



UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM

Facultad de Ciencias de la Tierra y Agua

Carrera de Geociencias

**GEOLOGÍA DE SUPERFICIE EN LOS ALREDEDORES DEL RÍO
TENA ENTRE MUYUNA Y ONGOTA - CUENCA ORIENTE DEL
ECUADOR**

Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de:

INGENIERA EN GEOCIENCIAS

AUTOR: KAREN MISHHELL ABARCA YÁNEZ

TUTOR: PHD. OSWALDO JOSE GUZMÁN GUTIERREZ

Napo, Ecuador
2022

DECLARACIÓN DE DERECHO DE AUTOR, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Tena, 11 de noviembre de 2022

Yo, Karen Mishell Abarca Yánez con documento de identidad N° 1500752330, declaro que los resultados obtenidos en la investigación que presento en este documento final, previo a la obtención del título Ingeniera en Geociencias son absolutamente inéditos, originales, auténticos y personales.

En virtud de lo cual, el contenido, criterios, opiniones, resultados, análisis, interpretaciones, conclusiones, recomendaciones y todos los demás aspectos vertidos en la presente investigación son de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad.

Por la favorable atención a la presente, suscribo de usted,

Atentamente,

Firma:



Karen Mishell Abarca Yánez

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, KAREN MISHHELL ABARCA YÁNEZ, con documento de identidad N° 1500752330, en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: **Geología de superficie en los alrededores del río Tena entre Muyuna y Ongota - Cuenca Oriente del Ecuador** de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ÒRGANICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, reconozco a favor de la Universidad Regional Amazónica Ikiam una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Así mismo autorizo a la Universidad Regional Amazónica Ikiam para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación superior.

Tena, 11 de noviembre de 2022

Firma



Karen Mishell Abarca Yáñez
1500752330

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Certifico que el trabajo de integración curricular titulado: “Geología de superficie en los alrededores del río Tena entre Muyuna y Ongota - Cuenca Oriente del Ecuador”, en la modalidad de: proyecto de investigación en formato artículo original, fue realizado por: Karen Mishell Abarca Yánez, bajo mi dirección.

El mismo ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad Regional Amazónica Ikiám, para su entrega y defensa.

Tena, 11 de noviembre de 2022

Firma:



Oswaldo José Guzmán Gutiérrez

C.I: 1759458613

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi agradecimiento en especial a mis padres Dalton y Gladys por su apoyo incondicional a lo largo de mi formación profesional, de igual manera a mis hermanos Andrés y Valeria por formar parte de este proceso, sin ustedes nada de esto hubiera sido posible, porque son el pilar fundamental para seguir adelante y me motivan a crecer.

A mis profesores de la Facultad de Ciencias de la Tierra y Agua, especialmente a mi tutor Oswaldo y Corina por su paciencia, ayuda y enseñanzas, no solo en el desarrollo de la presente investigación, sino por todo el aporte a lo largo de la carrera.

A mis amigos y amigas que han formado parte de este proceso y han sido un soporte fundamental en toda la carrera, gracias por los momentos compartidos que han dejado una huella imborrable en mí. En especial a Marcia y Robert por todas las experiencias vividas.

A la Universidad Regional Amazónica Ikiam que me ha permitido formarme académicamente. Al grupo de Investigación de Ciencias de la Tierra y Clima, específicamente al Proyecto de Investigación CTC-006-2020 : "IGCP 669-Identification of seismogenic faults in populated areas of Latin America and its incorporation into seismic hazard assessment" dentro del cual fue realizado este proyecto de titulación, y a todos aquellos que forman parte de la universidad, porque han aportado en mi crecimiento tanto académico como personal.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE DERECHO DE AUTOR	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR ..	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
INDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	1
Descripción General Del Mapa Geológico Actual	2
METODOLOGÍA	4
RESULTADOS	5
Sección I: Columnas Estratigráficas	5
Sección II: Grupos Geológicos.....	21
Sección III: Datos estructurales.....	24
DISCUSIÓN	26
Unidades Estratigráficas Informales	26
Relación De Unidades Estratigráficas Informales Y Unidades Formales	28
Perfil Geológico y Contactos Formacionales	35
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
BIBLIOGRAFÍA	39

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla de datos estructurales tomados en campo.	25
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la zona de estudio.	3
Figura 2: Columna estratigráfica del afloramiento AF-3.	8
Figura 3: Columna estratigráfica de afloramiento AF-6.	11
Figura 4: Columna estratigráfica integrada de los afloramientos AF-7 y AF-8.	14
Figura 5: Columna estratigráfica de afloramiento AF-16.	18
Figura 6: Columna estratigráfica de afloramiento AF-21.	20
Figura 7: Perfil geológico trazado dirección O - E.	35
Figura 8: Mapa Geológico.	37

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Fotografías del afloramiento AF-3.	7
Fotografía 2: Fotografías del afloramiento AF-6.	10
Fotografía 3: Fotografías de los afloramientos AF-7 y AF-8.	13
Fotografía 4: Fotografías del afloramiento AF-16.	16
Fotografía 5: Fotografías del afloramiento AF-21.	19
Fotografía 6: Fotografías de los afloramientos AF-18 y AF-19.	21
Fotografía 7: Fotografías de las riberas y cauce del río Tena.	24

GEOLOGÍA DE SUPERFICIE EN LOS ALREDEDORES DEL RÍO TENA ENTRE MUYUNA Y ONGOTA - CUENCA ORIENTE DEL ECUADOR

RESUMEN

El presente trabajo consistió en el estudio de geología de superficie en 29 afloramientos en el cuadrante definido por las coordenadas U.T.M.: (182696, 9892953) y (190457, 9887315). Para esto se aplicó técnicas convencionales de adquisición de datos geológicos en campo, los cuales fueron integrados con imágenes satelitales en ambiente SIG. Como resultado se obtuvieron 5 columnas estratigráficas detalladas, que permitieron agrupar las características sedimentológicas-estratigráficas y dividir el área en 5 unidades informales: I) mudstone, arcillitas y areniscas II) areniscas y arcillitas rojas III) conglomerados de matriz areno arcillosa IV) rocas piroclásticas V) sedimentos fluviales y brechas. Estas características corresponden con las formaciones Napo, Tena, Tiyuyacu, una nueva unidad y Depósitos superficiales respectivamente. La información obtenida permitió: I) la descripción litológica de una unidad estratigráfica no identificada en bibliografía caracterizada por tobas, lapilli y brechas volcánicas y Tiyuyacu II) proponer una nueva clasificación para la descripción de depósitos superficiales, que consiste en sedimentos colo-aluviales y lahares III) redefinir los límites entre la Fm Tena y Tiyuyacu basado en la descripción litológica de afloramientos ubicados en las zonas de posible contacto IV) proponer que el contacto entre las formaciones Napo y Tena es un contacto de falla V) identificar en la Fm. Napo una posible estructura de eje anticlinal, basado en los datos estructurales de la zona VI) un mapa geológico actualizado a escala 1:5000 del área de estudio.

Palabras clave: Geología, Formaciones Napo Tena y Tiyuyacu, Eje anticlinal, Columnas estratigráficas, Roca piroclástica.

ABSTRACT

The present work consisted in the study of surface geology in 29 outcrops in the quadrant defined by the U.T.M. coordinates: (182696, 9892953) and (190457, 9887315). For this purpose, conventional geological data acquisition techniques were applied in the field, which were integrated with satellite images in a GIS environment. As a result, 5 detailed stratigraphic columns were obtained, which allowed grouping the sedimentological-stratigraphic characteristics and dividing the area into 5 informal units: I) mudstones, claystones and sandstones II) sandstones and red claystones III) conglomerates of sandy-clay matrix IV) pyroclastic rocks V) fluvial sediments and breccias. These characteristics correspond to the Napo, Tena, Tiyuyacu formations, a new unit and superficial deposits respectively. The information obtained allowed: I) the lithological description of a stratigraphic unit not identified in literature characterized by tuffs, lapilli and volcanic breccias II) to propose a new classification for the description of superficial deposits, consisting of collo-alluvial sediments and lahars, III) redefine the boundaries between the Tena and Tiyuyacu Fm. based on the lithological description of outcrops located in the possible contact zones IV) propose that the contact between the Napo and Tena formations is a fault contact V) identify in the Napo Fm. a possible anticlastic axis structure, based on the structural data of the area VI) an updated 1:5000 scale geological map of the study area.

Keywords: Geology, Napo Tena and Tiyuyacu Formations, Anticlinal axis, Stratigraphic columns, Pyroclastic roc

INTRODUCCIÓN

La región amazónica del Ecuador ha sido objeto de estudio de varias investigaciones geológicas, en sus inicios principalmente por parte de compañías petroleras (Watson and Sinclair, 1927; Vallejo *et al.*, 2002) y posteriormente para la búsqueda de yacimientos minerales tanto metálicos como no metálicos (Medina, 2013). Dichos estudios han permitido obtener información geológica de la cuenca oriente y generar mapas geológicos, los cuales son una herramienta que no solo aportan a la exploración y explotación de recursos minerales (Yautibug, 2009), sino que también contribuyen a la identificación de amenazas naturales (Basabe *et al.*, 1996; Garcia and Sanchez, 2019; Chunga *et al.*, 2013a), la planificación territorial (PDOT) y construcción de obras civiles (Chunga, 2013b).

El área de estudio se encuentra ubicada en el centro norte de la región amazónica a una altitud de 510 m.s.n.m. y cuenta con una importante riqueza geológica al ubicarse dentro del Yacimiento Hidrocarbúfero Pungarayacu, considerado uno de los reservorios con mayor volumen de hidrocarburos en Ecuador (Rivadeneira and Baby, 2004), además, posee abundantes recursos minerales, razón por la cual, se han asignado concesiones para la explotación de yacimientos de oro aluvial y material pétreo en los alrededores de la zona de estudio (ARCERNNR, 2020; Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Tena, 2021). Por otro lado, el área de estudio se encuentra atravesada por los ríos Tena y Pano, por lo tanto, cuenta con características hidrológicas y climáticas que lo convierten en una zona susceptible a inundaciones y deslaves (GAD Parroquial “San Juan de Muyuna”, 2015; Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Tena, 2021).

A pesar de esta riqueza geológica, la información disponible se encuentra a una escala regional, como lo son el Mapa geológico del Ecuador: Hojas Tena y Puerto Napo (INEMIN, 1986) a escala 1:100.000 y un levantamiento de cartografía temática de escala 1:25.000 (MAGAP - SIGTIERRAS, 2015). Estos mapas regionales se elaboraron a partir de fotointerpretación o del análisis de imágenes satelitales, con un mínimo control de campo y persiguen identificar tipos litológicos y las principales características estructurales a escala regional (Echeveste, 2017).

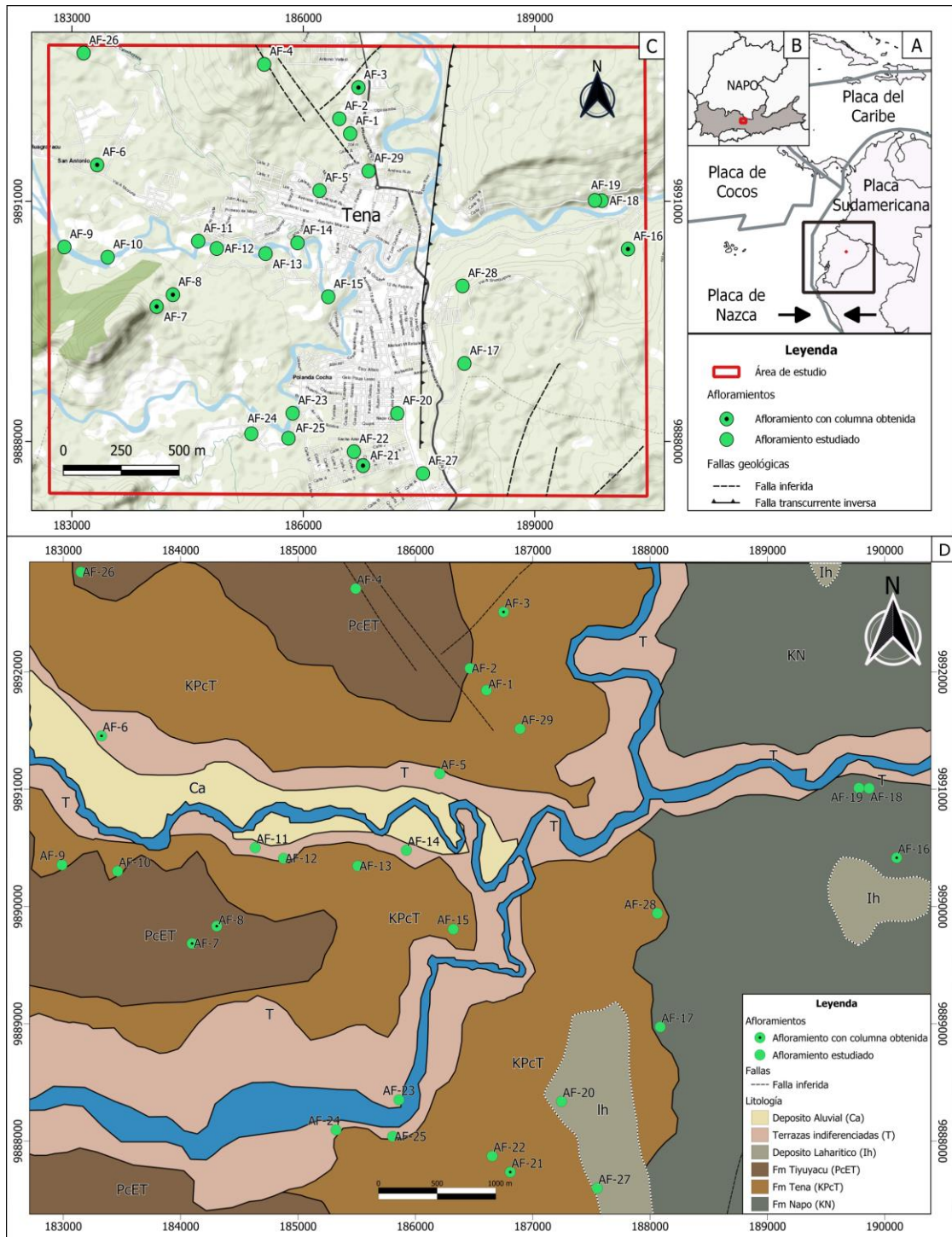
El presente trabajo tiene como objetivo adquirir datos de geología de superficie en el rectángulo definido por las coordenadas U.T.M. zona 18 Sur: (182696, 9892953) y (190457, 9887315) (Figura 1 A). Estos datos se integraron con interpretación de imágenes satelitales y se revisan los límites y contactos entre las formaciones previamente descritas en la información geológica disponible. Lo que permite generar un mapa geológico actualizado a escala 1:5000.

Descripción General Del Mapa Geológico Actual

El mapa geológico del Ecuador 1:100.000 del año 1986 (Figura 1 D), recopila la información geológica del país y la presenta dividida por cuadrantes (hojas geológicas). El área de estudio está comprendida entre las Hojas OIII-E3 Tena y OIV-AI Puerto Napo. En estas hojas se describe una zona geológicamente compleja, donde están presentes 15 unidades litológicas, caracterizadas por: rocas metamórficas de la cordillera real de edad Paleozoica que constituyen el basamento general; rocas intrusivas de edad Jurásica; rocas sedimentarias de edad Cretácica; rocas mesozoicas metamórficas; rocas sedimentarias de edades terciarias y rocas volcánicas recientes (Brito, 1985).

En el área de estudio están presentes 3 unidades litológicas y depósitos superficiales. Las unidades litológicas presentes son: Formación Napo que consta de 3 miembros (Basal-Medio-Superior) y se caracteriza de manera general por areniscas, calizas y lutitas de color negro y gris verdoso; Formación Tena que consiste en areniscas intercaladas con limolitas y arcillolitas rojas; Formación Tiyuyacu que se caracteriza por conglomerados de cuarzo y chert en una matriz areno-limosa de color pardo rojizo y café amarillento. Los depósitos superficiales que incluyen: Terrazas constituidas por gravas, arenas, limos y arcillas en zonas aledañas a los ríos; Lahares ubicados sobre las riberas de los ríos y consisten en masas caóticas de cantos de rocas volcánicas y Aluviales que se hallan en los cauces y orillas de los ríos constituidos por materiales poligénicos mal clasificados (Brito, 1985; INEMIN, 1986).

Desde el punto de vista estructural, el mapa geológico actual (INEMIN, 1986) solo incorpora algunas trazas de fallas, por otra parte, ningún dato de rumbo y buzamiento es reportado en el área de estudio y la simbología utilizada no diferencia entre contacto geológico inferido y falla cubierta. Por lo que es necesario incorporar información estructural y definir mejor la simbología.



negro señalan los afloramientos donde se levantó columnas estratigráficas detalladas y las líneas negras representan las fallas en el área de estudio, adaptado de (Costa *et al.*, 2020; Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Tena, 2021). D) Mapa Geológico de la zona de estudio a escala 1:100.000, adaptado de (INEMIN, 1986), el mapa fue construido a partir de la integración de las Hojas Geológicas Tena y Puerto Napo, se seleccionó solo el área de estudio.

METODOLOGÍA

Para el presente trabajo se utilizó una metodología convencional de adquisición de datos geológicos en campo (Echeveste, 2017). Se analizaron 29 afloramientos, los datos geológicos obtenidos fueron integrados en ambiente SIG y mediante el proceso de digitalización se construyeron los límites y contactos formacionales.

Para la elección de los 29 afloramientos se hizo uso de imágenes satelitales (ESRI World Topo, 2022; OpenTopoMap, 2022) y ortofotos (GAD Municipal de Tena, 2014), basándose en tres criterios de selección: 1) Sitios donde se observa que no hay cobertura vegetal, 2) Sitios estratégicos donde según el Mapa Geológico del Ecuador – Tena 1:100.000 (INEMIN, 1986) existe contacto formacional, 3) Verificación en campo.

En los 29 afloramientos se adquirieron datos sedimentológicos, estratigráficos y estructurales generales, en 6 de ellos se realizó un análisis sedimentológico-estratigráfico detallado, basado en: el espesor observable de la secuencia estratigráfica, la continuidad del afloramiento tanto lateralmente como verticalmente, la preservación y la representatividad del mismo. Solo las características detalladas de estos seis afloramientos fueron descritas en el capítulo de resultados; mientras que los afloramientos restantes fueron tomados en consideración para la asociación según características sedimentológicas-estratigráficas.

Los datos estructurales tomados en campo, fueron utilizados para elaborar el perfil geológico. La traza del perfil se dibujó sobre una base topográfica con dirección O – E con el objetivo de que sea lo más perpendicular al rumbo de las capas, además de atravesar en su mayoría las formaciones geológicas. Los datos estructurales fueron proyectados paralelos al rumbo hasta cortar la traza. En las zonas donde se tomaron

datos estructurales a partir de un talud vertical se utilizó el dato de las capas superficiales.

Para la elaboración del mapa geológico se hizo uso de software libre QGis y para la digitalización de mapas y columnas estratigráficas se utilizaron los softwares AutoCAD e Inkscape. Con respecto a la simbología utilizada en las columnas estratigráficas fueron adaptados de (U.S. Geological Survey, 2009), para la descripción de rocas sedimentarias (Nichols, 2009) y para rocas ígneas de (Castro, 2015). En cuanto a códigos de color RGB se utilizó de (USGS, -) y para la toma de colores en campo se usó Rock Color Chart (Color, M, 2020).

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados en 3 secciones: I) Columnas estratigráficas descritas de la base hacia el tope II) Grupos con características sedimentológicas-estratigráficas similares que comprenden los afloramientos estudiados III) Tabla de datos estructurales tomados en campo.

En los afloramientos estudiados no se encontró estructuras sedimentarias que indiquen polaridad de capas de forma directa. Sin embargo, basado en que: i) La mayoría de capas de conglomerados presentan gradación normal, II) Las capas tienden a ser subhorizontales, y III) no se reporta inversión de la polaridad de las capas en el área de estudio en la bibliografía existente (Brito, 1985; INEMIN, 1986; Baby *et al.*, 1999; Christophoul *et al.*, 2004); se asume que las capas están en posición normal.

Sección I: Columnas Estratigráficas

- **Afloramiento AF-3**

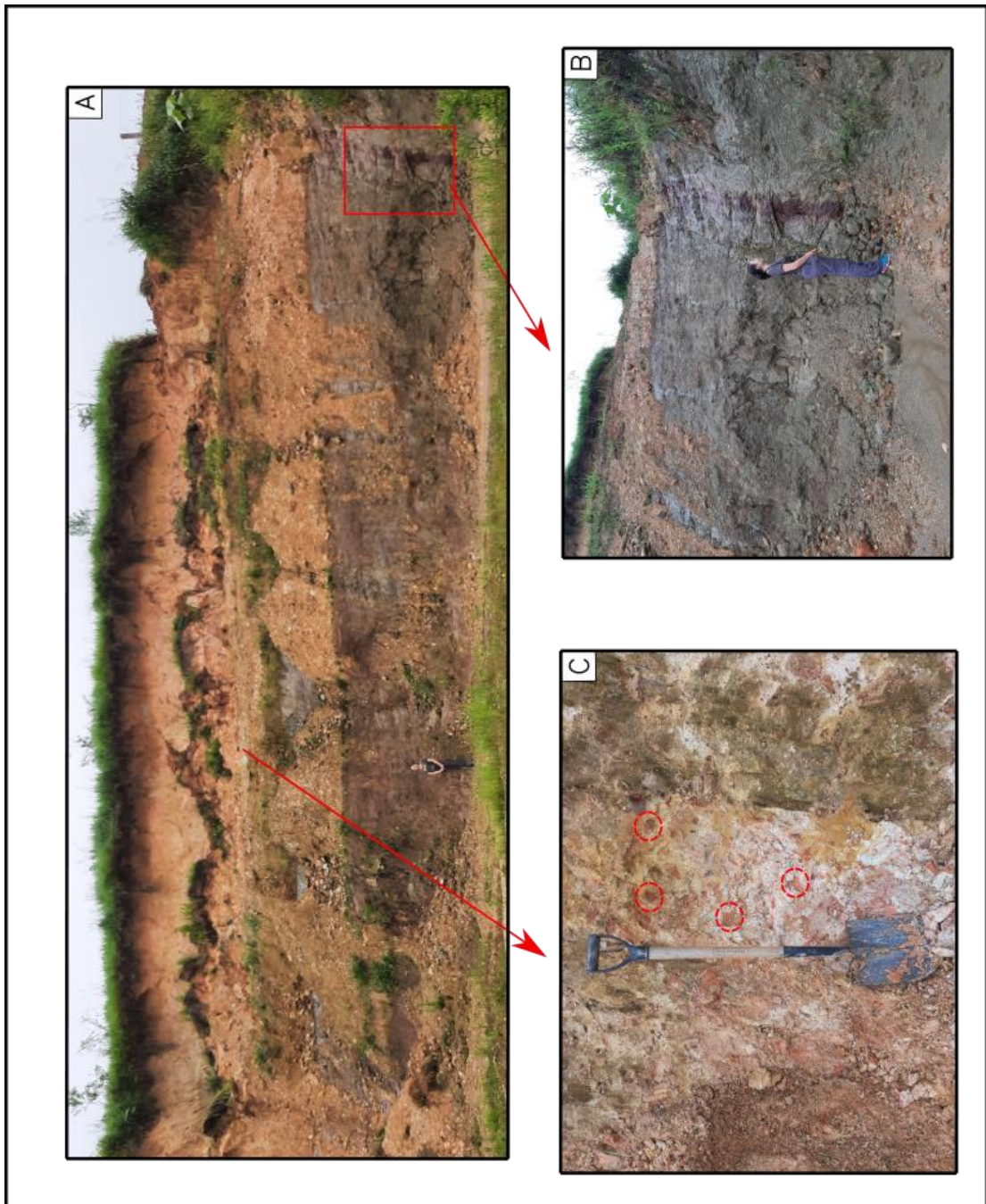
Se analizó a detalle el afloramiento AF-3 que tiene una geometría aproximada de 21 m x 50 m de alto y ancho, respectivamente (Fotografía 1 A) de este afloramiento se logró obtener una columna estratigráfica de 20,82 m (Figura 2).

De acuerdo a las características sedimentológicas la columna levantada se puede separar en 3 unidades sedimentológicas principales. La unidad 1, infrayacente,

(Fotografía 1 B) comprende al menos un espesor de 6,15 m y su contacto basal no es apreciable. Esta unidad está compuesta por una intercalación de arcilitas y areniscas de espesor de 5,4 m. Las areniscas son de color marrón moderado (10 YR 4/4) y las arcilitas son de color gris azulado claro (5 B 7/11). Las arcilitas presentan laminación paralela. Esta unidad infrayacente en sus últimos 0,5 m está compuesta de arcilita de color gris (N7) masiva.

La unidad 2 (Fotografía 1 C) comprende un espesor de al menos 11,6 m. El contacto entre las capas es erosivo con la unidad infrayacente, pero entre las unidades es discordante. En esta unidad se observan paraconglomerados polimícticos con matriz de tamaño de grano variable entre arena y arcilla. Los clastos están constituidos principalmente por rocas ígneas y sedimentarias, altamente meteorizados y que presentan tamaño de grano variable entre guijarros y gravas.

La unidad 3 comprende un espesor de al menos 3 m, se encuentra expuesta a superficie y consiste en arcilitas de color marrón moderado (10 YR 5/4) y limolitas de color naranja amarillento oscuro (10 YR 6/6). Estas capas presentan fragmentos de cuarzo de diámetro promedio de 0.01 m. Los clastos son subangulares, moderadamente seleccionados y se encuentran distribuidos aleatoriamente dentro de las capas.



Fotografía 1: Fotografías del afloramiento AF-3.
Realizado por: Abarca Karen, 2022

A: Fotografía general del afloramiento AF-3, al lado derecho columna estratigráfica. B: Fotografía de la unidad infrayacente de areniscas y arcillitas de color gris. C: Fotografía de la unidad suprayacente con conglomerados polimícticos, en los círculos rojos se observan clastos de color anaranjados meteorizados los cuales corresponden a litologías ígneas y sedimentarias.

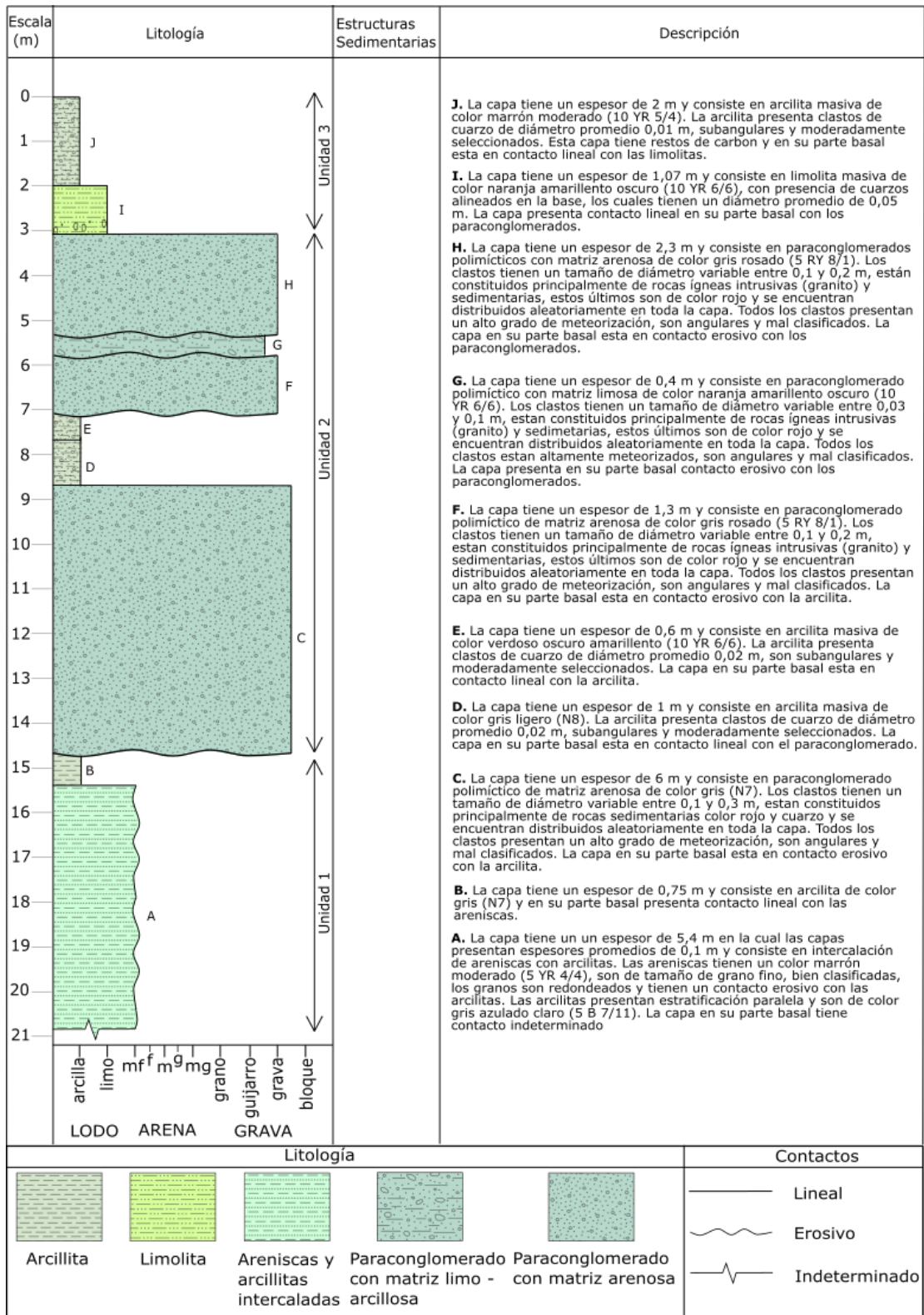


Figura 2: Columna estratigráfica del afloramiento AF-3.
Realizado por: Abarca Karen, 2022

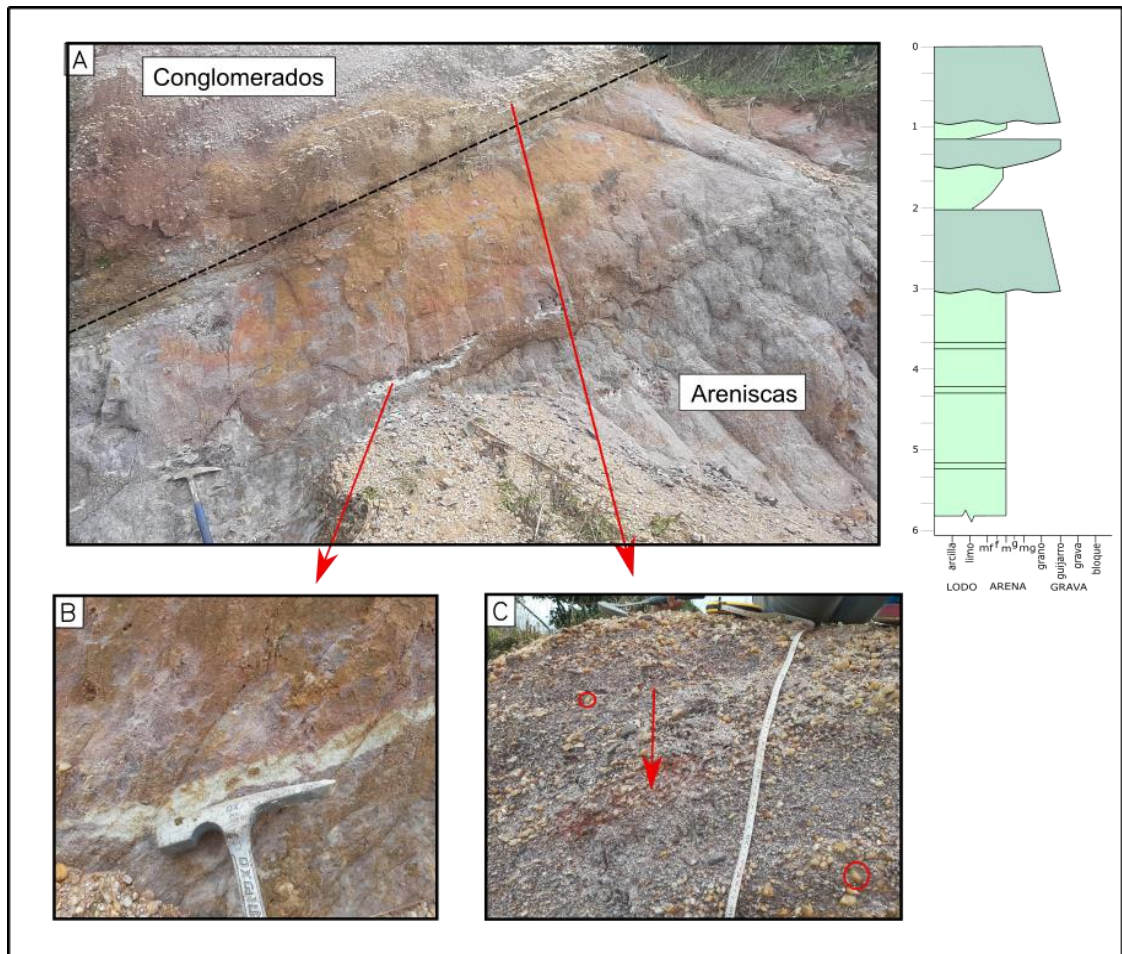
Se aprecian las 3 unidades sedimentológicas. La unidad 1 son intercalaciones de areniscas con arcillas, la unidad 2 son paraconglomerados polimícticos y la unidad 3

son arcilitas y limolitas (más detalle en la descripción). La simbología y colores fueron adaptados de la (U.S. Geological Survey, 2009) y (Nichols, 2009).

- **Afloramiento AF-6**

Se construyó una columna estratigráfica en el afloramiento AF-6 (Fotografía 2). El sitio estudiado tiene una geometría aproximada de 6 x 10 m, de alto y ancho respectivamente, en este afloramiento se logró construir una columna estratigráfica de 5,8 m (Figura 3).

De acuerdo a las características sedimentológicas la columna levantada consiste en una intercalación de paraconglomerados monomícticos y areniscas (Fotografía 2 A). Las areniscas son de tamaño de grano variable entre fino a medio y presentan color púrpura pálido (5P 6/2) con sectores de geometría irregular de color naranja amarillento oscuro (10 YR 6/6) los cuales se encuentran distribuidos de manera aleatoria. Las capas varían de espesor entre un máximo de 2,8 m y un mínimo de 0,15 m, las de mayor espesor presentan niveles de arenisca color gris azulado (5 P 6/2) (Fotografía 2 B) y de manera general son masivas. Las capas de paraconglomerados varían su espesor entre un máximo de 1 m y un mínimo de 0,3 m y en su parte basal están en contacto erosivo con las areniscas. Los paraconglomerados son de matriz arenosa, que varían su tamaño de grano de fino a medio y presentan color variable entre púrpura pálido (5P 6/2) y marrón moderado (10 YR 6/6). Los clastos tienen un tamaño de diámetro variable entre 0,005 a 0.05 m y la capa presenta gradación normal (Fotografía 2 C). Los clastos son de cuarzo que varían entre redondeados y subangulares, moderadamente seleccionados y están ligeramente imbricados. La capa inferior presenta clastos de cuarzo alineados en la base.



Fotografía 2: Fotografías del afloramiento AF-6.
Realizado por: Abarca Karen, 2022

A: Fotografía general del afloramiento, se observa capas de arenisca y conglomerado, a lado derecho columna estratigráfica. B: Fotografía de las areniscas con masivas de color morado con niveles de areniscas grises. C: Fotografía de conglomerados monomícticos de cuarzo con gradación normal, la flecha roja indica la dirección del aumento del tamaño de grano.

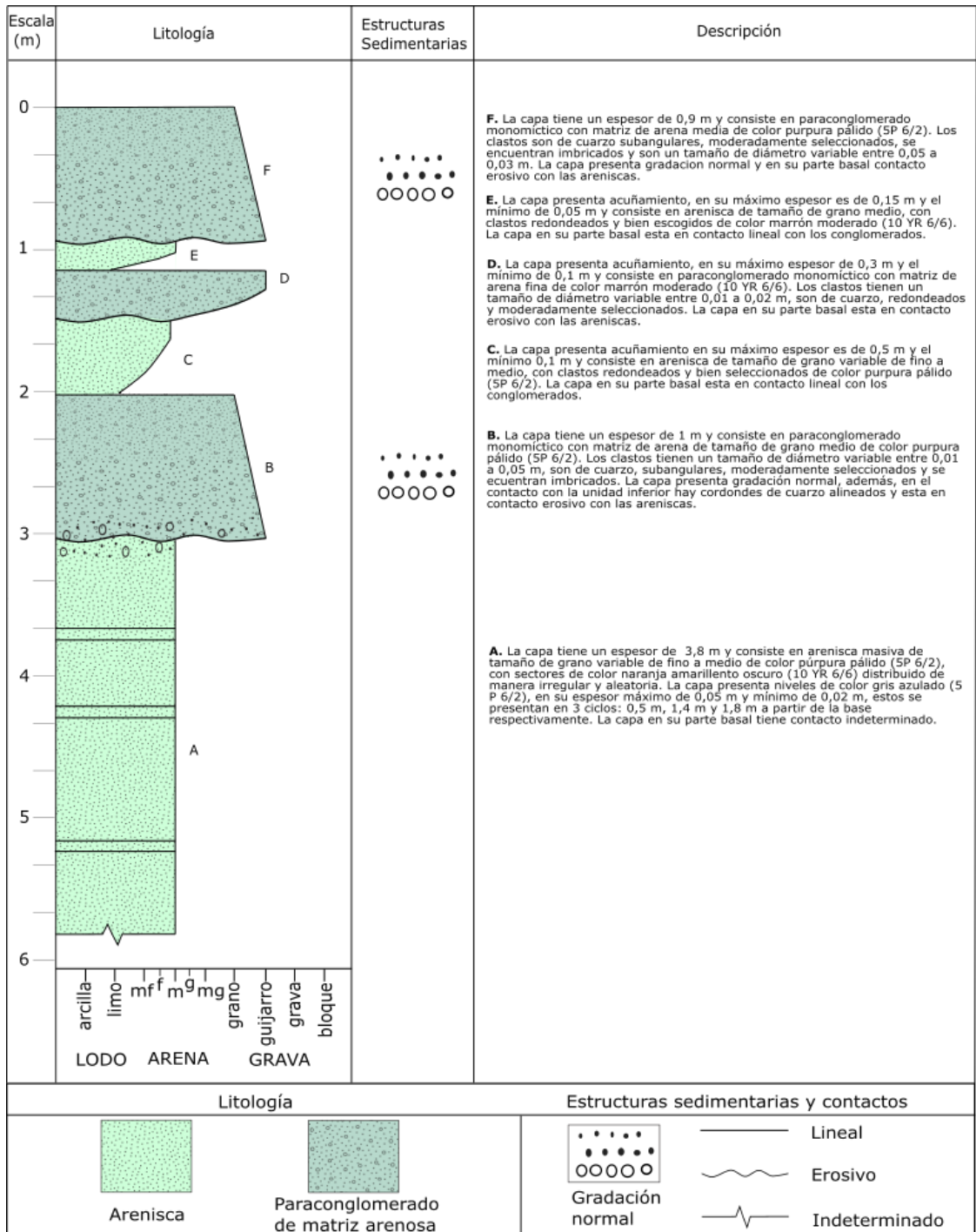


Figura 3: Columna estratigráfica de afloramiento AF-6
Realizado por: Abarca Karen, 2022

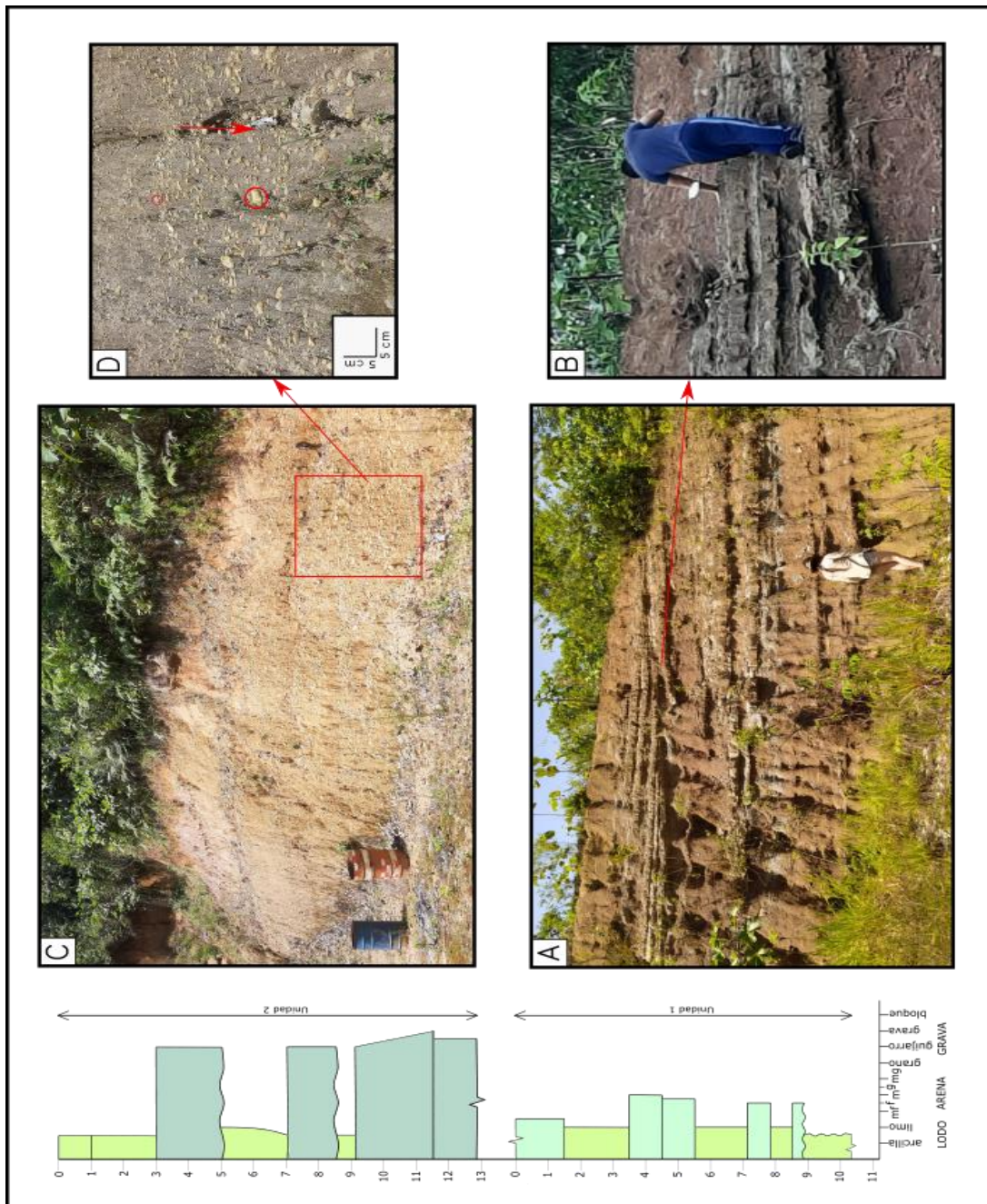
Se observa la intercalación entre conglomerados y areniscas (Para mayor detalle véase la descripción). La simbología y colores fueron adaptados de la (U.S. Geological Survey, 2009) y (Nichols, 2009).

- **Afloramientos AF-7 y AF-8**

Se construyó una columna estratigráfica integrada de los afloramientos AF-7 y AF-8 (Fotografía 3). El sitio AF-7 tiene una geometría aproximada de 13 x 15 m, de alto y ancho respectivamente, mientras que el afloramiento AF-8 tiene una geometría aproximada de 11 x 15 m, de alto y ancho. El afloramiento AF-8 topográficamente se ubica por debajo del afloramiento AF-7. De los dos afloramientos se logró construir una columna estratigráfica integrada de 23 m (Figura 4).

De acuerdo a las características sedimentológicas la columna levantada se puede dividir en 2 unidades principales: La unidad infrayacente presenta un espesor de al menos 10,3 m, su contacto basal no es apreciable y el superior aflora a superficie, sin embargo, el contacto entre los afloramientos no es observable. Esta unidad está compuesta por intercalación de limolitas, arcillitas y areniscas de grano medio (Fotografía 3 A). Las limolitas son de color marrón pálido (19 YR 6/2), las arcillitas de color azul pálido (5 B 6/2) y las areniscas de color variable entre marrón rojizo oscuro (10 R 3/4) y azul pálido (5 B 6/2). En su último metro la unidad está compuesta de intercalación entre limolitas masivas y limolitas con laminación paralela de color azul pálido (5 B 6/2). En este sector se aprecia que las limolitas infrayacentes se encuentran en contacto angular con las suprayacentes (Fotografía 3 B).

La unidad suprayacente comprende un espesor de al menos 12,9 m y se encuentra expuesta en superficie. La parte inferior de la unidad se caracteriza principalmente por paraconglomerados de matriz de tamaño de grano variable entre limo arcilloso y areniscas de tamaño de grano fino a medio (Fotografía 3 C). La matriz de limo arcilloso presenta color marrón claro (5 YR 5/6), la matriz arenosa tiene un color variable entre gris claro (7), rojo (5 R 4/2) y marrón claro (5 YR 5/6). Los paraconglomerados varían entre monomítico y oligomítico. Los clastos monomíticos son de cuarzo redondeados a subangulares y moderadamente seleccionados. Los clastos oligomíticos son predominantemente cuarzo y clastos de rocas ígneas extrusivas, que van de subangulares a angulares, mal clasificados, con imbricación y la capa presenta gradación normal (Fotografía 3 D).



Fotografía 3: Fotografías de los afloramientos AF-7 y AF-8.
Realizado por: Abarca Karen, 2022

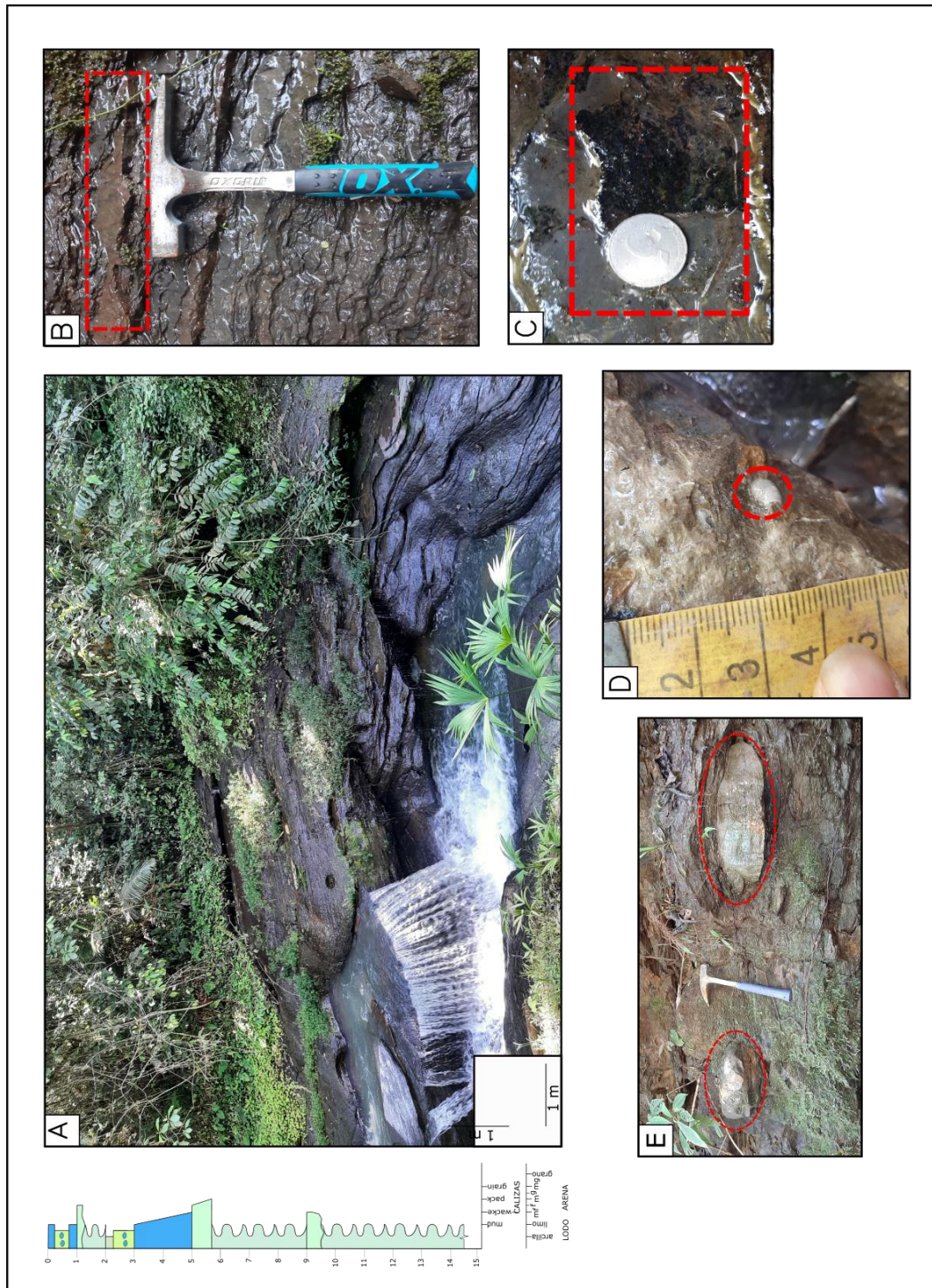
A: Fotografía general del afloramiento AF-8, se observa la unidad infrayacente de intercalación de limolitas, arcillitas y areniscas, al lado izquierdo se observa columna estratigráfica. B: Fotografía del contacto angular entre limolitas suprayacentes con infrayacentes. C: Fotografía general del afloramiento AF-7, se observa la unidad suprayacente de conglomerados que varían entre monomictico y oligomictico. D: Fotografía de los conglomerados con gradación normal, la flecha roja indica la dirección del aumento del tamaño de grano.

Se observan las 2 unidades sedimentológicas. La unidad 1 son una intercalación de limolitas y areniscas, la unidad 2 se caracteriza por conglomerados y limolitas (más detalle en la descripción). La simbología y colores fueron adaptados de la (U.S. Geological Survey, 2009) y (Nichols, 2009).

- **Afloramiento AF-16**

Se construyó una columna estratigráfica en el afloramiento AF-16 (Fotografía 4 A). El sitio tiene una geometría aproximada de 150 x 15 m, de longitud y ancho respectivamente, donde se logró construir una columna estratigráfica de 15 m (Figura 5).

De acuerdo a las características sedimentológicas la columna comprende intercalaciones entre mudstone y wackstone masivos de color gris (5 B 5/1), arcillitas, limolitas y areniscas de color negro (4 N4) y gris (5 Y 2/1). Las arcillitas, limolitas y areniscas se presentan intercaladas en capas de 0,02 a 0,03 m y presentan planos de fisibilidad (Fotografía 4 B). La intercalación tiene sectores de color negro (N1) con olor de un fluido similar a hidrocarburo, además de materia orgánica diseminada (Fotografía 4 C). El mudstone y wackstone son masivos, con matriz de esparita y se presentan generalmente en la base wackstone y en la parte superior mudstone. Estos están conformados por fósiles marinos que varían de 0,02 a 0,2 m (Fotografía 4 D). El afloramiento presenta nódulos calcáreos intercalados en los últimos 5 m del afloramiento (Fotografía 4 E).



Fotografía 4: Fotografías del afloramiento AF-16.
 Realizado por: Abarca Karen, 2022

A: Fotografía general del afloramiento, al lado izquierdo se observa la columna estratigráfica. B: Fotografía de la intercalación de arcillitas, limolitas y areniscas, en el rectángulo rojo se observan arcillitas erosionadas y planos de fisibilidad. C: Fotografía de limolita con materia orgánica diseminada enmarcada en el rectángulo rojo. D:

Fotografía de wackstone con fósiles de 0,02 m aproximadamente enmarcados en el círculo rojo. E: Fotografía de la intercalación de arcillas y limos con nódulos calcáreos enmarcados en círculos rojos.

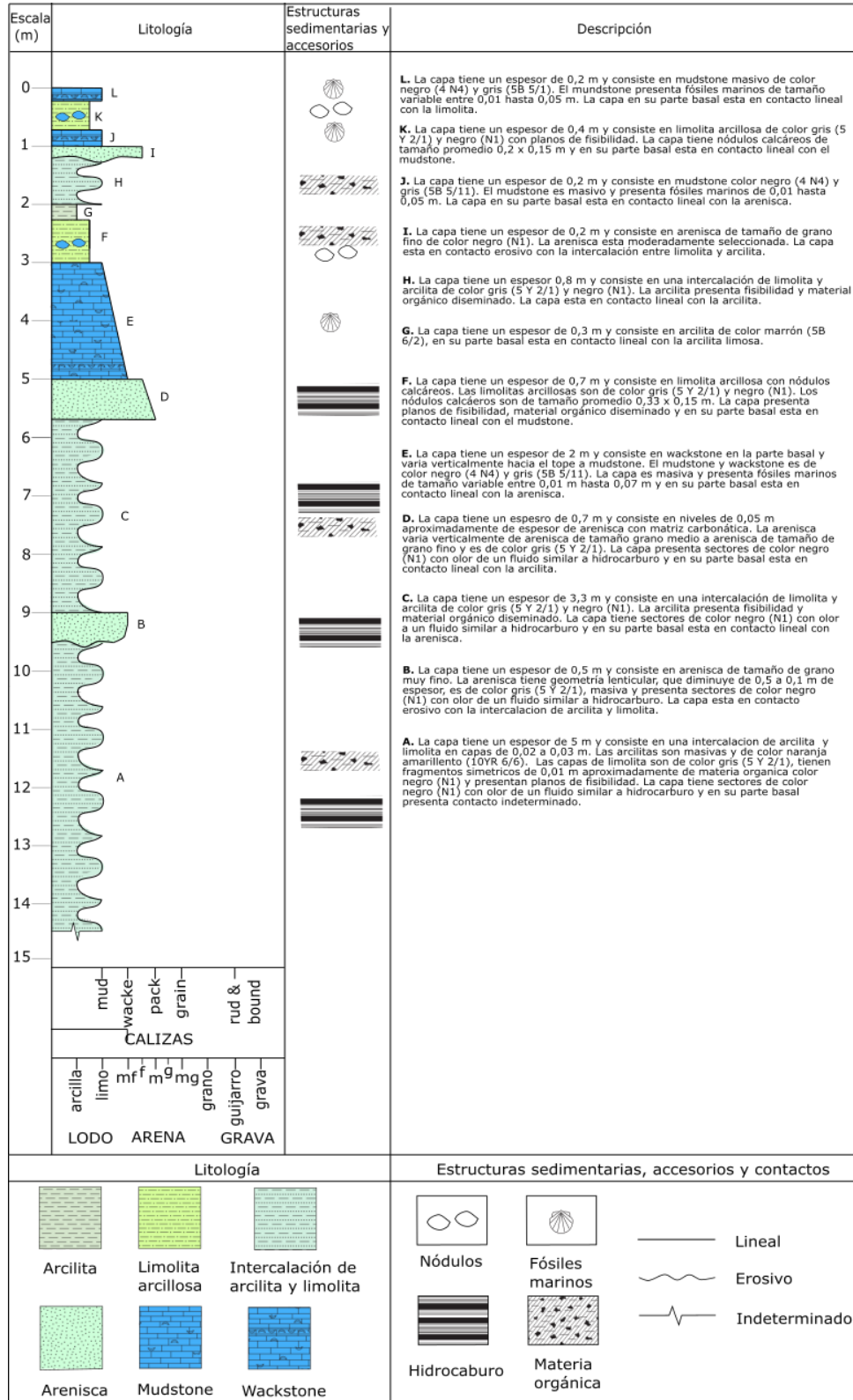


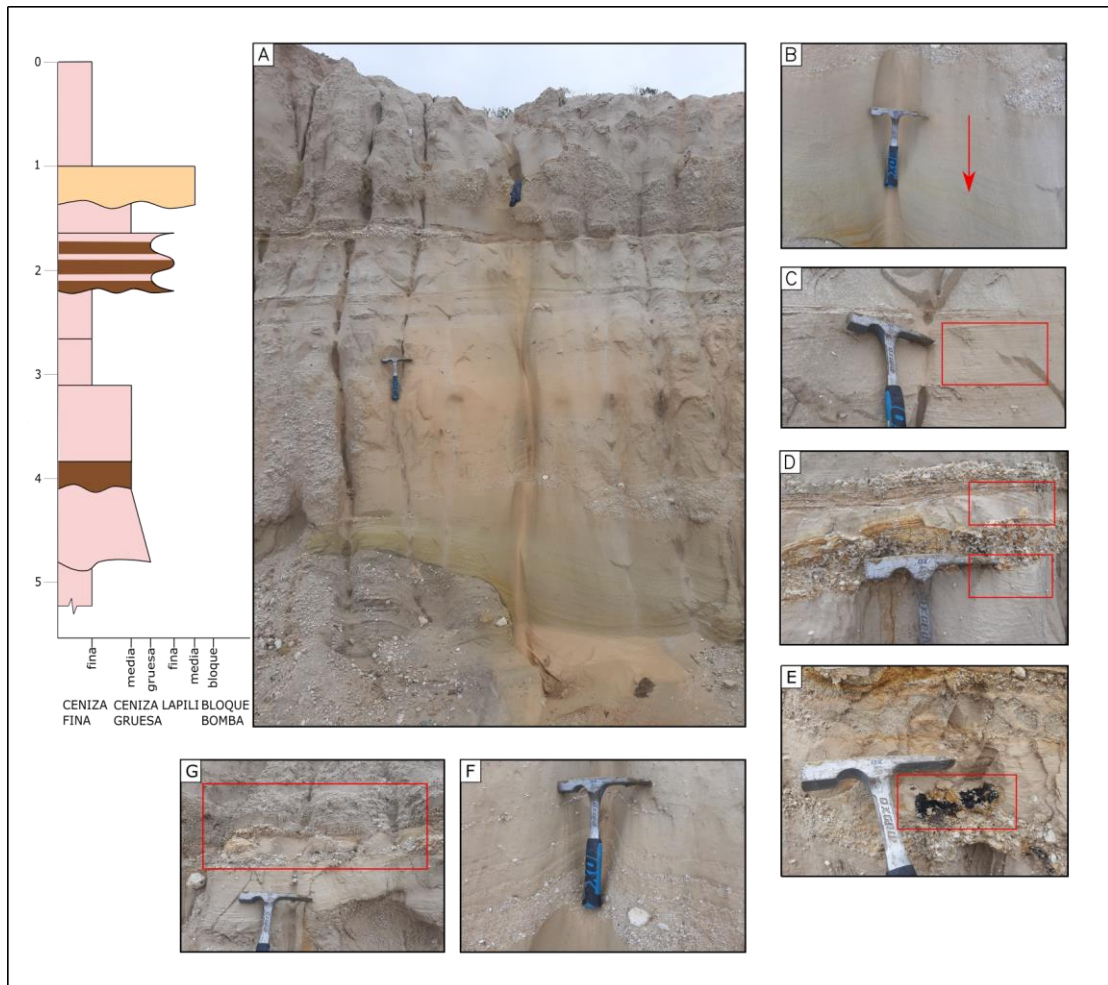
Figura 5: Columna estratigráfica de afloramiento AF-16.
Realizado por: Abarca Karen, 2022

Se observa intercalaciones entre mudstone, wackestone, arcillitas, limolitas y areniscas. En toda la parte superior de la columna se identifican fósiles marinos y nódulos calcáreos (más detalle en la descripción). La simbología y colores fueron adaptados de la (U.S. Geological Survey, 2009) y (Nichols, 2009).

- **Afloramiento AF-21**

Se construyó una columna estratigráfica en el afloramiento AF-21. Esta localidad tiene una geometría aproximada de 5 x 4 m de alto y ancho, respectivamente (Fotografía 5 A) en el cual se logró construir una columna estratigráfica de 5,3 m (Figura 6).

De acuerdo a las características sedimentológicas la columna comprende tobas de tamaño de grano variable, lapilli y brechas volcánicas. Las tobas varían entre tobas de ceniza fina a gruesa de color gris claro 5 Y 6/1 (Fotografía 5 B), estas presentan laminación paralela (Fotografía 5 C) y laminación cruzada (Fotografía 5 D), también restos de carbón ubicados generalmente en la base de las capas (Fotografía 5 E) y clastos alineados de roca ígnea extrusiva Pumita (Fotografía 5 F). Los lapilli están conformados de clastos de Pumita que tienen un tamaño promedio de 0,03 m y son de color blanco azulado 5 B 9/1, además, se presentan capas de intercalación entre toba y lapilli, donde la toba tiene estratificación cruzada. La brecha volcánica se ubica en la parte superior de la columna (Fotografía 5 G). La brecha consta de clastos de Pumita de tamaño promedio de 6 cm, distribuidos aleatoriamente en la capa.



Fotografía 5: Fotografías del afloramiento AF-21.
Realizado por: Abarca Karen, 2022

A: Fotografía general del afloramiento AF-21. B: Fotografía de la capa de toba que varía verticalmente de ceniza fina a gruesa hacia la base de la capa, la flecha roja indica la dirección del aumento del tamaño de grano. C: Fotografía de capa con laminación paralela enmarcada en el rectángulo rojo. D: Fotografía de capa de intercalación de toba y lapilli, la toba presenta laminación cruzada, enmarcada en el rectángulo rojo. E: Fotografía de toba con carbón en la parte basal véase rectángulo rojo. F: Fotografía de capa de los lapilli alineados, con clastos de tamaño promedio 0,03 m y en la base se observa una bomba de tamaño promedio 0,07 m. G: Capa de brecha piroclástica rectángulo rojo, con clastos de tamaño promedio de 0,06 m.

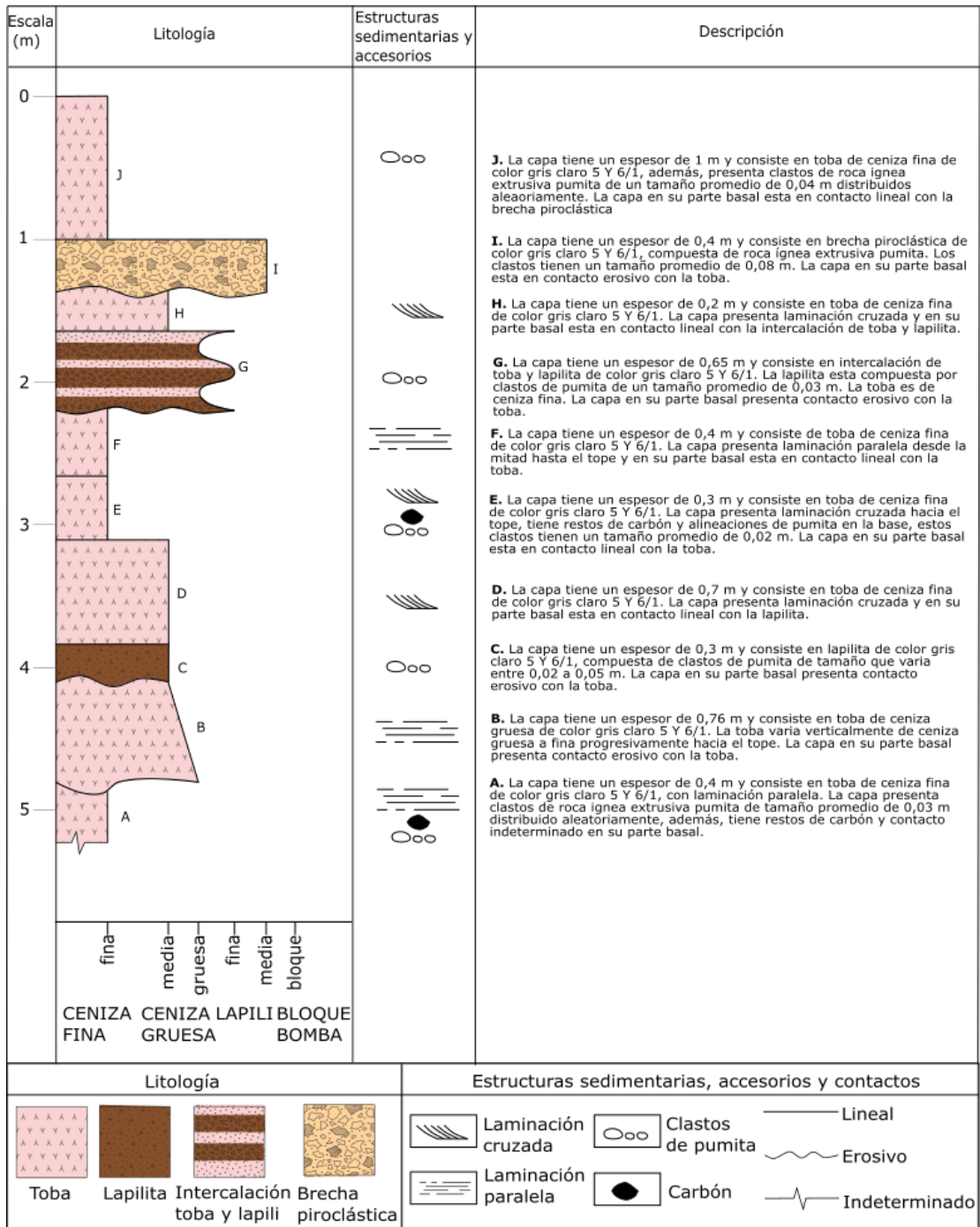


Figura 6: Columna estratigráfica de afloramiento AF-21.

Realizado por: Abarca Karen, 2022

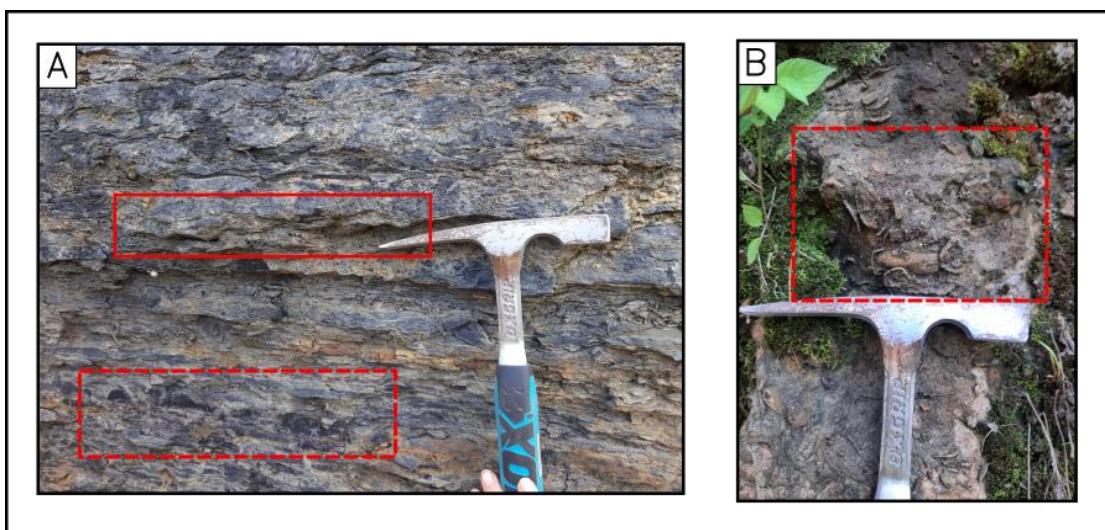
Se observa de manera general tobas de tamaño de grano variable, lapilli y brechas volcánicas. La simbología y colores fueron adaptados de la (U.S. Geological Survey, 2009) y (Nichols, 2009)

Sección II: Grupos Geológicos

Los datos obtenidos se presentan en 5 grupos geológicos con características sedimentológicas y estratigráficas similares: Grupo 1: Arcillitas, areniscas y limolitas; Grupo 2: Conglomerados de matriz variable; Grupo 3: Lutitas, areniscas, mudstone y wackestone; Grupo 4: Tobas, lapilli y brechas volcánicas; Grupo 5: Sedimentos fluviales y material variado:

- **Grupo 1**

En términos generales este grupo se caracteriza por mudstone y wackestone intercalados con arcillitas limolitas y areniscas. El mudstone y wackestone generalmente son de color gris (5 B 5/11) y negro (4 N4). Estos están conformados por fósiles marinos de tamaño de diámetro entre 0,02 a 0,05 m. En algunos afloramientos se evidencian rudstone con fósiles marinos de tamaño de diámetro de 0,5 m (AF-18). Las arcillitas se presentan en su mayoría intercaladas con limolitas y areniscas calcáreas en capas de 0,002 a 0,003 m y presentan planos de fisibilidad. Las arcillitas y limolitas son de color variable entre gris (5 Y 2/1) y negro (N1). Las capas de intercalaciones presentan nódulos calcáreos. Las areniscas son de tamaño de grano variable entre muy fino a medio y están impregnadas de una sustancia de color negro con olor similar a hidrocarburo, tienen forma lenticular y presentan rizaduras simétricas (Fotografía 6). En este caso se identificaron 5 afloramientos que presentan dichas características: AF-16, AF-17, AF-18, AF-19 y AF-28, para mayor detalle se puede observar la columna estratigráfica del afloramiento AF-16 (Figura 5).



Fotografía 6: Fotografías de los afloramientos AF-18 y AF-19.
Realizado por: Abarca Karen, 2022

A: Fotografía del afloramiento AF-18 con areniscas que están impregnadas de una sustancia de color negro con olor similar a hidrocarburo enmarcado en el rectángulo de líneas entrecortadas rojo, las limolitas tienen forma lenticular y presentan rizaduras simétricas véase rectángulo rojo. B: Fotografía del afloramiento AF-19 donde se observa un packstone con fósiles de 0,05 m aproximadamente véase rectángulo rojo.

- **Grupo 2**

De manera general las características sedimentológicas de este grupo son intercalaciones de arcillitas, limolitas, areniscas y conglomerados. Las arcillitas generalmente son masivas y de color gris claro azulado (5 B 7/11) que en ocasiones varía a gris (N7) y marrón (10 YR 5/4). Las limolitas suelen presentarse intercaladas con arcillitas, son de color generalmente azul pálido (5 B 6/2) o marrón pálido (10 YR 6/2) y en algunos afloramientos presentan laminación paralela (AF-8). Las areniscas son de tamaño de grano variable entre fino a medio y son de color marrón (10 YR 6/2). Los conglomerados generalmente son polimícticos con matriz de tamaño de grano variable entre arcilla y arena. La matriz suele presentarse de color naranja amarillento (10 YR 6/6) o gris rosado (5 YR 8/1). Los clastos están constituidos principalmente de rocas ígneas y sedimentarias, que suelen estar altamente meteorizadas. Los afloramientos que presentan estas características geológicas son 15: AF-1, AF-2, AF-3, AF-4, AF-5, AF-8, AF-9, AF-6, AF-10, AF-11, AF-12, AF-26, AF-20, AF-27, AF-24, AF-25 y AF-29 (Figura 1). El detalle de las características se lo puede observar en las columnas estratigráficas del afloramiento AF-3 y AF-8 (Figura 3 y Figura 4 unidad infrayacente).

- **Grupo 3**

El grupo 3 se caracteriza por limolitas y conglomerados monomícticos de matriz arena arcillosa. Las limolitas generalmente son masivas y de color variable entre marrón claro (5 YR 5/6) y gris claro (N7). Los paraconglomerados tienen matriz de tamaño variable entre limo arcillosa de color marrón claro (5 YR 5/6) y arenosa de color rojo grisáceo (5 R 4/2). Las capas en su mayoría presentan gradación normal. Los clastos de los paraconglomerados son de cuarzo generalmente de tamaño de grano entre 0,001 a 0,003 m, estos varían entre redondeados a angulares, son moderadamente seleccionados y en su mayoría están imbricados. De los afloramientos estudiados uno presenta estas características geológicas AF-7, para mayor detalle se puede observar la columna estratigráfica del afloramiento AF-7 (Figura 4. unidad suprayacente).

- **Grupo 4**

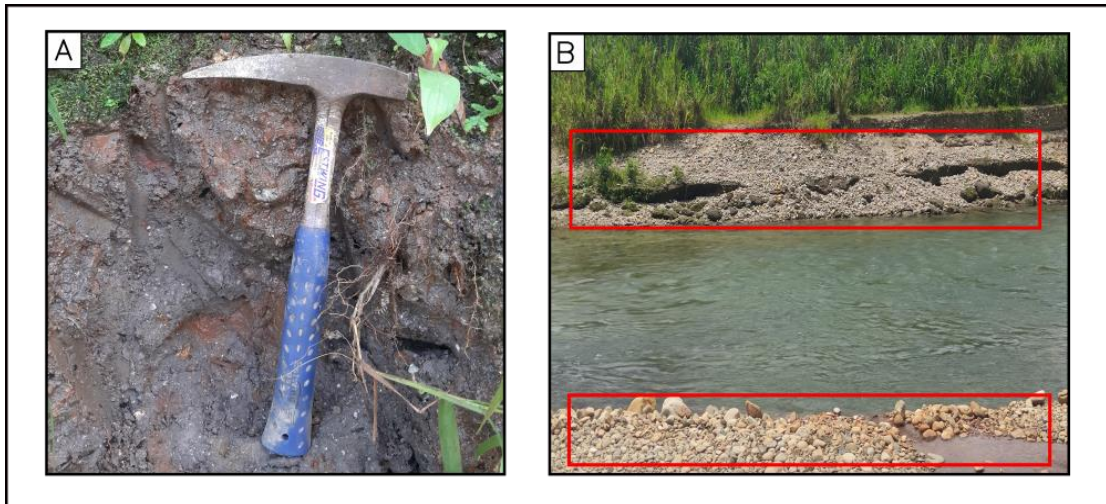
El grupo 4 se caracteriza por tobas, lapilli y brechas volcánicas. Las tobas son de ceniza fina y color gris claro (5 Y 6/1) y en su mayoría presentan laminación paralela y laminación cruzada. Los lapilli son de color gris claro (5 Y 6/1) y están conformados por clastos de pumita y en algunos sectores restos de carbón. Los clastos de pumita son de tamaño de grano entre 0,02 a 0,05 m. Los lapilli en ocasiones se encuentran intercalados con las tobas. Las brechas volcánicas están conformadas por matriz de ceniza fina y clastos de pumita de tamaño de grano promedio de 0,08 m. Los afloramientos que presentan estas características son 2: AF-21 y AF-22. Para mayor detalle se puede observar la columna estratigráfica del afloramiento AF-21 (Figura 6).

- **Grupo 5**

Este grupo está constituido litológicamente por sedimentos fluviales y brechas, ubicados a lo largo de las riberas del cauce del río Tena. Para el análisis de esta zona se recorrió el área y se analizaron los lugares donde habían expuestos depósitos, de los cuales se pueden identificar dos litologías generales.

La primera litología se presenta distribuida de manera aleatoria y por tramos: Esta litología se caracteriza por una masa caótica con clastos en su mayoría rocas ígneas y se le denomina brecha (Fotografía 7 A). La brecha tiene matriz de arena de tamaño de grano medio a grueso y arcilla. La matriz es de color negro (N1) y azul verdoso (5 BG 5/2). Los clastos están compuestos en su mayoría de rocas ígneas (granito y cuarzo) de tamaño de grano variado de 0,02 a 0,5 m, son angulosos, sin orientación y se encuentran distribuidos en la matriz de manera caótica.

La segunda litología está distribuida en el cauce y las riberas del río. La litología se caracteriza por sedimentos variados. Los sedimentos están constituidos por clastos de litologías variadas, en su mayoría son clastos de rocas ígneas (predominantemente cuarzo) y en menor proporción clastos de rocas metamórficas y sedimentarias (Fotografía 7 B). Los clastos están imbricados en su mayoría, son angulosos y mal clasificados. Los sedimentos presentes son areniscas de tamaño de grano variable de fino a muy grueso, redondeados y bien clasificados. Sin embargo, en algunas localidades los clastos están mal clasificados, ni presentan imbricación.



Fotografía 7: Fotografías de las riberas y cauce del río Tena.
Realizado por: Abarca Karen, 2022

A: Fotografía de la primera litología caracterizada por brechas polimicticas predisuestas de manera caótica con matriz de areniscas de grano medio a grueso. B: Fotografía de la segunda litología, se observa material variado compuesto de diversas litologías.

Sección III: Datos estructurales

Los datos de rumbo y buzamiento fueron tomados en campo, teniendo en cuenta los afloramientos que presentaban planos de estratificación mejor definidos (Tabla 1).

En el afloramiento AF-3 se tomaron datos en la unidad infrayacente, los planos varían de 40° - 305° / 15° - 22° NO de rumbo y buzamiento respectivamente, mientras que en la unidad suprayacente las capas son horizontales. En el afloramiento AF-20 los planos varían de 215° - 230° / 22° - 45° NO de rumbo y buzamientos, mientras que en el afloramiento AF-6 los planos varían de 160° - 195° / 24° - 35° NO de rumbo y buzamiento respectivamente. En el caso del afloramiento AF-8 los planos varían en la zona de contacto angular entre las limolitas de 35° - 220° / 10° - 15° SE de rumbo y buzamiento, mientras en la parte inferior del afloramiento los planos varían 145° - 185° / 1° - 15° SE de rumbo y buzamiento y en el afloramiento AF-7 los planos son subhorizontales, de igual manera en el afloramiento AF-16 los planos varían 185° - 150° / 3° - 8° NE de rumbo y buzamiento y en la parte inferior del afloramiento las capas son subhorizontales. En el afloramiento AF-9 se evidenció una zona de posible fallamiento con planos que varían 70° / 13° N y 108° / 9° S.

Los datos estructurales varían debido a fallas locales y estructuras identificadas en campo.

Tabla 1: Tabla de datos estructurales tomados en campo.

Afloramiento	Cod_Punto	Coordenadas (WGS 84 / UTM 18 S)		Plano de estratificación
		X	Y	
AF-3	3D1	186752	9892512	40 / 15 NO
AF-3	3D2	186752	9892512	305 / 20 NO
AF-3	3D3	186752	9892512	215 / 22 NO
AF-6	6D1	183179	9891376	160 / 24 NO
AF-6	6D2	183179	9891376	180 / 25 NO
AF-6	6D3	183179	9891376	195 / 35 NO
AF-8	8D1	184308	9889833	35 / 15 S
AF-8	8D2	184308	9889833	105 / 5 S
AF-8	8D3	184308	9889833	220 / 10 S
AF-8	8D4	184308	9889833	185 / 5 S
AF-8	8D5	184308	9889833	145 / 15 S
AF-8	8D6	184308	9889833	167 / 2 S
AF-9	9D1	182975	9890397	70 / 13 N
AF-9	9D2	183036	9890343	75 / 16 N
AF-9	9D3	183049	9890330	102 / 9 S
AF-9	9D4	183150	9890297	326 / 23 O
AF-10	10D5	183493	9890225	358 / 13 N
AF-10	10D6	183579	9890301	63 / 10 N
AF-16	16D1	190102	9890416	350 / 5 Ne
AF-16	16D2	190102	9890416	285 / 8 NE
AF-16	16D3	190102	9890416	287 / 3 NE
AF-16	16D4	190100	9890400	75 / 10 NE
AF-19	19D1	189867	9891008	245 / 19 NO
AF-20	20D1	187286	9888361	215 / 22 NO
AF-20	20D2	187286	9888361	219 / 45 NO
AF-20	20D3	187286	9888361	230 / 35 NO
AF-28	28D1	187906	9889990	30 / 12 NO
AF-29	29D1	186888	9891534	9 / 7 NO

Realizado por: Abarca Karen, 2022

Las filas resaltadas son los datos estructurales que se usaron para la elaboración del perfil geológico.

DISCUSIÓN

La información geológica detallada obtenida en campo en conjunto con el posicionamiento geográfico y estratigráfico de los diferentes afloramientos estudiados permitieron identificar al menos cinco unidades estratigráficas informales. Las características de estas unidades fueron contrastadas con la información geológica disponible (Bristow *et al.*, 1977; Baldock, 1982; Brito, 1985; INEMIN, 1986; Duque, 2000) lo que permitió correlacionar las unidades informales con unidades formales, validar los límites y contactos formacionales y generar un mapa geológico a escala 1: 5000 del área de estudio. A continuación, se analiza a detalle cada una de las unidades estratigráficas informales y posteriormente se presenta su relación con las unidades formales.

Unidades Estratigráficas Informales

Los resultados de geología de superficie permiten agrupar los afloramientos mediante sus características geológicas, datos estructurales y ubicación geográfica. De esta manera se proponen 5 unidades estratigráficas informales:

- Unidad de mudstone, arcilitas y areniscas

La unidad comprende los afloramientos del grupo 3 previamente descritos en los resultados. Esta unidad se caracteriza litológicamente por mudstone y wackestone grises intercalados con arcilitas limolitas y areniscas de color negro con posible hidrocarburo, además, presenta abundancia de fósiles marinos en los afloramientos. La correlación litológica realizada es coherente con: i) la cercanía geográfica entre los afloramientos ubicados en el cuadrante superior derecho (AF-16, AF-18 y AF-19), ii) la altitud a la que generalmente se presentan los afloramientos con estas características es superior a los 500 m.s.n.m. y iii) la morfología que corresponde a colinas medias con crestas agudas (Brito, 1985).

- Unidad de areniscas y arcilitas rojas

Esta unidad comprende los afloramientos del grupo 1 previamente descritos en resultados. Los cuales se caracterizan de manera general por una litología que consiste en arcillitas, limolitas y areniscas que son de color rojo y gris, además de algunos

sectores con conglomerados de matriz arenosa. La correlación litológica realizada es coherente con: i) la cercanía geográfica entre los afloramientos ubicados en la parte central del cuadrante superior (AF-1, AF-2, AF-3, AF-4, AF-5 y AF-29), ii) la altitud a la que generalmente se presentan los afloramientos con estas características geológicas, que es entre los 480 y 590 m.s.n.m. iii) la morfología del terreno de estos afloramientos que generalmente son colinas redondeadas y planicies (Brito, 1985).

- Unidad de conglomerados de matriz areno arcillosa

La unidad se caracteriza por conglomerados de cuarzo con matriz areno arcillosa y comprende el afloramiento del grupo 2. El afloramiento AF-7 se localiza en la parte alta del cuadrante inferior izquierdo. La correlación litológica realizada es coherente con la altitud a la que generalmente se presentan los afloramientos con estas características geológicas, que es sobre los 600 m.s.n.m. y la morfología del terreno que son mesetas de relieve ondulado y colinas alargadas (Brito, 1985).

- Unidad de Rocas piroclásticas

Esta unidad se caracteriza por tobas, lapilli y brechas volcánicas. Estos rasgos litológicos son descritos en los dos afloramientos del grupo 4. La correlación litológica realizada es coherente con la cercanía geográfica entre los afloramientos ubicados en inferior del cuadrante inferior izquierdo (AF-21 y AF-22). Por otra parte, no se reportan más afloramientos de este tipo en la zona de estudio.

- Unidad de sedimentos y brechas

Esta unidad comprende los afloramientos del grupo 5. Los afloramientos de este grupo se caracterizan por material variado y brechas. Esta unidad se localiza a lo largo de las riberas del cauce del río Tena y se diferencian dos litologías: brechas con clastos de rocas variadas angulosas y distribuidas de forma caótica y material variado con clastos de subredondeados a angulosos. La correlación litológica realizada es coherente con la altitud a la que generalmente se presentan los afloramientos con estas características geológicas, que es entre los 500 m.s.n.m. y la morfología del terreno de estos afloramientos que generalmente son zonas planas que se hallan junto al cauce del río (Brito, 1985).

Relación De Unidades Estratigráficas Informales Y Unidades Formales

A manera de identificar las unidades sedimentológicas informales con las unidades formales se comparó los datos adquiridos en el presente estudio con aquellos representados en el Mapa Geológico del Ecuador – Tena 1 100 000 (INEMIN, 1986). A continuación, se discute la relación encontrada para cada unidad estratigráfica informal.

I. Unidad mudstone, arcillitas y areniscas

Esta unidad se caracteriza litológicamente por mudstone, wackstone y rudstone de color gris intercalados con arcillitas, limolitas y areniscas de color negro con posible hidrocarburo (Véase Sección II: Grupo 1). La unidad informal aflora en el cuadrante superior e inferior derecho y se delimita en su mayoría por el cauce del río, esta unidad fue identificada en áreas donde el mapa geológico 1: 100.000 (INEMIN, 1986) describe a la Fm. Napo, a nivel regional la caracteriza por la presencia de lutitas negras, cherts, calizas negras, calizas fosilíferas, areniscas bituminosas y areniscas calcáreas ubicadas en su mayoría al este del mapa geológico, a nivel local en el área de estudio se describe la presencia de lutitas negras, calizas negras, calizas fosilíferas y areniscas calcáreas (Bristow *et al.*, 1977; Baldock, 1982; Brito, 1985; INEMIN, 1986).

La unidad informal presenta similitudes con respecto a la descripción litológica del mapa geológico como lo son la presencia de areniscas calcáreas y bituminosas, lutitas y calizas, sin embargo, la descripción de las mismas varía, en el caso de las lutitas estas incluyen un tamaño de grano inferior a 0,063 mm incluyendo arcillas y limos, en el presente trabajo no se utiliza la terminología de lutita y se clasifican en: arcillas y limos, también en el caso de las calizas son clasificadas como calizas negras y fosilíferas. En esta investigación se utiliza la clasificación de (Dunham, 1962) para representar de mejor manera el porcentaje de fósiles presentes, por otra parte, en este estudio no se identificaron cherts y las areniscas no fueron estudiadas para comprobar la presencia de hidrocarburos, sin embargo, estas sí presentan características similares a la del hidrocarburo, de esta manera se observa que la unidad informal corresponde con la Fm. Napo descrita por el mapa geológico a escala 1:100.000 (INEMIN, 1986) para la respectiva área.

La Fm. Napo del cretácico se caracteriza por lutitas y calizas con intercalaciones de areniscas, contiene fósiles: amonites y bivalvos (Watson and Sinclair, 1927) y muchos

componentes bituminosos. En un inicio fue subdividida en tres unidades (Tschopp, 1953; Bristow *et al.*, 1977; Canfield, Bonilla and Robbins, 1982; Rivadeneira, Baby and Christophoul, 1998; Duque, 2000): Napo Inferior, Napo medio y Napo Superior. En estudios posteriores se propone una nueva subdivisión (Jaillard, 1997; Barragán *et al.*, 2004), resultando en 4 unidades: I) Napo basal: lutitas negras, laminadas y ricas en materia orgánica intercaladas con calizas y areniscas II) Napo inferior: calizas masivas fosilíferas wackestone-packstone, lutitas y limolitas negras, y areniscas III) Napo medio: calizas micríticas y areniscas IV) Napo superior: calizas mudstones y packstones intercalados con lutita calcárea y limolitas. (Jaillard, 1997) describe la sección de Ongota como “Las Calizas B” en la parte basal empieza con una secuencia de lutitas y limolitas negras laminadas no calcáreas que termina con areniscas oscuras algo calcáreas, las limolitas presentan nódulos de caliza, continúan con calizas masivas y areniscas, en la parte superior de la caliza masiva se observaron Mudstone y wackestone. El presente trabajo describe la misma sección en Ongota con el afloramiento AF-16 y coincide con la descripción de Jaillard, sin embargo, no se utiliza el término lutita, sino que se maneja la terminología de arcillitas y limolitas, de esta manera se clasifica a este afloramiento como F.m Napo inferior. Con respecto a los límites formacionales se modifican de acuerdo al cauce actual del río.

II. Unidad de areniscas y arcillitas rojas

Esta unidad se caracteriza de manera general por intercalación de arcillitas, limolitas y areniscas que son de color rojo y gris, además de algunos sectores conglomerados de matriz arenosa. Las capas de limolitas en ocasiones presentan laminación paralela. Las areniscas son de tamaño de grano variable de fino a medio, son bien escogidas y redondeadas. La unidad informal aflora en varias partes del área de estudio generalmente a partir de la zona central hacia el cuadrante lateral izquierdo, se encuentra delimitada por el cauce del río Tena en la zona central y por la unidad de conglomerados en la parte norte, centro y sur. Esta unidad fue identificada en áreas donde el mapa geológico 1: 100.000 (INEMIN, 1986) describe a la F.m. Tena. Según el mapa geológico la F.m. Tena a nivel regional se caracteriza por areniscas calcáreas conglomeráticas de color gris verdoso con estratificación cruzada en capas en posición horizontal y subhorizontal en la base y areniscas de grano medio a fino en capas, intercaladas con limolitas y arcillolitas rojas en posición subhorizontal ubicadas en su mayoría al sur de en el cuadrante central inferior. A nivel local en el área de estudio

describe la presencia de arcillolitas rojas, limolitas y areniscas (Baldock, 1982; Brito, 1985; INEMIN, 1986).

La unidad informal presenta similitudes con respecto a la descripción litológica del mapa geológico (INEMIN, 1986), como lo son la presencia de intercalaciones de arcillitas, limolitas y areniscas que son de color rojo y gris, también en la presencia de areniscas de tamaño de grano fino a medio, sin embargo, no se identificaron areniscas calcáreas con estratificación cruzada, en contraste se identificaron capas de conglomerados de matriz areno arcillosa con clastos de rocas ígneas y sedimentarias altamente meteorizadas. Por otra parte, la posición de las capas en el presente estudio varía $160^{\circ} - 195^{\circ} / 24^{\circ} - 35^{\circ}$ NO de rumbo y buzamiento respectivamente (AF-8) y en el mapa lo presentan como capas en posición subhorizontal, de esta manera se observa que la unidad informal corresponde con la F.m. Tena descrita por el mapa geológico a escala 1:100.000 (INEMIN, 1986) para la respectiva área.

La Formación Tena del paleoceno consiste en limolitas rojas y areniscas finas verdes, a menudo calcáreas, con estratificaciones oblicuas en la base y estratificaciones lenticulares más arriba (Jaillard, 1997; Duque, 2000; Gramal-Aguilar *et al.*, 2021). Jaillard, (1997) describe a la F.m. Tena en la sección del río Paute cerca del cantón Méndez, y la divide en dos secciones: la parte inferior incluye las areniscas basal Tena y hacia la parte superior la transición hacia sedimentos rojos continentales. La arenisca basal Tena descrita en el río Aguarico y corroborada en el río Apayacu, se trata de una arenisca cuarzosa de grano fino a medio, café-grisácea a café amarillenta (Rivadeneira, Baby and Christophoul, 1998). Brito, (1985) describe a la F.m. Tena en un afloramiento de 3km al sur de Puerto Napo en la vía Tena - Puyo y la caracteriza por areniscas calcáreas conglomeráticas de tamaño de grano grueso de color gris verdoso en la base, en la parte media arcillas abirragadas de color pardo rojizo, purpura y verde, el color rojo predomina en la superficie y verde a profundidad. En la parte superior predominan facies arenosas y algunos conglomerados. La descripción de color concuerda con Duque, (2000) que menciona que según observaciones la coloración roja se acentúa en la superficie, y a mayor profundidad prevalecen matices grises y verdosos. Esta descripción coincide con las características de la F.m. Tena con arcillitas, limolitas y areniscas que son de color rojo y gris, y en algunos sectores conglomerados de matriz arenosa (Figura 3, Figura 4). Además, las particularidades de color siendo las partes más expuestas a superficie con colores rojos a morados y a mayor profundidad

prevalecen los colores grisáceos verdosos. Los datos estructurales reflejan esta característica (véase Figura 7) donde el afloramiento AF-6 está estratigráficamente sobre los afloramientos AF-8 y AF-10.

En el mapa del Ecuador de Baldock, (1982) en el río Tena se muestran únicamente depósitos aluviales, cuando en realidad durante el recorrido, se pudo observar abundantes afloramientos de la F.m. Tena en sus orillas (AF-9, AF-10, AF-11 y AF-12), sin embargo, debido a las dimensiones inferiores a 500 m no se grafican en el mapa, pero se reportan de manera escrita. Con respecto a los límites formacionales en el caso de los afloramientos AF-23 y AF-24 ubicados en el cuadrante inferior izquierdo, se utilizan para redefinir el límite de la F.m. Tena con respecto al río.

III. Unidad de conglomerados de matriz areno arcillosa

La unidad se caracteriza por conglomerados de matriz areno arcillosa y limolitas. Las capas generalmente presentan gradación normal, los clastos son cuarzos redondeados a angulares, moderadamente clasificados y suelen estar imbricados. Esta unidad informal aflora en el cuadrante izquierdo en 3 zonas; superior, central e inferior. Esta unidad fue identificada en áreas donde el mapa geológico 1: 100.000 (INEMIN, 1986) describe a la F.m. Tiyuyacu. Según el mapa geológico la F.m. Tiyuyacu a nivel regional está conformada por conglomerados con clastos de diámetro de hasta de 0,1 m de cuarzo y chert, redondeados y subangulares, de bien a mal clasificados. En una matriz areno limosa, de colores pardo rojizo y café amarillento, la granulometría disminuye hacia la parte superior intercaladas entre sí en posición subhorizontal, ubicadas al sur de la hoja geológica. A nivel local en el área de estudio describen a la F.m. por limolitas, arenisca, areniscas conglomerados y conglomerados (Baldock, 1982; Brito, 1985; INEMIN, 1986).

La unidad informal tiene características en común con la descripción del mapa geológico 1:100.000 (INEMIN, 1986), como lo es estar compuesta de conglomerados con matriz variada entre limo y arcilla, y que los clastos son en su mayoría de cuarzo de bien a mal clasificados y con gradación normal, además la posición de las capas coincide siendo capas subhorizontales, como lo indica el perfil geológico (Figura 7). Sin embargo, en el presente estudio no se identificaron cherts. De esta manera se observa que la unidad informal corresponde con la F.m. Tiyuyacu descrita por el mapa geológico a escala 1:100.000 (INEMIN, 1986) para la respectiva área.

La Formación Tiyuyacu de edad eocena se caracteriza por conglomerados, areniscas conglomeráticas, areniscas, limolitas y arcillolitas. Ha sido dividida en dos miembros (Tschopp, 1953; Baldock, 1982; Brito, 1985; Marocco *et al.*, 1996; Rivadeneira, Baby and Christophoul, 1998; Christophoul *et al.*, 2004): Tiyuyacu inferior: está constituido principalmente de conglomerados y en menor proporción de areniscas gruesas y de lutitas. Los conglomerados contienen un 90 % de cherts rojizos y angulosos y 10% de cuarzos lechosos y rocas metamórficas. Tiyuyacu superior: está formado en su mayoría por conglomerados y en menor proporción por areniscas y lutitas. Los clastos son en un 90 % de cuarzo lechoso redondeados. Los colores varían entre amarillo, café amarillento, blanco plomizo y café-amarillento. La matriz varía entre microconglomerática, arenosa y limo-arcillosa (Baby, Christophoul and Valdez, 1998; Rivadeneira, Baby and Christophoul, 1998; Duque, 2000; Christophoul *et al.*, 2004). Estas descripciones coinciden con las características de la F.m. Tiyuyacu reportada en el presente trabajo en el afloramiento AF-7 caracterizada por conglomerados monomícticos de cuarzo con matriz areno arcillosa, los clastos están ligeramente imbricados y con gradación normal, de esta manera se considera al afloramiento como Tiyuyacu superior. (Figura 4, unidad suprayacente).

Con respecto a los límites formacionales se proponen algunas modificaciones basándose en la litología de los afloramientos. En la parte superior del cuadrante izquierdo los afloramientos AF-2, AF-4 y AF-26, y en el cuadrante inferior izquierdo el AF-7 permiten redefinir la extensión de la Fm. Tiyuyacu. En las zonas que no se logró llevar a cabo la evaluación en campo se conservan los límites propuestos por bibliografía.

IV. Unidad de Rocas piroclásticas

Esta unidad se caracteriza por la presencia de tobas, lapilli y brechas volcánicas. Las tobas son de ceniza fina y su mayoría presentan laminación paralela y cruzada. Los lapilli están conformados por clastos de pumita y en algunos sectores restos de carbón. Los clastos de pumita son de tamaño de grano entre 0,02 a 0,05 m. Los lapilli en ocasiones se encuentran intercalados con las tobas. Las brechas volcánicas están conformadas por clastos de pumita y matriz de ceniza fina. Los clastos son de tamaño de grano promedio de 0,08 m. Esta unidad informal aflora al sur del área de estudio en el cuadrante inferior central y está limitada por la F.m. Tena. Esta unidad fue identificada

en áreas donde el mapa geológico 1:100.000 (INEMIN, 1986) describe a la F.m. Tena, sin embargo, las características litológicas de esta formación arcilitas, limolitas y areniscas intercaladas de color rojo no coincide con las características identificadas en el área ya que estas son rocas ígneas específicamente rocas piroclásticas y la descripción de F.m. Tena son rocas sedimentarias. Por lo que se propone una nueva unidad estratigráfica de rocas piroclásticas en el área comprendida por los afloramientos AF-21 y AF-22.

Depósitos de tobas han sido identificadas a lo largo de la cuenca oriente, una datación radiométrica de un nivel de toba ubicado en Campo Bermejo, al norte del levantamiento del Napo dio una edad de 46 +/- 0,4 Ma, que corresponde al Eoceno medio (Christophoul *et al.*, 2004; Gradstein and Ogg, 2004), esta muestra fue tomada cerca de la base del Miembro Tiyuyacu superior. En el área de estudio no se cuenta con datos cronológicos, pero de acuerdo a su posición estratigráfica se ubica entre la Fm. Tena y Tiyuyacu, esto es concordante con la datación previamente citada debido a que la base del miembro superior es una superficie de erosión a tal punto que en ciertos lugares de la cuenca el miembro inferior está completamente erosionado, por lo que el Miembro Tiyuyacu superior sobreyace directamente a la Fm. Tena (Baby *et al.*, 1999; Christophoul *et al.*, 2004).

V. Unidad de sedimentos fluviales y brechas

La unidad se caracteriza por dos litologías: brechas y sedimentos fluviales. Las brechas están constituidas por una matriz arenosa con clastos angulosos, sin orientación que se encuentran distribuidos en la matriz de manera caótica. Los sedimentos fluviales poligenéticos consisten en litología variada con clastos que están imbricados, sin embargo, como se menciona en la sección 2, en algunos afloramientos los clastos están mal clasificados, ni presentan imbricación (Véase Sección II: Grupo 5). Esta unidad informal aflora de manera aleatoria en el cauce y riberas del río. El mapa geológico en el área donde aflora esta unidad informal, lo define como depósitos superficiales. A nivel regional se caracteriza por el conjunto de terrazas, lahares y aluviales, localizados a los márgenes de los ríos y los lahares distribuidos en el centro sur del mapa de manera irregular (Ver Introducción: descripción general del mapa geológico actual). A nivel local en el área de estudio describe terrazas indiferenciadas y depósitos aluviales, los lahares los identifica distribuidos aleatoriamente en la F.m. Napo (Baldock, 1982; Brito, 1985; INEMIN, 1986).

La unidad informal tiene características en común con la descripción del mapa geológico 1:100.000 (INEMIN, 1986), como lo son las terrazas y depósitos aluviales caracterizados por gravas, arenas, limos y material poligénico mal clasificado. Sin embargo, en el presente estudio no se lleva a cabo una clasificación como tal de terraza, solo se maneja el término sedimentos fluviales, además en el mapa del Ecuador en el río Tena se muestran únicamente depósitos aluviales, cuando en realidad durante el recorrido, se pudo observar abundantes afloramientos de brechas en sus orillas, los cuales al tener una extensión inferior a 200 m no son representados en el mapa, pero quedan documentados de forma escrita. De esta manera se observa que la unidad informal corresponde con los depósitos superficiales descritos por el mapa geológico para la respectiva área y lahares para la descripción de brechas.

En el área de estudio se han llevado a cabo investigaciones que caracterizan los depósitos superficiales o también llamados depósitos cuaternarios (Bés de Berc, 2003; Ortiz, 2021). Ortiz, (2021) describe los depósitos superficiales localizados en la parte alta del río Tena, hacia el oeste de la zona de estudio y los caracteriza en: depósitos fluviales del río Tena constituido por gravas hacia la base seguida de una sucesión de depósitos finos hacia el tope y flujos de masa derivado de deslizamientos locales o asociados a abanicos aluviales que se caracteriza de gravas soportadas por una matriz limosa arcillosa, con clastos angulosos de tamaño variable dispuestos de manera caótica, con escaso escogimiento y angularidad. Esta descripción corresponde a las características identificadas en la litología de sedimentos fluviales y a partir de las descripciones bibliográficas se identifican los dos tipos de sedimentos por lo cual se le asigna el nombre de sedimentos colo-aluviales (previamente manejado el término sedimentos variados).

Brito, (1985) describe depósitos ubicados en la carretera Puerto Napo - Tena, estos están caracterizados por masas caóticas de bloques de rocas volcánicas en su mayor parte metamórficas e intrusivas y sedimentarias en menor cantidad, el diámetro de los bloques es de hasta 2,5 m y son angulares a subangulares, englobados en una matriz de ceniza y arena volcánica de color gris, mientras que Bés de Berc, (2003) describe los lahares del valle Upano como brechas volcánicas caracterizadas por una alta concentración (60-80%) de clastos andesíticos angulares, heterogéneos en tamaño y una matriz volcánica compuesta principalmente de ceniza fina a gruesa, dando la matriz

una apariencia terrosa. De esta manera se considera que las brechas identificadas a lo largo del río Tena, son lahares.

Con respecto a los límites formacionales se proponen cambios en 2 zonas, basándose en la litología de los afloramientos: En el cuadrante superior derecho los afloramientos AF-19 y AF-18, y en el cuadrante inferior izquierdo los afloramientos AF-24 y AF-25 permiten redefinir la extensión de los depósitos superficiales (sedimentos coluviales).

Perfil Geológico y Contactos Formacionales

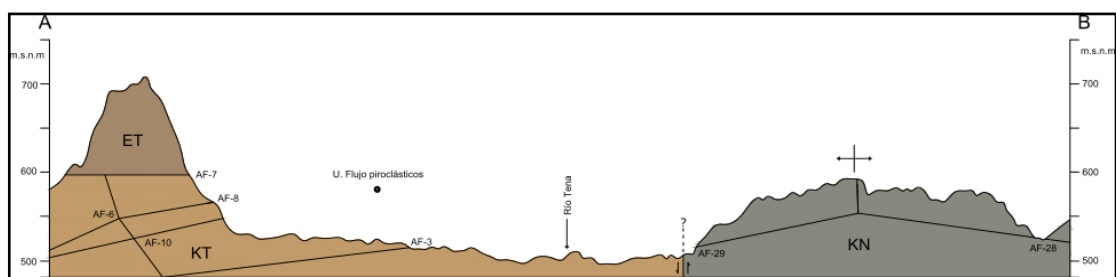


Figura 7: Perfil geológico trazado dirección O – E (véase figura 8)
Realizado por: Abarca Karen, 2022

Se observan los datos estructurales tomados en campo y el espesor de las formaciones. Se identifica la Unidad de flujo piroclásticos a nivel altitudinal con respecto a las demás formaciones. En la Fm. Napó se observa una posible estructura anticlinal.

La traza del perfil se dibujó sobre una base topográfica con dirección O – E, sobre la cual se colocaron los datos rumbo y buzamiento y se identificaron los dominios estructurales. El perfil geológico permite estimar un espesor mínimo de las unidades estratigráficas identificadas en el área de estudio: para la Fm. Tiyuyacu se propone un espesor mínimo de 110 m y en bibliografía se reporta un espesor promedio de 250 m (Bristow *et al.*, 1977; Brito, 1985), para la Fm. Tena se propone un espesor mínimo de 120 m, mientras que Bristow *et al.*, (1977) reporta un espesor entre 500 a 1000 m y, para la Fm. Napó se propone un espesor de 120 m y según bibliografía se reportan 500 m (Brito, 1985). De esta manera se observa que los espesores mínimos descritos para el área de estudio se encuentran dentro del rango de espesores reportados por bibliografía.

Con respecto a los contactos entre las formaciones, estas no fueron identificadas en campo, sin embargo, se interpretaron a partir de los datos estructurales (Figura 7). Referente a la Fm. Napo estos datos permiten observar que la formación está en contacto con la Fm. Tena en el cuadrante inferior derecho. En el perfil topográfico se observa que La Fm. Napo está topográfica y estructuralmente sobre la Fm. Tena, además el buzamiento que tienen las capas de Tena no permite que se posicione por encima del espesor de la Fm. Napo y al carecer de la geometría para esto, la única solución posible es que estén en contacto de falla. En la zona de estudio se reporta una falla denominada falla Porotoyacu (Costa *et al.*, 2020) que coincide con la ubicación geográfica del contacto entre la Fm. Napo y Tena, esta falla según el proyecto SARA, es una falla transcurrente inversa, sin embargo, la geometría y cinemática no coincide con los datos observados en campo, por esta razón en el perfil geológico se propone una falla vertical donde existe alta incertidumbre con respecto a su cinemática.

Según Jaillard, (1997) la formación Napo está en contacto con la Fm. Tena con ligera discordancia erosional, mientras que Tschopp, (1953) postula que el contacto formación Napo-Tena es aparentemente concordante. Sin embargo, los resultados obtenidos en campo indican que el contacto entre la Fm Napo y Tena es un contacto de falla. Adicionalmente, la hoja geológica de Puerto Napo reporta un domo anticlinal al sur de Puerto Napo en dirección a la depresión de Pastaza (Brito, 1985), la cual está deformada por fallas inversas de basamento que generan anticlinales de propagación (Bés de Berc *et al.*, 2004). En el área de estudio no se reportan estructuras, sin embargo, en el presente trabajo en la Fm. Napo se identificaron dos dominios estructurales con buzamientos opuestos y en base a esta información se propone la presencia de un eje anticlinal en el cuadrante inferior derecho.

Con respecto al contacto entre las Fm. Tena y Fm. Tiyuyacu (Miembro superior) las capas de Tiyuyacu son subhorizontales y se ubican estratigráficamente sobre la Fm Tena, según Baby *et al.*, (1999) el miembro inferior de la Fm Tiyuyacu descansa en discordancia fuertemente erosiva sobre la formación Tena y la base del Miembro superior también es una superficie de erosión a tal punto que en ciertos lugares de la cuenca el miembro inferior está completamente erosionado, por lo que el Miembro Tiyuyacu superior que sobreyace directamente a la Fm. Tena (Baby *et al.*, 1999; Christophoul *et al.*, 2004). De esta manera se describe un contacto discordante erosivo entre la Fm. Tiyuyacu (Miembro superior) y la Fm. Tena.

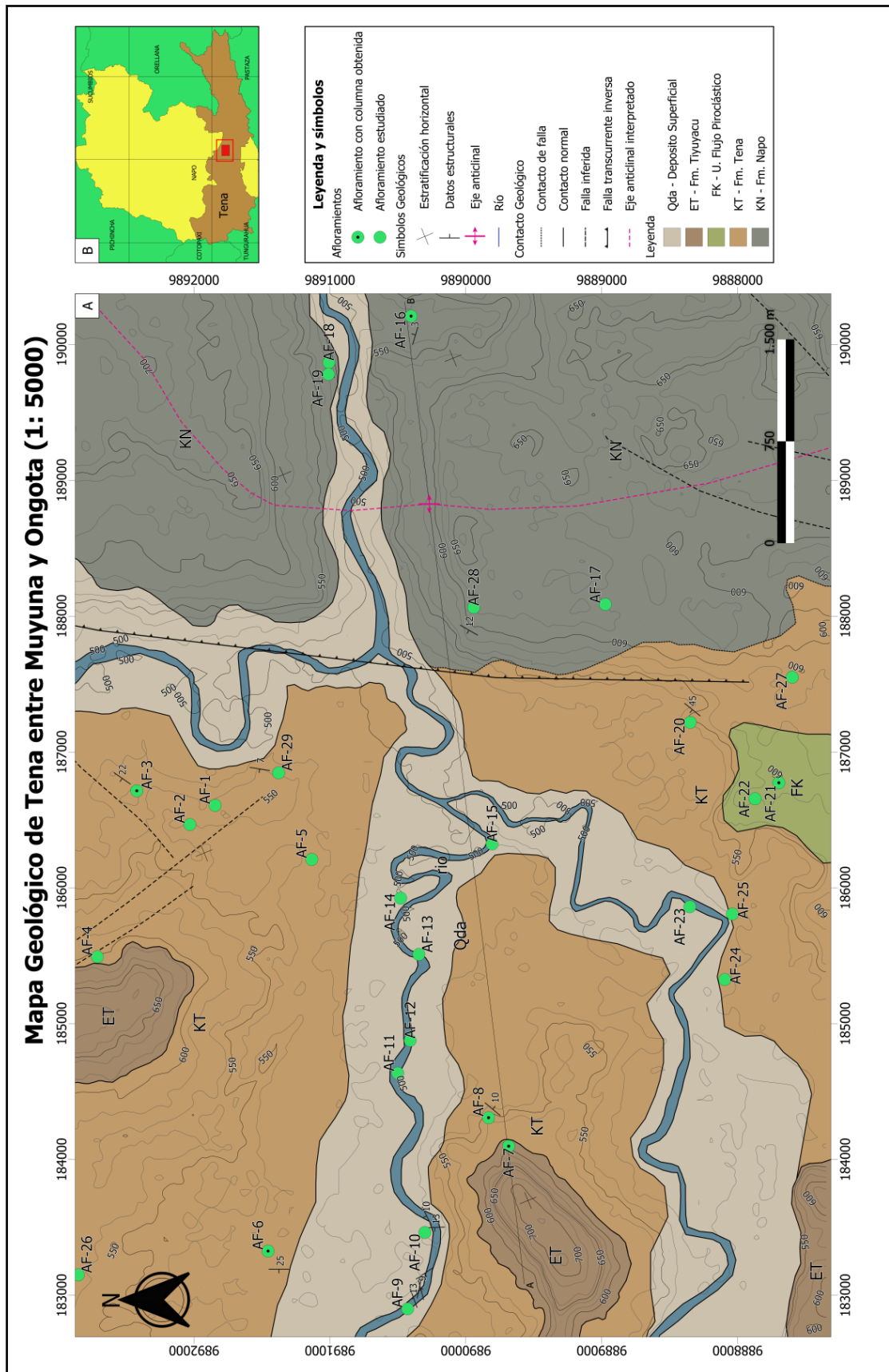


Figura 8: Mapa Geológico.
Realizado por: Abarca Karen, 2022

A: Mapa Geológico de Tena 1: 5000, corte A - B para elaboración de perfil geológico (Véase figura 7). B: Mapa de ubicación provincial. Simbología basada en U.S. Geological Survey, (2009) y Nichols, (2009) para rocas sedimentarias y para rocas ígneas de Castro, (2015). En cuanto a códigos de color RGB se utilizó de USGS website (<https://mrddata.usgs.gov/catalog/lithclass-color.php>) y fallas adaptadas Costa *et al.*, (2020) y Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Tena, (2021).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio de geología de superficie de 29 afloramientos ubicados en el rectángulo definido por las coordenadas U.T.M. zona 18 Sur: (182696, 9892953) y (190457, 9887315), permitió: i) identificar 5 unidades estratigráficas informales ii) aportar con la descripción litológica de una unidad estratigráfica no identificada en bibliografía, unidad de flujo piroclástico caracterizada por la presencia de tobas, lapilli y brechas volcánicas ubicadas topográficamente entre las formaciones Tena y Tiyuyacu iii) proponer una nueva clasificación para la descripción de depósitos superficiales, que consiste en sedimentos colo-aluviales y lahares iv) asociar las unidades informales con bibliografía, identificando las formaciones Napo, Tena, Tiyuyacu y depósitos superficiales, además de redefinir los límites entre la Fm Tena y Tiyuyacu basado en la descripción litológica de afloramientos ubicados en las zonas de posible contacto v) proponer que el contacto entre las formaciones Napo y Tena es un contacto de falla, debido a las características estructurales y topográficas identificadas y vi) identificar en la Fm. Napo una posible estructura de eje anticlinal, basado en los datos estructurales del área. Estos resultados evidencian la importancia de los estudios geológicos de alta resolución en la provincia de Napo, ya que aportan para: exploración y explotación de recursos, planificación territorial, construcción de obras civiles y reconocimiento de peligros geológicos. Se recomienda hacer un análisis de la cinemática de la falla localizada en el contacto entre las formaciones Tena y Napo.

BIBLIOGRAFÍA

ARCERNNR (2020) *Geoportal de Catastro Minero Límites territoriales internos, CONALI 2020*. Available at: <https://gis-sigde.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=8b53f9388c034b5e8e3147f03583d7ec> (Accessed: 9 August 2022).

Baby, P. *et al.* (1999) 'Deformación y ciclos tectono sedimentarios en la Cuenca Oriente, versión 1', *Convenio ORSTOM- Petroproducción*, p. 75.

Baby, P., Christophoul, F. and Valdez, A. (1998) *Modelo estructural y ciclos tectono-sedimentarios de la cuenca Oriente*. Convenio ORSTOM PETROPRODUCCIÓN, Informe no publicado. Available at: <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010015384> (Accessed: 8 November 2022).

Baldock, J.W. (1982) *Geology of Ecuador: Explanatory bulletin of the National Geological Map of the Republic Ecuador 1:1,000,000 scale*. Quito: Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos.

Barragán, R. *et al.* (2004) 'Estratigrafía secuencial del cretácico de la Cuenca Oriente del Ecuador', in P. Baby, M. Rivadeneira, and R. Barragán (eds) *La Cuenca Oriente: Geología y petróleo*. Institut français d'études andines, pp. 45–68. Available at: <https://doi.org/10.4000/books.ifea.2992>.

Basabe, P. *et al.* (1996) 'Avance en la prevención de desastres naturales en la cuenca del río Paute, Ecuador', *Bulletin de l'Institut français d'études Andins*, 25(3), pp. 443–458.

Bés de Berc, S. (2003) *Tectonique de chevauchement, surrection et incision fluviale: exemple de la zone subandine équatorienne, haut bassin amazonien*. Tesis PhD. University of Toulouse.

Bés de Berc, S. *et al.* (2004) 'La superficie mera-upano: marcador geomorfológico de la incisión fluvial y del levantamiento tectónico de la zona subandina ecuatoriana', in P. Baby, M. Rivadeneira, and R. Barragán (eds) *La Cuenca Oriente: Geología y petróleo*. Institut français d'études andines, pp. 153–167. Available at: <https://doi.org/10.4000/books.ifea.3009>.

Bristow, C. *et al.* (1977) 'Léxico Estratigráfico del Ecuador; Centre National de la Recherche Scientifique: Paris. Francia.'

Brito, S. (1985) *Geología del cuadrángulo 77° 45' 78°00' de longitud oeste y 01°10' - 01°10' de latitud sur, escala 1:50.000 (área aproximada: 500 km², localizada en Puerto Napo, provincia de Napo*. Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Available at: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/3442> (Accessed: 8 November 2022).

Canfield, R., Bonilla, G. and Robbins, R. (1982) 'Sacha Oil Field of Ecuadorian | AAPG Bulletin | GeoScienceWorld', 66(8), pp. 1076–1090.

Castro, A. (2015) *Petrografía de Rocas Ígneas y Metamórficas*. Editorial Paraninfo.

Christophoul, F. *et al.* (2004) 'Dinámica de la Cuenca de ante-país Oriente desde el paleógeno', in P. Baby, M. Rivadeneira, and R. Barragán (eds) *La Cuenca Oriente: Geología y petróleo*. Institut français d'études andines, pp. 92–113. Available at: <https://doi.org/10.4000/books.ifea.2997>.

Chunga, K. *et al.* (2013a) 'Estimación de máximos niveles de sismicidad para el Litoral Ecuatoriano a través de la integración de datos geológicos y sismo-tectónicos.', *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 1(2). Available at: <https://doi.org/10.26423/rctu.v1i2.17>.

Chunga, K. (2013b) *Estudio de geología de superficie para el proyecto "Estudios de ingeniería básica y de detalle para el cambio de la tubería del poliducto Esmeraldas – Santo Domingo"*. Available at: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31837.05603>.

Color, M (2020) 'Geological Rock Color Chart. Munsell Color, Grand Rapids, MI.'

Costa, C. *et al.* (2020) 'Hazardous faults of South America; compilation and overview', *Journal of South American Earth Sciences*, 104, p. 102837. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102837>.

Dunham, R. (1962) 'Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture', in *Classification of Carbonate Rocks*. AAPG, pp. 108–121.

Duque, P. (2000) 'Breve Léxico Estratigráfico del Ecuador'. UCP PRODEMINCA.

Echeveste, H. (2017) 'Métodos de mapeo geológico', in *Manual de levantamiento geológico. Una introducción a la geología de campo*. Editorial de la Universidad de la Plata, pp. 165–167.

ESRI World Topo (2022) 'ESRI World Topo [Mapa online]. EPSG:3857 - WGS 84 / Pseudo-Mercator - Proyectado.' Available at: http://services.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Topo_Map/MapServer/tile/{z}/{y}/{x} (Accessed: 7 May 2022).

GAD Municipal de Tena (2014) 'Actualización plan de desarrollo y ordenamiento territorial. Parte 2. 2015. Ordenanza sustitutiva de delimitación de barrios de la ciudad de Tena 020- 2015.'

GAD Parroquial "San Juan de Muyuna" (2015) *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Gad parroquial de Muyuna*. Available at: <https://bit.ly/3v3PHiD> (Accessed: 25 March 2022).

García, Y. and Sánchez, J. (2019) 'Contribuciones geológicas al modelo conceptual geotérmico en la región de los volcanes Chiles - Cerro Negro (Colombia-Ecuador)', *Boletín de Geología*, pp. 151–171.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Tena (2021) *PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL 2021-2033*. Available at: <https://bit.ly/2X2JG9n> (Accessed: 25 March 2022).

Gradstein, F. and Ogg, J. (2004) 'Geologic Time Scale 2004 – why, how, and where next!', *Lethaia*, 37(2), pp. 175–181. Available at: <https://doi.org/10.1080/00241160410006483>.

Gramal-Aguilar, A. *et al.* (2021) 'Evidencias de canibalización de secuencias Cretácicas y Paleógenas de la Cuenca Oriente en la cuña orogénica de los Andes ecuatorianos', *Boletín de Geología*, 43(3), pp. 15–34. Available at: <https://doi.org/10.18273/revbol.v43n3-2021001>.

INEMIN (1986) 'MAPA GEOLÓGICO DEL ECUADOR, escala 1:100.000'. (HOJA 101 CT-OIII-4091).

Jaillard, E. (1997) *Síntesis estratigráfica y sedimentológica del cretáceo y paleógeno de la cuenca oriental del Ecuador*. Informe final del Convenio ORSTOM-PETROPRODUCCION, p. 168.

MAGAP - SIGTIERRAS (2015) 'Mapa Geomorfológico hoja Tena OIII-E3'. (OIII-E3).

Marocco, R. *et al.* (1996) *Informe sobre la salida al campo en la Región de Tena-Puerto Misahuallí, Puerto Napo*. Informe interno de Petroproducción.

Medina, G. (2013) *Análisis de los parámetros que controlan la mineralización del Yacimiento Cuprífero Mirador Norte*. Tesis de Grado. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Nichols, G. (2009) *Sedimentology and stratigraphy*. 2nd ed. Chichester, UK ; Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell.

OpenTopoMap (2022) 'OpenTopoMap [Mapa online]. EPSG:3857 - WGS 84 / Pseudo-Mercator - Proyectado'. Available at: [crs=EPSG:3857&format&type=xyz&url=https://tile.opentopomap.org/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.png&zmax=18&zmin=0](https://tile.opentopomap.org/%7Bz%7D/%7Bx%7D/%7By%7D.png&zmax=18&zmin=0) (Accessed: 7 May 2022).

Ortiz, M. (2021) *Análisis estratigráfico y sedimentológico de los depósitos cuaternarios en la zona media del valle del río Tena*. Tesis de Grado. Universidad Regional Amazónica IKIAM.

Rivadeneira, M. and Baby, P. (2004) 'Características geológicas generales de los principales campos petroleros de petroproducción', in P. Baby, M. Rivadeneira, and R. Barragán (eds) *La Cuenca Oriente: Geología y petróleo*. Institut français d'études andines, pp. 229–295. Available at: <https://doi.org/10.4000/books.ifea.3020>.

Rivadeneira, M., Baby, P. and Christophoul, F. (1998) 'Análisis de algunas formaciones Cretácicas y Terciarias del Subandino Norte y de la Zona de Nuevo Rocafuerte'. PETROPRODUCCION.

Tschopp, H.J. (1953) 'Oil Explorations in the Oriente of Ecuador, 1938–19501', *AAPG Bulletin*, 37(10), pp. 2303–2347. Available at: <https://doi.org/10.1306/5CEADD94-16BB-11D7-8645000102C1865D>.

U.S. Geological Survey (2009) *FGDC Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization, Federal Geographic Data Committee*. Available at: <https://pubs.usgs.gov/tm/2006/11A02/> (Accessed: 9 August 2022).

USGS (-) *Lithclass polygon colors, USGS science for a changing world*. Available at: <https://mrdata.usgs.gov/catalog/lithclass-color.php> (Accessed: 9 August 2022).

Vallejo, C. *et al.* (2002) 'Palynological and sequence stratigraphic analysis of the Napo Group in the Pungarayacu 30 well, Sub-Andean Zone, Ecuador', *Cretaceous Research*, 23(6), pp. 845–859. Available at: <https://doi.org/10.1006/cres.2002.1028>.

Watson, T. and Sinclair, J. (1927) 'Geological explorations east of the Andes in Ecuador', 11(12), pp. 1253–1281.

Yautibug Guagcha, G.W. (2009) *Geología y metalogénia del área minera Sultana, provincia de Zamora Chinchipe-Ecuador*. Tesis de Grado. QUITO/ EPN. Available at: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1138> (Accessed: 8 November 2022).