicas en diferentes zonas de la parroquia Yunganza perteneciente al cantón Limón Indanza - Ecuador, se ha ejecutado esta investigación debido al interés y potencial económico que representa la minería en este sector del país. Para esto, se ha realizado el levantamiento de información inicial tomado una línea base de referencia, en el que se compila con varios análisis y evaluaciones geológicas que permitieron la entrega del perfil geomorfológico de la zona. Dentro de los principales resultados se tiene la delimitación del sector de estudio con su respectivo mapa de ubicación, tablas de cálculos de pendientes y caudales de las quebradas existentes, mapas de alineaciones estructurales del sector de interés, definición de la geomorfología de tres zonas del sector Yunganza, los respectivos perfiles geomorfológicos, finalizando con una descripción geomecánica basada en rocas calizas y andesíticas. Siendo concluyente, la composición de los bordes de los perfiles geomorfológicos basados rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias originarias de la Cordillera Real, con macizos rocosos de clase II y IV como lo son las calizas y andesitas de las zonas respectivamente, lo que sugiere un posible potencial geomorfológico del sector para el desarrollo de un proyecto minero.

Palabras claves: Geomorfología; Yunganza; Geomecánica; Caracterización; Warints y Yawi.

Abstract

With the purpose of reviewing the main geomorphological characteristics in different areas of the Yunganza parish belonging to the Limón Indanza canton - Ecuador, this research has been carried out due to the interest and economic potential that mining represents in this sector of the country. For this, the initial information gathering has been carried out, taking a reference baseline, which is compiled with various geological analyzes and evaluations that allowed the delivery of the geomorphological profile of the area. Among the main results is the delimitation of the study sector with its respective location map, tables of calculations of slopes and flows of the existing streams, maps of structural alignments of the sector of interest, definition of the geomorphology of three areas of the sector Yunganza, the respective geomorphological profiles, ending with a geomechanical description based on limestone and andesitic rocks. Being conclusive, the composition of the edges of the geomorphological profiles based on igneous, metamorphic and sedimentary rocks originating from the Cordillera Real, with class II and IV rock massifs such as

limestone and andesites of the areas respectively, which suggests a possible geomorphological potential of the sector for the development of a mining project.

Keywords: Geomorphology; Yunganza; Geomechanics; Characterization; Warints and Yawi.

Resumo

Com o objetivo de revisar as principais características geomorfológicas em diferentes áreas da freguesia de Yunganza pertencente ao cantão Limón Indanza - Equador, esta pesquisa foi realizada devido ao interesse e potencial econômico que a mineração representa neste setor do país. Para tal, foi realizada a recolha inicial de informação, tomando uma linha de base de referência, a qual é compilada com diversas análises e avaliações geológicas que permitiram a entrega do perfil geomorfológico da área. Entre os principais resultados estão a delimitação do setor de estudo com seu respectivo mapa de localização, tabelas de cálculos de declividades e vazões dos córregos existentes, mapas de alinhamentos estruturais do setor de interesse, definição da geomorfologia de três áreas do setor Yunganza, os respectivos perfis geomorfológicos, terminando com uma descrição geomecânica baseada em rochas calcárias e andesíticas. Sendo conclusiva, a composição das bordas dos perfis geomorfológicos baseada em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares originárias da Cordilheira Real, com maciços rochosos de classes II e IV como calcários e andesitos das áreas respectivamente, o que sugere um possível potencial geomorfológico de o sector para o desenvolvimento de um projecto mineiro.

Palavras-chave: Geomorfologia; Yunganza; Geomecânica; Caracterização; Warints e Yawi.

Introducción

La localidad de General Leónidas Plaza Gutiérrez de la parroquia Yunganza, está situada al sureste del territorio ecuatoriano, y es la cabecera cantonal del cantón Limón Indanza perteneciente a la provincia de Morona Santiago. Limita al norte y al este con Santiago de Méndez, al sur con San Juan Bosco y al oeste con Azuay (Baldock, 1982). Caracterizada por una altitud que oscila entre 1040 y 1400 metros sobre el nivel del mar, presenta un clima húmedo y templado con variaciones de temperatura entre 18 y 22 grados centígrados (Reinozo & Piña, 2022).

Los estudios geológicos se desarrollan mediante un proceso que abarca la identificación de unidades geológicas, sus estructuras principales y secundarias, así como la evaluación de la calidad

de los materiales (Pasato & Cuesta, 2019a). Este proceso incluye la elaboración de modelos geológicos y la recomendación de trabajos adicionales más detallados (Cuenca et al., 2022).

El análisis geológico-estructural de la región realizado, se fundamentó en la recopilación de datos bibliográficos seguida de su validación en el campo (Coronel, 2015); estos datos permitieron comprender la litología, las estructuras y los lineamientos, que combinados con otros parámetros de susceptibilidad, posibilitaron identificar las causas de la inestabilidad en el área de estudio (Pasato & Cuesta, 2019b).

Del mismo modo, los estudios geofísicos desempeñan un papel fundamental en la generación de información básica necesaria para la formulación de políticas y la toma de decisiones en el desarrollo socioeconómico del país (Peña, 1997). Estos estudios posibilitan la creación de mapas geofísicos, evaluación de riesgos naturales y proyectos mineros a nivel nacional, regional, provincial y local, especialmente en proyectos de alta estrategia, negociaciones internacionales o formulación de políticas (Rivera & Cuesta, 2023).

Un mapa topográfico, como documento gráfico integral, ofrece una interpretación subjetiva del paisaje geomorfológico, este debe ser fácilmente referenciada en el campo e incluir representaciones detalladas de las formas del relieve, procesos de origen, evolución de las formas y grado de equilibrio dinámico (Fraustro, 1998). La escala del mapa debe adecuarse a la textura del relieve y al propósito específico de la representación, siguiendo metodologías o reglas generales siempre que sea posible (Peña, 1997).

La representación gráfica de la estratigrafía del sector se logra a través de una columna de roca, destacando las capas más antiguas en la parte inferior y las más recientes en la parte superior. La resistencia a la meteorización se representa en el eje horizontal, y desde una perspectiva petrológica, se clasifican los materiales en dos grupos: rocas y suelos (Abramson et al., 1996).

Los perfiles geomorfológicos complejos proporcionan datos sobre el relieve y la intensidad de procesos endógenos y exógenos; estos perfiles se interpretan mediante indicadores geomorfológicos y se reflejan en mapas temáticos de análisis del paisaje, existen dos tipos de perfiles, longitudinal y transversal, cuyo objetivo principal es armonizar los elementos del relieve en relación con factores endógenos (tectónicos) y extrínsecos (erosivos) (Núñez et al., 2023a).

El índice RMR se ha empleado para evaluar las características del macizo rocoso. Bieniawski (1989) ha establecido una relación directa entre el RMR y el módulo de deformación del macizo rocoso. Además, el valor del RMR se utiliza como método para estimar los factores m y s del

criterio de rotura Hoek-Brown, con ecuaciones específicas proporcionadas junto con el valor del GSI que evalúa la resistencia del macizo rocoso (Hoek & Brown, 1988).

Son estos estudios y perfiles los que se han ejecutado en el proyecto que se encuentra en el sureste de Ecuador, en un valle entre las Montañas Cutucú al este y las Montañas Reales al oeste. Entregando información relevante para el entendimiento geomorfológico del sector, debido a ser un sitio muy rico por la ocurrencia litológica y a la vez un sector de mucho interés económico para el ámbito minero del cantón (Equipo Técnico PDOT Limón Indanza, 2020).

Methodology

Para la metodología de campo utilizó diversos materiales como mapas topográficos, brújula de geólogo, GPS, martillo de geólogo, lupas de 10x y 20x, flexómetro, cámara fotográfica, lápiz y transportador trabajo (Coronel, 2015). Para la salida final del documento se emplearon una computadora portátil, un plotter HP, una impresora Epson L4160 y diferentes softwares en conjunto con una variada base de datos que dieron paso a la creación de mapas y gráficos didácticos presentados en esta investigación (López & Cuesta, 2023).

Mapa Geomorfológico del Ecuador

Se utiliza un mapa geológico de Méndez a escala 1:3466743 como referencia, proporcionando información esencial para investigaciones geológicas generalizadas. Una vez definida la ubicación, se realiza un estudio preliminar para seleccionar una ruta precisa dentro de una franja de varios kilómetros de ancho. Se consideraron criterios como la topografía y lograr una pendiente específica del camino, requiriendo la excavación de zanjas y la construcción de terraplenes (Tricart, 1979).

Área de Estudio

Se recopila información bibliográfica sobre el área de estudio, incluyendo mapeos geológicos, mapas topográficos a escalas que permiten identificar el área de interés y fotografías aéreas u ortofotos verticales a varias escalas (Coronel, 2015). Finalmente, con datos tomados in-situ, se calculan los caudales y pendientes de las quebradas existentes mediante el método de flotación, que vincula el área de la sección acuífera con el caudal. Se incluyen en canales y tuberías de riego, permitiendo mediciones aproximadas del caudal.

Alineaciones Estructurales

Una parte importante del trabajo de campo implica el mapeo de contactos roca-suelo en laderas, distinguiendo rocas sanas de rocas descomprimidas o alteradas. Los datos litológicos y estructurales se utilizaron para definir la geología de la zona.

La recopilación de estos datos también abarca características estructurales y propiedades generales como color, composición, mineralogía, textura (tamaño, forma, disposición de los elementos rocosos) y estructura (características macroscópicas de las unidades rocosas), así como el espesor de las unidades rocosas y el número de camas (en metros). Del mismo modo, se lleva a cabo la correlación de diferentes unidades litológicas con otras ya conocidas, denominándolas de acuerdo con su magnitud y ubicación en el tiempo como grupos, formaciones o miembros de diversas unidades litológicas. Este proceso culmina en la elaboración del orden estratigráfico local o columna.

Finalmente, y gracias a que la definición de la geología estructural como la rama de la geología encargada del estudio de las características estructurales de los macizos rocosos que forman la corteza terrestre, su distribución geográfica, período geológico y las causas que las generaron; también se identifican, describen y representan gráficamente en mapas y cortes geológicos (Montaño, 2021). Dada la falta de vegetación en algunas zonas del área de estudio (suelo y pendientes), la recopilación de datos se realiza a intervalos iguales de 20 o 25 m.

Además, se recopilan datos identificados previamente en fotografías aéreas y satelitales para obtener información estructural y litológica en ambos lados de la estructura, mostraron todas las líneas en la superficie de ríos y manantiales (Cuesta et al., 2023). Las fallas se identificaron por su tipo, rumbo, buzamiento y las características del material en la zona de la falla. Conociendo la extensión de la falla y su edad relativa en relación con diferentes unidades rocosas por lo que los sistemas de fractura se determinó la distancia entre ellos, dirección e inclinación, tipo de relleno.

Geomorfología de la Zona de Yungantza

In-situ se identificaron los niveles correspondientes a los eventos topográficos más destacados, columnas estratigráficas y rocas que forman las estructuras principales. Se tomaron en cuenta áreas de interés geológico, incluyendo cortes de carreteras y afloramientos naturales. Detallando como primordial tres de las principales zonas geomorfológicas del sector de estudio.

Los Perfiles geomorfológicos

Se usa el software SIG para rastrear los complejos perfiles geomorfológicos de las subcuencas que tiene como objetivo analizar los parámetros morfométricos obtenidos de la cartografía y establecer relaciones entre procesos endógenos y extrínsecos del relieve (Núñez et al., 2023b). Como parte del estudio geológico, también se identifican y describen los relieves y sus características topográficas, con énfasis en las pendientes y sus variaciones.

Descripción Geomecánica

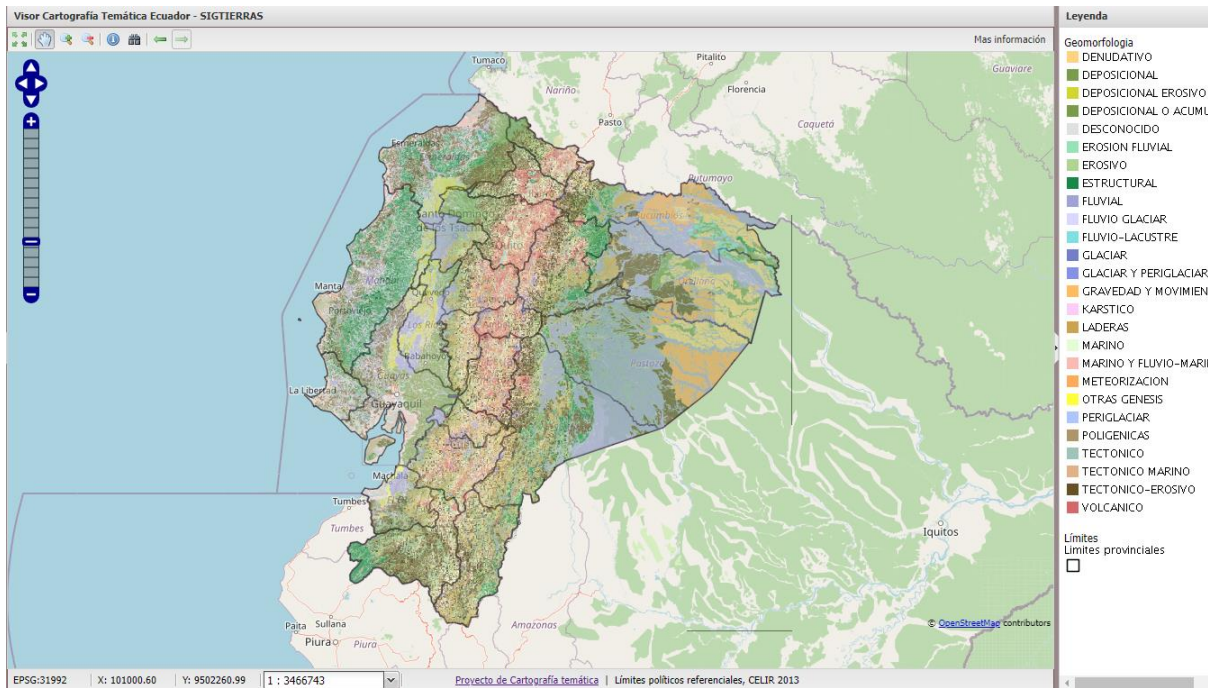
Los sistemas de clasificación de rocas son esenciales para la planificación minera empírica. El uso de tales sistemas puede ser implícito o explícito y se han utilizado tradicionalmente para agrupar áreas con propiedades geomecánicas similares, proporcionar pautas de desempeño de estabilidad y seleccionar soportes apropiados. En los últimos años, los sistemas de clasificación se han utilizado ampliamente en combinación con herramientas analíticas y numéricas (Alvarado, 2022). Por lo que de manera adicional y una vez completado el estudio geológico, las unidades de roca descubiertas se correlacionan con análisis mecánico de afloramiento RMR de Bieniawski (1989), elaborando un pequeño bosquejo geomecánico que puede servir de base para determinar las zonas inestables en el área de estudio (Pasato & Cuesta, 2019a).

Resultados

Mapa geomorfológico del Ecuador

En la región oriental, se identifican dos zonas morfológicas que se extienden desde las estribaciones de la Cordillera Real hasta las de las montañas Cutucú y El Cóndor, abarcando las cuencas de los ríos Upano y Zamora. El río Upano forma un valle rectangular con fuertes pendientes verticales, culminando en un cañón rodeado de rocas de Formación Mesas y Upano, productos de la erupción del volcán Sangay.

Figura #1.- Mapa Geomorfológico del Ecuador.



Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (SIGTIERRAS, 2024).

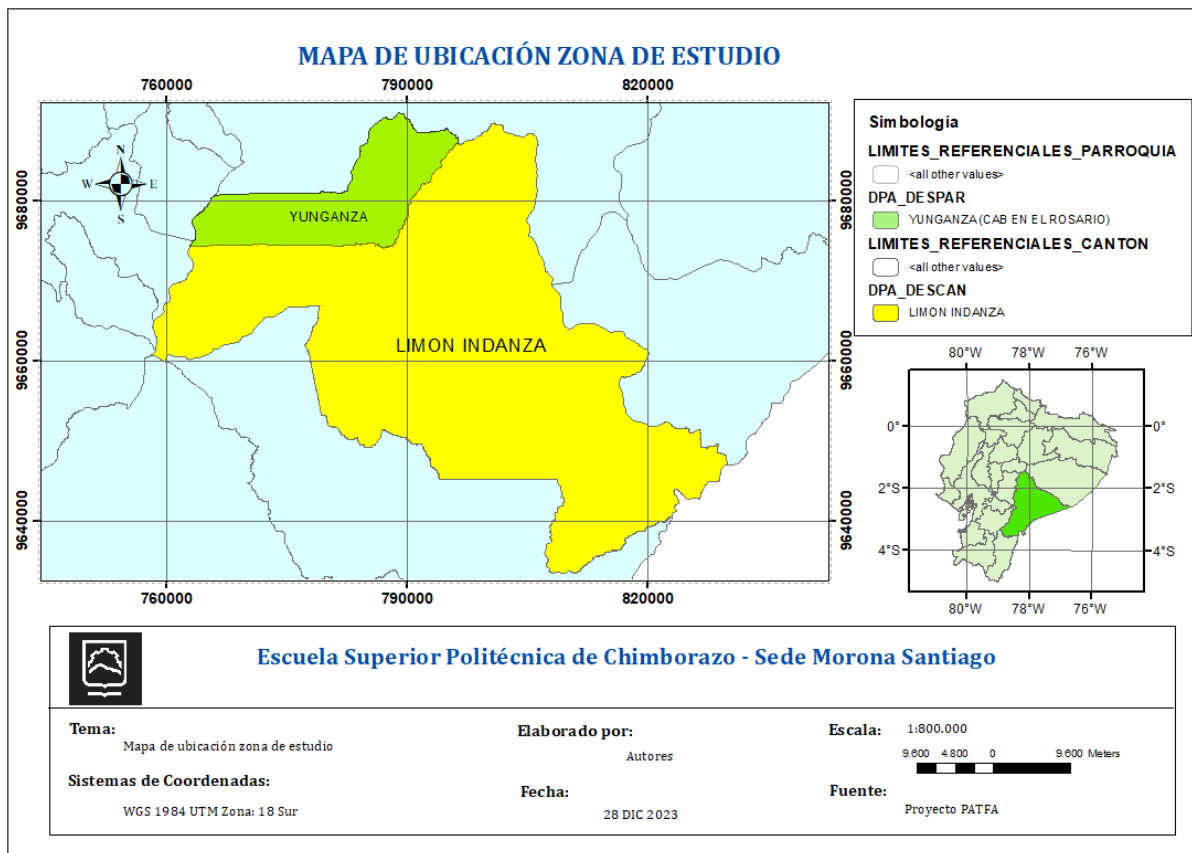
Al sur, esta área incluye el Valle de Yunganza, con el río que fluye a través de una estructura geológica tipo graben, dirigiéndose hacia los contrafuertes del Plan de Milagro. La región abarca el área de Limón, caracterizada por fuerte tectonismo y una mezcla de formaciones geológicas; Baldock (1982) define esta área como el Grupo Limón, que incluye las formaciones Hollín y Napo. Del mismo modo, Coronel (2015) describe este complejo como Champs de Limón, que incluye rocas desde el Jurásico hasta el Terciario (Chapisa, Hollín, Napo y Mesa); en dirección sur, abarca el Valle de Indanza hasta los contrafuertes de Calaglas, continuando hacia los paseos de Guarakiza y Cuchumburza con sus formaciones rocosas. El límite oriental de esta región corresponde al río Zamora (Coronel, 2015).

En el área del proyecto, los aspectos morfológicos indican que las rocas metamórficas de la cordillera generan valles profundos con incisiones verticales, controlados fuertemente por la estructura. Estos valles son estrechos y pueden albergar numerosos saltos de agua. Las rocas de la Formación Santiago dan origen a valles verticales con saltos y cascadas, especialmente en las desembocaduras de los afluentes.

Área de Estudio

El área de estudio abarca 300 hectáreas en el municipio de Yunganza, perteneciente a la provincia de Limón Indanza bajo la jurisdicción de Morona-Santiago (Figura #2) . Las coordenadas UTM PSAD 56 Sistema de coordenadas, en el área geográfica 17, Vértice 1 (792000, 9684000), Vértice 2 (792000, 9682500), Vértice 3 (794000, 9682500), Vértice 4 (794000, 9684000),

Figura #2.- Mapa de Ubicación.



Fuente: Elaboración propia.

Los ríos Pupumasa y Delgado, afluentes del río Yunganza, se originan en la parte sureste del área de estudio. El cálculo de los caudales y pendientes de las quebradas se muestran a continuación en la Tabla #1 y #2:

Tabla #1.- Cálculo de Caudal de las Quebradas Existentes.

Quebrada	Velocidad de Flujo (m/s)	Área de sección (cm ²)	Coefficiente de fricción	Caudal (l/s)
Flores	1.67	400	0.8	533.33
Córdova	2.00	156	0.8	156.00
Gabychula	1.43	360	0.8	565.71
Jhoselyn	1.67	400	0.8	533.33
Chica	2.00	351	0.8	523.64
Delgado	0.43	520	0.8	360.53
Pupumasa	1.11	1560	0.8	1386.67
Cumtza	2.00	41000	0.8	67200.00
Yungantza	1.43	210000	0.8	240000.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla #2.- Cálculo de Pendientes de las Quebradas Existentes.

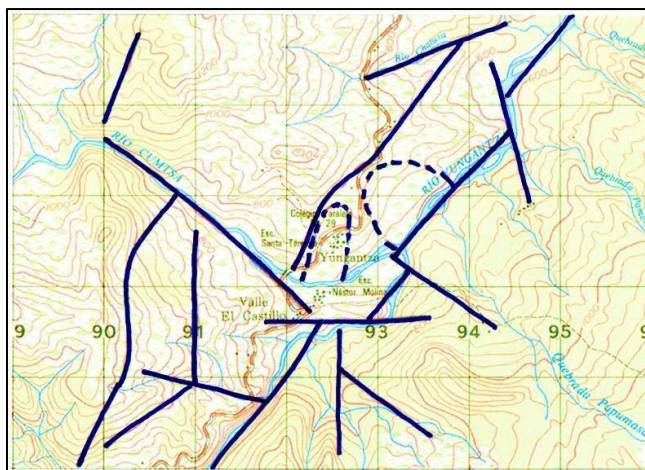
Quebrada	Longitud del cauce (m)	Pendiente (%)
Flores	740	25.81
Córdova	365	23.29
Gabychula	795	17.23
Jhoselyn	888	17.45
Chica	635	8.19
Delgado	877	25.88
Pupumasa	1210	16.86
Cumtza	1328	3.84
Yungantza	2016	2.10

Fuente: Elaboración propia.

Alineaciones Estructurales

En la siguiente imagen, se visualizan las alineaciones estructurales en tendencia con la grieta local denominada Yunganza.

Figura #3.- Alineaciones Estructurales.

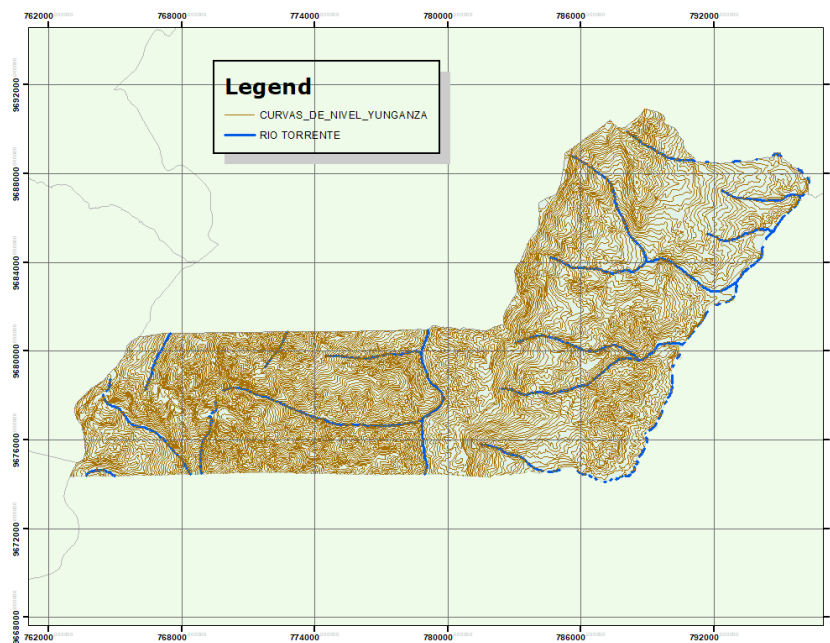


Fuente: Elaboración propia.

Esta imagen muestra la tendencia general de la grieta local (grieta de Yunganza). La tendencia regional en su parte nororiental es cortada por las fallas noroeste y este-oeste, y se pueden observar cambios de rumbo locales debido a efectos de microtectónica.

Del mismo modo, en la figura #4 podemos visualizar una líneas suavizadas y de mayor calidad en cuanto a los comportamientos de los ríos en la zona estudiada.

Figura #4.- Alineaciones estructurales suavizadas del sector.



Fuente: Elaboración propia.

Geomorfología de la Zona de Yunganza

La región de Yunganza se localiza en las llanuras a la margen izquierda del río *Cumtza*, a una elevación de 585 metros sobre el nivel del mar. Hacia el sur, a una altitud de 840 metros sobre el nivel del mar, el río Yunganza se presenta como un valle estrecho rodeado por formaciones rocosas volcánicas misahuallí. La andesita, con una marcada verticalidad, configura valles de aproximadamente 10 metros de ancho, aunque en algunos puntos la profundidad del valle es menor a 6 metros, con un flujo del río en dirección noroeste a unos 55 grados. Posteriormente, el río forma un valle de 30 metros de ancho en dirección N30E y, al salir del área, hacia el noreste, se ensancha formando un valle de 40 a 50 metros de ancho (Coronel, 2015). La pendiente del río Yunganza es del 3,95%, ubicándose en la entrada sur a 595 metros sobre el nivel del mar y en la salida norte del sitio.

El río *Cumtza* discurre al sur de la zona, formando un semicírculo que cambia su curso de noroeste a sureste y luego suroeste, creando un amplio valle delimitado por un valle subhorizontal en la margen derecha y uno semihorizontal en la izquierda. A través de las rocas de la mesa, presenta una pendiente pronunciada de hasta 3 metros de altura con un 4,37% de inclinación desde los 673 metros, ubicándose en la entrada occidental del área a 615 metros de altitud, confluyendo con el río Yunganza (Cuesta et al., 2023).

Tabla #3.- Unidades Geomorfológicas.

Geoforma	Génesis	Litología	Relieve	Drenaje	Observaciones
Aplanadas	Depósito fluvio lacustre	Conglomerado polimétricos formación mesa	Aplanado subhorizontal < 10°	Paralelo	Playas de los ríos
Depósito de ladera	Derrumbos	Conglomerado polimétricos formación mesa	Aplanado Inclinado > 10°	Paralelo	Zona de paleo deslizamiento
Escarpada	Efecto de fallas geológicas	Todas	Cortes verticales > 70°	Paralelo	Presente en zonas de falla
	Particularidades litológicas	Formación mesa			Cortes naturales de terreno
Relieve de colinas	Rejuvenecimiento morfológico	Rocas ígneas, formación Chapiza	Suave Ondulado entre 30° y 60°	Dendrítico a Paralelo	Extremos del área de estudio

Fuente: Elaboración propia.

Las unidades y subdivisiones geomorfológicas son de diferentes contrastes morfológicos y morfométricos que asocian variados materiales o arreglos estructurales con características topográficas individuales descritas en la tabla #3. Basadas en éstas, el sector Yunganza se caracteriza por tres zonas geomorfológicas bien definidas, las cuales se describen a continuación (Coronel, 2015).

Primera zona geomorfológica

Esta primera zona está situada a la izquierda del río Cumtza, engloba el territorio de masa terrestre, presentando una pendiente con cuatro escalones visibles en la sección norte-sur y perteneciente al dominio rocoso de formación. Con un desnivel de 640 metros sobre el nivel del mar en el punto más alto del río Cumtza, a 800 metros sobre el nivel del mar, la pendiente máxima alcanza el 18%. La morfología muestra una pendiente en áreas del paleo derrumbe con una tendencia a bucear, creando una extensa escalera seguida de un suave declive de aproximadamente 15° , reflejando la dirección general de los deslizamientos en dirección al río Cumtza.

Segunda zona geomorfológica

Ubicada al margen derecho del río Cumtza y en la izquierda del río Yunganza, esta zona se presenta como un relieve subhorizontal con un desnivel de 593 metros sobre el nivel del mar. A 675 metros sobre el nivel del mar, se registra una pendiente del 6%, y corresponde al campo de rocas formación Mesa, originadas a partir de depósitos coluviales modernos.

Figura #5.- Río Cumtza, margen izquierda, rocas de la Fm. Mesa.



Fuente: Tomado de Coronel (2015).

Figura #6.- Vista Valle del rio Yunganza.



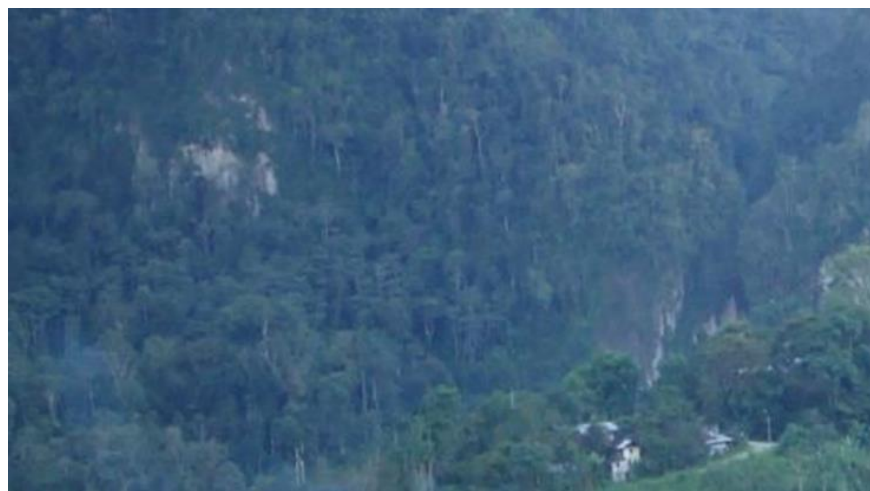
Fuente: Tomado de Coronel (2015).

Esta geoforma está presente en la meseta sobre la carretera donde se ubica la Universidad Técnica de Yungantza, apoyándose sobre las rocas de la formación mesa, afectadas por movimientos del terreno.

La tercera zona geomorfológica

Ubicada en las regiones sur y este, esta zona exhibe marcadas laderas e incisiones verticales, especialmente notables en el volcán Misahuallí. Estas características se originan por movimientos tectónicos vinculados a fallas presentes en la actividad geológica de la región.

Figura #7.- Escarpes tectónicos en andesitas.



Fuente: Tomado de Coronel (2015).

Figura #8.- Características engargantadas del cauce del río Yunganza.



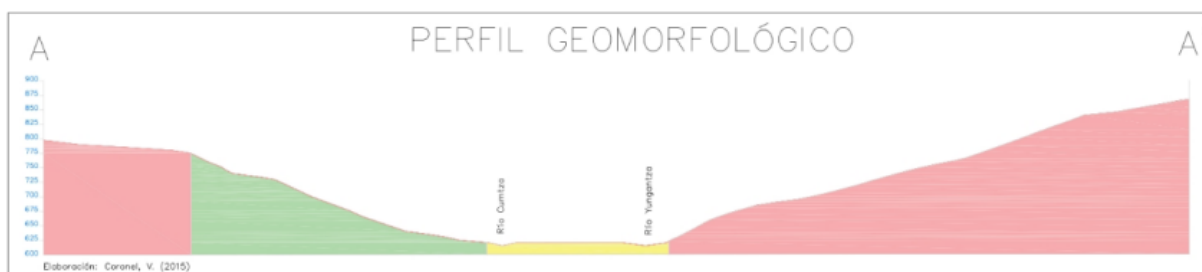
Fuente: Tomado de Coronel (2015).

Los Perfiles geomorfológicos

Para definir y conceptualizar las características geomorfológicas de esta región, se establecieron tres perfiles geomorfológicos:

De primera mano, el perfil topográfico “A-A” el que inicia en las coordenadas 9'684.000N, 782.650E y finaliza en 9'662.500N, 793.500E, ofreciendo un análisis detallado de la disposición topográfica en la zona central dominada por la formación mesa.

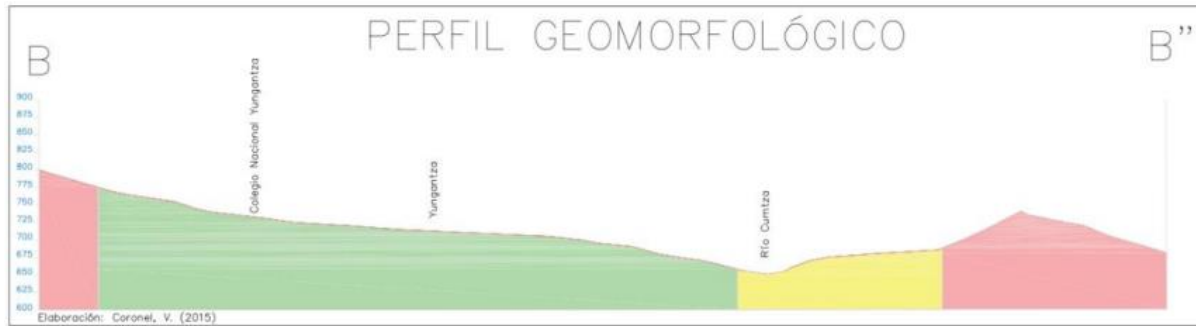
Figura #9.- Perfil Geomorfológico A-A”.



Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo con el perfil geomorfológico “B-B” el que parte de 9'693.950N, 792.650E y se extiende hasta 9'682.540N, 792.600E, atravesando la zona de Formación Mesa al noroeste del área afectada por el deslizamiento de Yunganza, ilustrando las relaciones geomorfológicas de este fenómeno.

Figura #10.- Perfil Geomorfológico B-B''.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la Troncal Amazónica define el perfil topográfico C-C que va desde 9°683.620N, 792.000E hasta el borde oriental, revelando una pendiente norte-sur formada por un significativo deslizamiento de tierra hacia el río Cumtza. Este perfil describe la relación entre deslizamientos y la formación rocosa en la región.

Figura #11.- Perfil Geomorfológico C-C''.



Fuente: Elaboración propia.

Descripción Geomecánica

Finalmente se ha generado una evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de suelos y rocas para determinar su resistencia. Se llevaron a cabo dos hojas de campo, una para cada afloramiento según la clasificación de Bieniawski que asigna clases de I a V, siendo I rocas de alta calidad y V rocas de baja calidad (Bieniawski, 1989).

Las clases de rocas se definen en un rango de I a V, considerándose la clase I rocas muy buenas y la clase V rocas muy pobres. Los resultados de la clasificación RMR para los principales macizos rocosos de la zona de estudio se muestran a continuación.

Andesita

Como primer resultado este análisis en campo, se tiene la presencia de este macizo rocoso andesítico como una pseudocapa con baja resistencia a la compresión simple, con RQD es inferior al 25%, la distancia de discontinuidad es inferior a 80 mm y se producen gotas de agua. Las direcciones de rumbo y buzamiento de las discontinuidades son buenas, la longitud de las discontinuidades es inferior a 1 m, el espaciamiento está entre 0,1 y 1 mm y estas discontinuidades son gruesas, sin relleno y moderadamente erosionadas. Las rocas de clase IV se determinan superponiendo estas las medidas.

Caliza

Por otro lado, también se exhiben en el sector notables propiedades de resistencia a la compresión simple asociadas a las calizas evaluadas mediante índices de campo. Para este macizo rocoso, el índice de RQD en cambio se sitúa entre el 50% y el 75%, y el espaciamiento de discontinuidades varía de 0.6 a 2 metros, la roca presenta un estado húmedo, la orientación de rumbo y buzamiento de las discontinuidades es propicia, con una longitud de discontinuidades que persiste menos de 1 metro y una separación aperturada de 0.1 a 1 mm; estas discontinuidades son rugosas, poseen un relleno duro superior a 5 mm y experimentan una leve meteorización. La tabulación de los valores medidos determinó un macizo rocoso clasificado como clase III.

Conclusiones y recomendaciones

Se ha revisado diferentes documentos e información representativa como el mapa geomorfológico del Ecuador, quienes han aportado información inicial representativa como línea base para este estudio. Algunos aspectos morfológicos sobresaliente son las rocas metamórficas de la cordillera, la cuales generan valles profundos con incisiones verticales, controlados fuertemente por la estructura. Estos valles son estrechos y pueden albergar numerosos saltos de agua. La estructura geológica predominante en la zona es la falla Real, que conecta las rocas sedimentarias de la cuenca amazónica con las rocas metamórficas de la cordillera andina. Su dirección general es de norte a sur, con una elevación aproximada de 500 metros.

Gracias al análisis de caudal y pendientes de las quebradas, se ha podido definir que en el sector de estudio tenemos a el río Cumtza como afluente por el margen izquierda del río Yungantza, el cual fluye en dirección oeste-este desde el límite occidental del área hasta el poblado de Valle del

Castillo, donde cambia su curso hacia suroeste-noreste. La parte superior del río forma un valle estrecho aguas arriba del Puente Autopista del Amazonas. Bajo el puente, se configura un valle ancho y llano con una pendiente suave hacia el este, mostrando diferencias claras en la formación de los bordes. La margen derecha representa una típica terraza aluvial, mientras que la margen izquierda exhibe una pendiente de aproximadamente 10 grados hacia el sur, con rocas de la Formación Mesa afectadas por movimientos del suelo, terminando en un pequeño dique en la base del río.

Del mismo modo, se concluye con una clara tendencia de las alineaciones estructurales en el sector, enmarcando hacia el oeste del río Yungantza, en donde se presenta como una falla inversa, provocando la elevación del bloque occidental en relación con el oriental. Asociada a esta falla y como consecuencia de fallas de distensión, se observa una variedad de fallas tanto normales como inversas, generando la dislocación de bloques. Las imágenes de alineaciones estructurales revelan la tendencia general de la grieta local (grieta de Yunganza). En su parte nororiental, la tendencia regional es interrumpida por fallas noroeste y este-oeste, con cambios locales debidos a microtectónica.

Se ha definido también, que el principal rasgo morfológico no considerado en la evolución morfológica de la región es la influencia de la edad de hielo, evidenciada por áreas de morrenas, valles en forma de U y restos de una zona aplanada. Lo que genera perfiles geomorfológicos con forma predominante en la margen derecha del río Cumtza hasta la desembocadura del río Yunganza, compuesta por sedimentos de origen glaciar con bordes redondeados a cuadrados de aproximadamente un metro, dispuestos de manera aleatoria en el paisaje. La composición del borde incluye rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias originarias de la Cordillera Real. La presencia de áreas escarpadas se asocia a dos fenómenos geológicos, principalmente a la formación de acantilados se atribuye a la acción de fallas geológicas, las cuales generan variaciones en el desplazamiento vertical de las masas rocosas, dando lugar a acantilados andesíticos, como los observados cerca del puente sobre el Yunganza.

Se ha podido definir que los principales macizos rocosos expuestos en la zona están compuestos principalmente de rocas andesíticas y calizas; macizos rocosos que una vez evaluados acorde al sistema de caracterización RMR de Bieniawski se obtiene una cualificación de mala y media calidad de estos respectivamente. Por un lado, la Andesita obtuvo una denominación de clase IV, lo que se conoce como roca mala y tiene una vida útil media de 10 horas en una pendiente de 2,5

m de altura; mientras que la caliza tuvo una clasificación de clase III, lo que la describe como roca regular, por lo que este tipo de roca exhibe una estabilidad promedio de una semana en un talud de 5 metros de altura.

Finalmente, y gracias a la superposición de resultados favorables de los diferentes análisis geológicos realizados, el sector competente a la parroquia Yunganza por estar compuesto principalmente por roca andesítica y calizas, tiene el potencial geomorfológico para ser factible el posible desarrollo de un proyecto de explotación de recursos naturales no renovable como los desarrollados en la industria minera.

Como principal recomendación para el estudio ejecutado, es la de llevar a cabo la monitorización topográfica de la zona con el objetivo de esclarecer cualquier incertidumbre acerca de la presencia o ausencia de movimientos que podría afectar y generar significativa variación de los resultados en este documento; de ser el caso, se sugiere realizar estos procesos mediante triangulación topográfica, utilizando como punto de referencia uno que garantice estabilidad. Sin descartar la confirmación de cada uno de los resultados y conclusiones aquí presentados, mediante el uso de nuevas tecnología y/o ensayos descubiertos.

Referencias

1. Abramson, L., Lee, T., Sharma, S., & Boyce, G. (1996). SLOPE STABILITY AND STABILIZATION METHODS. In Wiley-Interscience Publication. Wiley-Interscience Publication. <https://tjfaonline.com/wp/wp-content/uploads/2018/11/TJFA-410.pdf>
2. Alvarado, B. (2022). APLICACIÓN DE CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN EN LA S.M.R.L. PABLITO-UNO. Universidad Nacional Del Centro Del Perú, 1–70. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/8172/TESIS_ALVARADO_PAUCAR_BRYAM.pdf?sequence=1&isAllowed=y
3. Baldock, J. (1982). Geología del Ecuador. In DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO - MINERA. https://ia601809.us.archive.org/12/items/1982-baldock-boletin-explicativo-mapa-geologico/1982_BALDOCK_BOLETIN_EXPLICATIVO_MAPA_GEOLOGICO.pdf
4. Bieniawski, Z. T. (1989). Engineering Rock Mass Classification. John Wiley & Sons, 1(1), 1–365. <https://doi.org/10.1016/C2010-0-64994-7>

5. Coronel, V. (2015). Estudio geológico para determinar las causas de la inestabilidad de los taludes en la parroquia Yungantza [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. In ESPOCH (Vol. 1, Issue 1). <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4270>
6. Cuenca, D., Cuesta, G., & Granja, J. (2022). Prospección de Placeres Aluviales en el Río Upano Ubicado en la Parroquia Alshi 9 de Octubre, Cantón Morona, Provincia de Morona Santiago. *Polo Del Conocimiento*, 7(2), 2366–2379. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i2.3711>
7. Cuesta, G., Novoa, J., Alfaro, R., & Arias, X. (2023). Investigation and Monitoring change Detection in Synthetic Aperture Radar Satellite Images for Disaster Analysis in agriculture and mining. *European Chemical Bulletin*, 12(1), 1850– 1860. <https://doi.org/10.48047/ecb/2023.12.1.2662023.06/05/2023>
8. Equipo Técnico PDOT Limón Indanza. (2020). PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN LIMÓN INDANZA. In Gad Municipal Limón Indanza. <https://gadlimon2020.limonindanza.gob.ec/index.php/docman/documentos/591-pdot-gad-municipal-limon-indanza/file>
9. Fraustro, O. (1998). Derrumbes, deslizamientos y expansión lateral del suelo provocados por la sismicidad en el graben de cuautepec. *SciELO*, 1(Mx), 15. <https://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n38/n38a3.pdf>
10. Hoek, E., & Brown, E. T. (1988). The Hoek-Brown Failure Criterion - a 1988 Update. 15th Canadian Rock Mechanics Symposium, February, 31–38. https://www.researchgate.net/profile/E-Brown-2/publication/247896456_The_Hoek-Brown_failure_criterion_-a_1988_update/links/54da95b00cf2ba88a68d4bd5/The-Hoek-Brown-failure-criterion-a-1988-update.pdf
11. López, W., & Cuesta, G. (2023). Applications of Artificial Intelligence in the Teaching of Mathematical Techniques for Biology, Mining and Environment. *Journal of Namibian Studies : History Politics Culture*, 33, 3181–3189. <https://doi.org/10.59670/jns.v33i.953>
12. Montaña, E. (2021). LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO – ESTRUCTURAL A ESCALA 1:25000 DE LA ZONA SUR DE LA PARROQUIA CHUQUIRIBAMBA, CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA. In universidad Nacional de Loja. https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/24333/1/EstefaniaElizabeth_MontañaoPullaguari.pdf

13. Núñez, E., Frausto, O., & Villaseñor, A. (2023a). Perfiles Geomorfológicos complejos aplicados en las subcuencas de los ríos Huacapa y Huajapa, Guerrero, México. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 53, 49–56. <https://doi.org/10.15446/rbct.103641>
14. Núñez, E., Frausto, O., & Villaseñor, A. (2023b). Perfiles Geomorfológicos complejos aplicados en las subcuencas de los ríos Huacapa y Huajapa, Guerrero, México. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 53, 49–56. <https://doi.org/10.15446/rbct.103641>
15. Pasato, J., & Cuesta, G. (2019a). Análisis geológico, estructural y estratigráfico de la ciudad de Macas para la planificación de las zonas de expansión urbana. *Ciencia Digital*, 3(3.1), 285–294. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.1.701>
16. Pasato, J., & Cuesta, G. (2019b). Criterios de diseño de estabilidad de taludes en coluviales de bloques (Bimrock o block in matrix). *Ciencia Digital*, 3(3.1), 143–157. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.1.682>
17. Peña, J. (1997). Cartografía Geomorfológica Básica y Aplicada. In *Geoforma Ediciones* (Issue January). https://www.researchgate.net/profile/Jose-Luis-Pena-Monne/publication/235863747_Cartografia_geomorfolologica_basica_y_aplicada/links/5714e85608ae071a51cff770/Cartografia-geomorfologica-basica-y-aplicada.pdf#page=12
18. Reinozo, E., & Piña, H. (2022). PROYECTO PARA LA CREACIÓN DE UNA COOPERATIVA PRODUCTIVA EN EL CANTÓN LIMÓN INDANZA. In *ESPOCH* (Vol. 1, Issue 1). <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16657/1/82T01249.pdf>
19. Rivera, A., & Cuesta, G. (2023). Satellite Image Using Image Processing and Machine Learning Techniques: Applications to Agriculture, Environment and Mining. *European Chemical Bulletin*, 12(1), 1718–1734. <https://doi.org/10.31838/ecb/2023.12.1.2562023.04/05/2023>
20. SIGTIERRAS. (2024). Centro Geomático Virtual. Presidencia de La República Del Ecuador. <http://www.sigtierras.gob.ec/>
21. Tricart, J. (1979). Mapas Geomorfológicos, ¿Por qué? *Acta Geológica Hispánica*, 1(1), 416–420. <https://revistes.ub.edu/index.php/ActaGeologica/article/view/4894/6442>