



UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y AGUA
CARRERA DE GEOCIENCIAS

**QUIMIOESTRATIGRAFÍA DE DEPÓSITOS CUATERNARIOS EN
LA ZONA MEDIA DEL VALLE DEL RÍO TENA, PIEDEMONTE
AMAZÓNICO, ECUADOR**

Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de:
INGENIERA EN GEOCIENCIAS

AUTORA
JOSELYN ESTEFANIA GARCIA OCHOA

Napo - Ecuador
2023



UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y AGUA
CARRERA DE GEOCIENCIAS

**QUIMIOESTRATIGRAFÍA DE DEPÓSITOS CUATERNARIOS EN
LA ZONA MEDIA DEL VALLE DEL RÍO TENA, PIEDEMONTES
AMAZÓNICO, ECUADOR**

Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de:
INGENIERA EN GEOCIENCIAS

AUTORA: JOSELYN ESTEFANIA GARCIA OCHOA
TUTOR: PH.D. OSWALDO JOSÉ GUZMÁN GUTIÉRREZ
COTUTORA: PH.D. CORINA CAMPOS SERRANO

Napo - Ecuador

2023

DECLARACIÓN DE DERECHO DE AUTOR, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, Joselyn Estefania Garcia Ochoa con documento de identidad 1400961585, 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 el presente documento son de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad.

Tena, 29 de septiembre de 2023

Estefania Garcia

Joselyn Estefania Garcia Ochoa

CI: 1400961585

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Joselyn Estefania Garcia Ochoa con documento de identidad 1400961585, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: "Quimioestratigrafía de depósitos cuaternarios en la zona media del valle del río Tena, Piedemonte Amazónico, Ecuador." de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO 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, 29 de septiembre de 2023



Joselyn Estefania Garcia Ochoa

CI: 1400961585

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación: “Quimioestratigrafía de depósitos cuaternarios en la zona media del valle del río Tena, Piedemonte Amazónico, Ecuador.” en la modalidad de: Artículo original en español y de manera optativa en inglés, adaptado a los parámetros y normas de una revista indexada, fue realizado por Joselyn Estefanía García Ochoa, 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, 29 de septiembre de 2023



Tutor: Oswaldo José Guzmán Gutiérrez

C.I: 1759458613



Cotutora: Corina Campos Serrano

C.I: 1759458670

DEDICATORIA

Con alegría y humildad, dedico este logro a todos aquellos que han sido mi inspiración y sostén en el camino hacia mi graduación universitaria. Cada paso que he dado ha sido guiado por su apoyo, aliento y sabiduría compartida.

A mi mami Ruth Ochoa le dedico este logro por ser la fuente de mi inspiración, es un reflejo del amor y los valores que me has transmitido. Porque siempre has creído en mí y no podría haberlo hecho sin tu dedicación y sacrificio. Sabemos que cerca o lejos el amor es igual.

También a mis hermanos Mychell y Jostin, por animarme a perseguir mis metas. Este trabajo simboliza nuestra unión y la fuerza que nos brindamos mutuamente. Juntos, hemos demostrado que no hay límites para lo que podemos lograr.

Con cariño a mi abuela Hilda, por las sonrisas llenas de cariño y los consejos llenos de sabiduría. Tu legado de amor y bondad perdurará por generaciones.

En honor a mamita Elena (bisabuelita) que no está físicamente y su anhelo era presenciar mi graduación.

Al Ing. Bruce Tumbaco por motivarme, juntos hemos superado desafíos y celebrado nuestros logros, creando recuerdos que me llevaré en la mente y el corazón para siempre.

Para mi gorda Frida por el aguante y las malas noches juntas, por alegrarme la vida con sus ronquidos, siempre esperarme en casa y demostrarme que el amor gatuno sana todo.

Dedico este trabajo a los docentes de Ikiam por brindarme todos los conocimientos necesarios, especial al Mgs. José Serrano por ser un gran amigo. Por su enfoque innovador en la enseñanza, ya que ha trascendido las fronteras convencionales. Sin su apoyo, este logro no se habría hecho realidad.

AGRADECIMIENTOS

El camino hacia mi graduación universitaria no lo he recorrido sola, ha sido una experiencia compartida con el apoyo y la colaboración de varias personas. Quiero agradecer a todos aquellos que contribuyeron de alguna manera a mi éxito académico.

A Dios que ha sido y es mi guía constante a lo largo de este viaje, por su amor incondicional, su gracia y su fortaleza, que son los cimientos en los que he edificado mi educación. También por sus bendiciones y ser mi refugio en los momentos difíciles.

A mi tutor el Ph.D. Oswaldo Guzmán por sus consejos, sabiduría y paciencia al momento de enseñarme, así como sus buenas críticas que me ayudaron a seguir, muchas gracias por depositar su confianza en mí. También a mi cotutora la Ph.D. Corina Campos por las valiosas horas invertidas en el laboratorio.

Me gustaría agradecer a todos los docentes a lo largo de mi carrera que me inculcaron dedicación y compromiso con la ciencia. Me llevo los mejores recuerdos de ustedes, por ser amigos y docentes.

También quiero expresar mi gratitud a mis amigas y compañeras Joselyn, Marykarmen, Cielo, Andrea y Slendy, quienes han estado ahí para mí en los momentos de alegría y dificultad. Por haber hecho más llevadera la carga, llenando mi vida de risas y momentos especiales.

Por último, quiero agradecer a la universidad y a todas las personas que trabajan incansablemente en los diferentes departamentos y servicios para hacer posible mi educación. Desde el personal administrativo hasta el de limpieza, cada uno de ustedes ha desempeñado un papel importante en mi camino hacia la graduación.

TABLA DE CONTENIDO

CARÁTULA	
DECLARACIÓN DE DERECHO DE AUTOR, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
TABLA DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. CONTEXTO GEOLÓGICO Y PALEOCLIMÁTICO	4
3. METODOLOGÍA	6
3.1. Extracción del Barreno.....	7
3.2. Análisis Estratigráfico y Sedimentológico.....	7
3.3. Análisis Geoquímico utilizando XRF	7
3.4. Análisis Multivariante	8
4. RESULTADOS	9
4.1. Análisis Geoquímico y Multivariante.....	9
4.2. Análisis de Componentes Principales	13
4.3. Análisis Clúster	14
4.4. Análisis Quimioestratigráfico	16
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	25
5.1. Interpretación Paleoambiental.....	25
5.2. Origen de los Sedimentos.....	25
5.3. Implicaciones Paleoclimáticas	28
6. CONCLUSIONES	31
7. RECOMENDACIONES	32
8. REFERENCIAS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Elementos químicos mayoritarios y minoritarios.....	9
Tabla 2:	Porcentaje de varianza retenida para cada uno de los PC.	13
Tabla 3:	Interpretación de meteorización química basado en la relación Si/Al para cada unidad quimioestratigráfica.	27
Tabla 4:	Interpretación exploratoria del paleoclima para cada unidad quimioestratigráfica.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Mapa de Ubicación. A) Geomorfología del Ecuador. B) Se muestra: URAI (Solórzano, 2021; Ortiz, 2021; Tumbaco, 2022), Muyuna, T2 (Campos et al., 2019), Exc-1, Río Tena y Batolito de Abitagua.....	5
Figura 2:	Esquematación de la metodología. Se presentan los pasos que se desarrollaron para esta investigación y los objetivos asociados.	6
Figura 3:	Señales químicas versus profundidad. Se observan las señales de 12 elementos químicos: Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe y Co. En el eje de las abscisas se tiene ppm de los elementos químicos versus la profundidad.....	10
Figura 3 continuación:	Señales químicas versus profundidad. Se observan las señales de 13 elementos químicos: Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Zr, Cd, Sb, Ba, Hg, Tl y Pb.....	11
Figura 4:	Relaciones Ti/Al y Si/A. Permiten ver la procedencia y meteorización química de los sedimentos respectivamente.....	12
Figura 5:	Gráfica de los coeficientes factoriales de cada elemento químico analizado en los PC.....	14
Figura 6:	Dendograma de correlaciones entre los 25 elementos químicos. Se muestran 4 clústeres basados en la similitud.....	15
Figura 7:	Columna estratigráfica. Se muestran las características de cada unidad, el color y las estructuras del análisis sedimentológico.....	17
Figura 8:	Patrones geoquímicos. Se muestran 3 componentes principales que se utilizaran como patrones geoquímicos que tienen mayor significancia.....	18
Figura 9:	PC1 versus PC2. En esta grafica se observa la similaridad de las unidades quimioestratigráfica.....	28

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es realizar la interpretación quimioestratigráfica de un barreno sedimentario extraído de la Exc-1, ubicado aproximadamente a 3.5 Km de la ciudad de Tena a 530 m s.n.m (0°58'47.6"S 77°51'01.9"W). El barreno tiene las siguientes dimensiones 105.5 cm de largo y 11 cm de diámetro. Se realizó un análisis estratigráfico y sedimentológico, posterior los sedimentos fueron analizados cada 0.94 cm con tres repeticiones por el espectrómetro portátil de fluorescencia de rayos X (XRF) Bruker, modelo Titan S1, en donde se detectaron 25 elementos geoquímicos. Una vez conocidas las concentraciones de los elementos se realizó un análisis multivariante, se obtuvieron tres componentes principales: PC1 el 78.8 %, el PC2 10.7% y PC3 9.4%, en total representan el 98.9 % de los elementos químicos. Se muestran 12 unidades caracterizadas quimioestratigráficamente que es el resultado del análisis sedimentológico más la huella geoquímica. Basado en relaciones como: Ti/Al se interpretó el origen de los sedimentos y Si/Al el grado de meteorización de los mismos. Los sedimentos de la Exc-1 son característicos de un depósito aluvial y son típicos de llanuras de inundación. El origen de estos sedimentos proviene del Batolito de Abitagua y tienen alta meteorización química. En la interpretación paleoclimática se tiene 5 fases húmedas, 3 fases secas y 4 fases húmedas y luego fases secas o viceversa.

Palabras claves: Quimioestratigrafía, paleoambiente, origen de los sedimentos, paleoclima, Amazonia.

ABSTRACT

The objective of this research is to perform the chemostratigraphic interpretation of a sedimentary core extracted from Exc-1, located approximately 3.5 km from the city of Tena at 530 m a.s.l. (0°58'47.6"S 77°51'01.9"W). The core has the following dimensions: 105.5 cm in length and 11 cm in diameter. A stratigraphic and sedimentological analysis was performed, then the sediments were analyzed every 0.94 cm with three repetitions using the portable X-ray fluorescence spectrometer (XRF) Bruker, model Titan S1, which detected 25 geochemical elements. Once the concentrations of the chemical elements were known, a multivariate analysis was performed, resulting in three principal components: PC1 with 78.8%, PC2 with 10.7%, and PC3 with 9.4%, totaling 98.9% of the chemical elements. Twelve chemostratigraphically characterized units are shown, which resulted from the sedimentological analysis combined with the geochemical fingerprint. Based on ratios such as Ti/Al, the origin of the sediments was interpreted, and Si/Al was used to assess their degree of weathering. The sediments from Exc-1 are characteristic of an alluvial deposit and are typical of floodplains. These sediments originate from the Abitagua Batholith and exhibit high chemical weathering. The paleoclimatic interpretation reveals 5 wet phases, 3 dry phases, and 4 wet phases followed by dry phases or vice versa.

Keywords: Chemostratigraphy, paleoenvironment, sediment origin, paleoclimate, Amazonia.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el siglo XVIII la geoquímica se encarga de comprender los sistemas geológicos (pasados y presentes) aplicando principios de la química. Maxime Ivanovitch Vernadsky desarrolló esta ciencia en "*La Géochimie*" publicado en 1924 que estudia los ciclos geoquímicos, así como los elementos radiactivos y su efecto sobre el balance térmico de la tierra. En la actualidad se utilizan herramientas que contribuyen a entender procesos terrestres y planetarios como; la convección del manto, formación de planetas, origen de las rocas y depósito minerales, también la sedimentación, cambio en el clima y océano de la tierra (Albarède, 2009).

En investigaciones geoquímicas, una herramienta que se utiliza para realizar caracterizaciones de rocas sedimentarias y sedimentos en términos de cambios composicionales químicos a través del tiempo es la quimioestratigrafía (Duarte, 2017). Mediante composiciones químicas similares se pueden establecer paquetes quimioestratigráficos, estos se pueden identificar en áreas geográficamente amplias que permiten una correlación precisa entre columnas estratigráficas distantes. Las variaciones que se producen entre los paquetes quimioestratigráficos se generan por cambios en la condición del clima, ambiente depositacional, cambio en el origen del sedimento y facies (Esteves et al., 2007; Wrigth, 2010).

Los datos geoquímicos para realizar la quimioestratigrafía se obtienen mediante la técnica analítica fluorescencia de rayos X (XRF), la cual se basa en la interacción entre la radiación de alta energía (rayos X), y la materia. Cuando un material es irradiado con esta radiación, los átomos presentes en la muestra son excitados, es decir, los electrones internos son expulsados de sus niveles de energía bajos a niveles de mayor energía. Al regresar a sus estados fundamentales, estos electrones emiten radiación de rayos X característica y única para cada elemento, lo que permite identificar su presencia en la muestra. La intensidad de la fluorescencia es proporcional a la concentración del elemento (Rothwell & Croudace, 2015).

Pearce & Jarvis (1995) describen la quimioestratigrafía como una herramienta en estudios de procedencia y correlación de sedimentos. Investigaciones de quimioestratigrafía, en llanuras aluviales permiten determinar las tasas/cronologías de sedimentación (Turner et al., 2008), investigar el sistema fluvial al cambio ambiental

(Macklin, 1996), reconstrucciones históricas de inundaciones y procedencia de sedimentos (Bird et al., 2010).

Las secuencias cuaternarias han sido estudiadas con enfoques: paleoclimáticos (Baddouh, 2016; Hagen, 2021; Spagnolo et al., 2022), tectónicos (Manor et al., 2022; McKirdy et al., 2001; Shu et al., 2020) y arqueológicos (Iriarte et al., 2013; Jordá et al., 2003; Ward et al., 2016). Estas secuencias pueden ser estudiadas con la quimioestratigrafía.

Existen estudios sobre quimioestratigrafía en América del sur como (Bedoya & Nomesqui, 2013; Le Pennec et al., 2008; Romero, 2007; Schiano et al., 2010; Ugalde, 2019), entre otros, mientras que en la Alta Amazonía ecuatoriana no se ha aplicado esta herramienta en el Cuaternario hasta lo publicado.

Parte de las secuencias cuaternarias del Ecuador han sido estudiadas para conocer la geomorfología (Bès de Berc et al., 2005; Roddaz et al., 2012); así como el paleoclima en los últimos 0 - 15000 BP (Moy et al., 2002; Nascimento et al., 2020; Rodbell et al., 1999), o hace aproximadamente 6000 hasta 94000 años BP (Mosblech et al., 2012).

En la zona media del valle del río Tena (Figura 1), algunas de las secuencias cuaternarias se han investigado con un enfoque geomorfológico y sedimentológico (Campos et al., 2019; Ortiz, 2021), también por su importancia arqueológica (Solórzano, 2021; Solórzano et al., 2023). Tumbaco (2022) establece que existió un clima inestable que condicionó los asentamientos humanos basados en la cronología descrita por Solórzano (2021). Esta conclusión se basa en datos paleoclimáticos obtenidos a partir de la geoquímica de sedimentos extraídos de una laguna Llaviucu de los Andes ecuatorianos (Nascimento et al., 2020), y no de datos *in situ*. En estas investigaciones previas no se ha considerado la quimioestratigrafía para realizar interpretaciones más precisas. Sin embargo, existe la necesidad de generar datos geoquímicos confiables para comprender los paleoambientes, génesis de los sedimentos y explorar si estos sedimentos tienen alguna señal climática detectable a través de las composiciones químicas.

El objetivo de este trabajo es realizar la interpretación quimioestratigráfica de un barreno extraído de la terraza T2 perteneciente al cuaternario ubicado en la zona media del valle del río Tena, a través de espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF). Para ello,

se llevará a cabo un análisis estratigráfico, sedimentológico, geoquímico y multivariante, lo que permitirá determinar el origen de los sedimentos, paleoambientes y un análisis exploratorio del paleoclima, con incertidumbre por la falta de edades de control de estas secuencias cuaternarias.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO Y PALEOCLIMÁTICO

La zona de estudio se encuentra en el área de influencia del Colónso Chalupas, en el flanco este de los Andes en el piedemonte amazónico. Esta área comprende tres zonas geomorfológicas: la vertiente de la cordillera, la región subandina y planicie Amazónica (Aspden & Litherland, 1992; Coltorti & Ollier, 2000) (Figura 1 A). Sus principales características geológicas incluyen rocas sedimentarias que datan del Jurásico al Cretácico, así como rocas volcánicas del Terciario-Cuaternario, llanuras de inundación del Cuaternario y rocas intrusivas como el Batolito de Abitagua que datan del Jurásico Temprano (Vallejo et al., 2017). Este batolito calco-alcalino (Aspden & Litherland, 1992) corresponde a un plutón formado por granito y granodiorita, donde resalta el color rosa debido a la presencia de feldespatos. Se encuentra en el centro de Ecuador, cubriendo un área aproximada de 1200 km² (Hall & Calle, 1982), y tiene una edad de 162 Ma (Drobe et al., 2013; Vera et al., 2023).

Para esta investigación se ha realizado una excavación definida como Exc-1 (Figura 1 B), situada en la región subandina del piedemonte amazónico en la parroquia Muyuna, aproximadamente a 3.5 Km de la ciudad de Tena, Napo, Ecuador, a una altitud de 530 m s.n.m (0°58'47.6"S 77°51'01.9"W). Según Campos et al. (2019), la geología de la zona corresponde a la terraza T2, la cual se extiende desde la Universidad Regional Amazónica Ikiam (URAI) hasta Muyuna y ha sido identificada como una terraza continua debido a sus rasgos morfológicos de superficie plana (Figura 1 B). Aunque ha sido erosionada por el río actual, Campos et al. (2019) establece que la T2 se encuentra por encima del nivel del lecho del río Tena, con una altura aproximada de 7 ± 2 m y una pendiente media de 1.5°. Según Ortiz (2021), las fases presentes en la T2 consisten en depósitos de grano grueso en la base, seguido de una sucesión de depósitos finos en la parte superior. De acuerdo con Dominguez (2016) en la terraza T2 se tienen las siguientes edades geológicas 1458 BP, 1472 BP y 2618 BP.

Basados en las edades geológicas establecidas por Dominguez (2016) para esta terraza T2 es conveniente citar a Nascimento et al. (2020) quien en su estudio presenta datos paleoclimáticos reconstruidos a partir de sedimento de la laguna Llaviucu con una resolución temporal desde 12000 BP hasta el presente (1950). Nascimento et al. (2020) interpreta periodos de precipitación y sequías a partir del Ti, considerado un proxy climático del cambio en la erosión terrígena y basados en las gráficas del estudio se

determina que aproximadamente a los 1300 BP hubo un periodo lluvioso porque la concentración de Ti aumenta, mientras que para los 1400 BP aproximadamente se tiene concentraciones bajas de este elemento característico de un periodo seco.

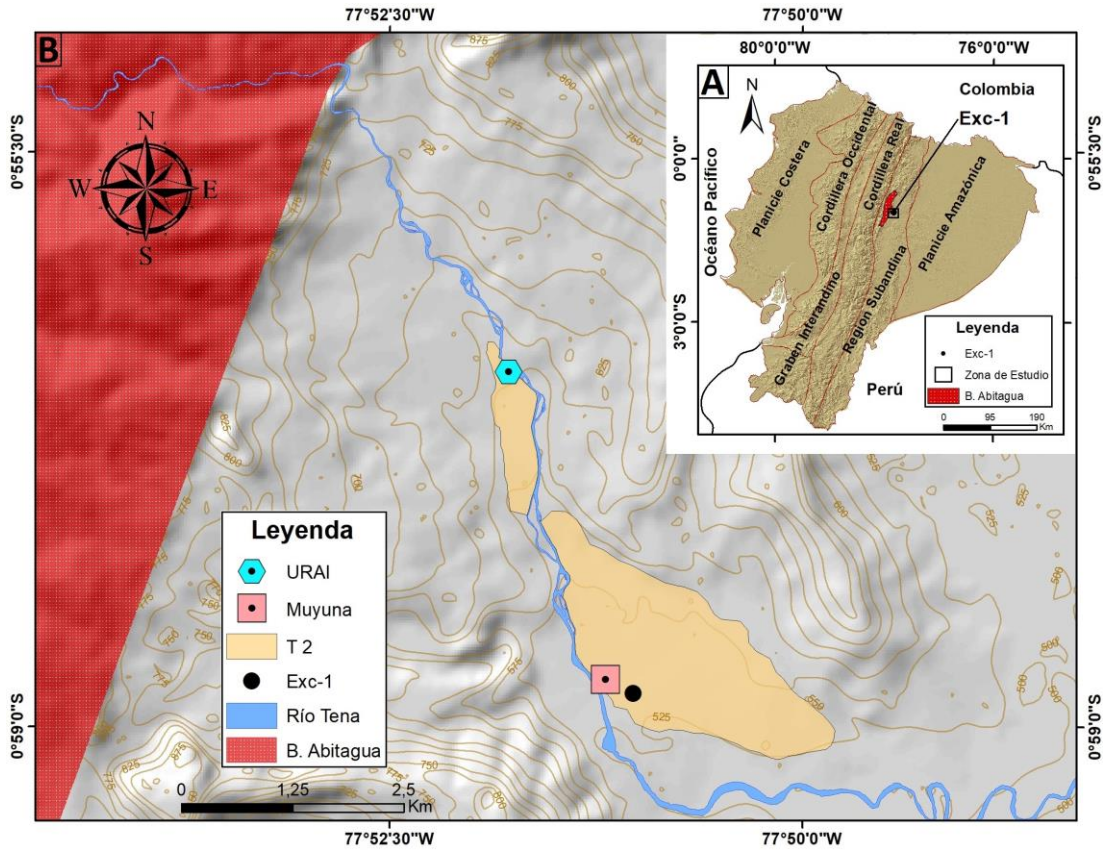


Figura 1: Mapa de Ubicación. A) Geomorfología del Ecuador. B) Se muestra: URAI (Solórzano, 2021; Ortiz, 2021; Tumbaco, 2022), Muyuna, T2 (Campos et al., 2019), Exc-1, Río Tena y Batolito de Abitagua.

Realizado por: Garcia, 2023.

3. METODOLOGÍA

En esta sección se describen los pasos metodológicos, donde se menciona: 1) la extracción del barreno sedimentario, 2) el análisis estratigráfico y sedimentológico, 3) análisis geoquímico utilizando fluorescencia de rayos X (XRF) y 4) análisis multivariante de los datos geoquímicos (Figura 2).

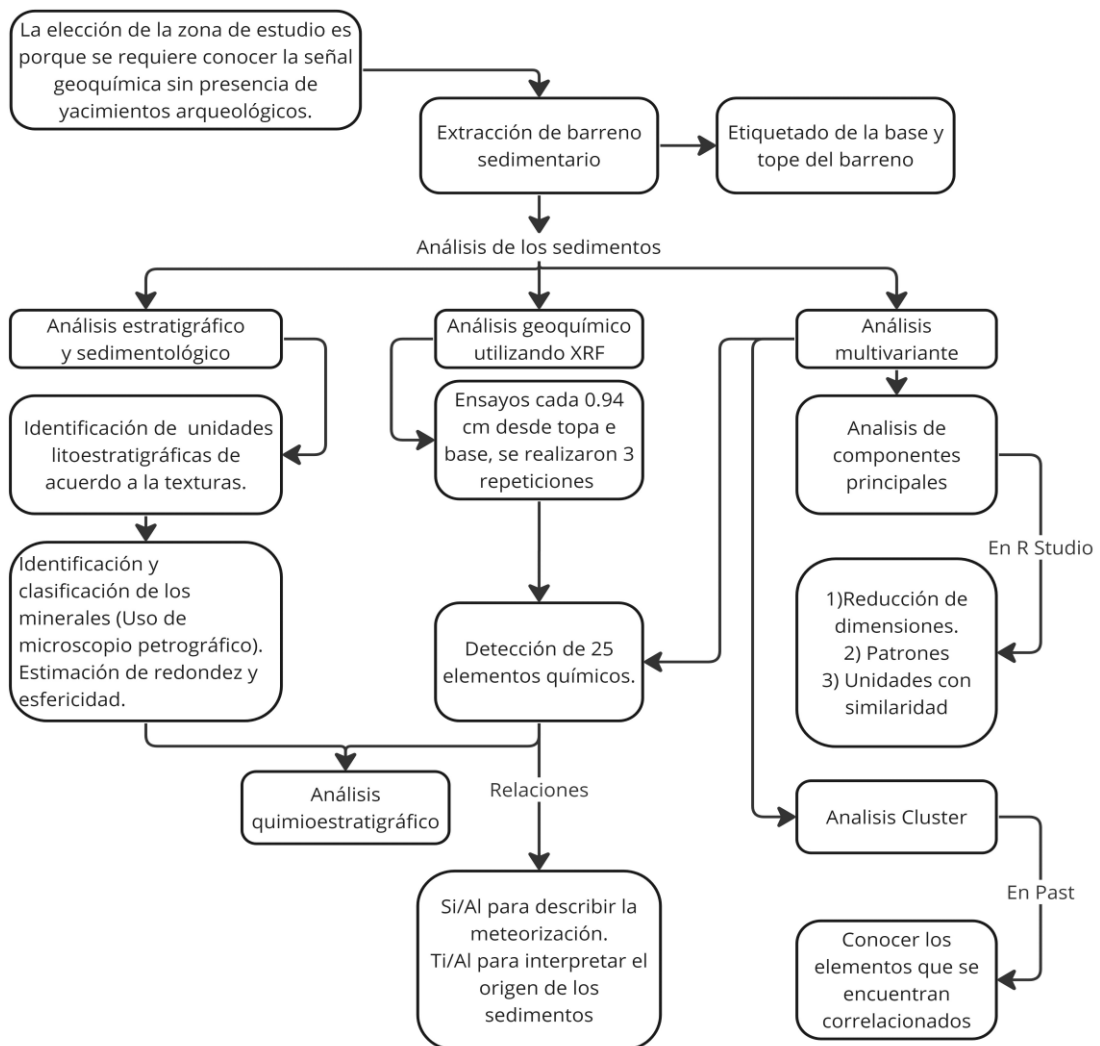


Figura 2: Esquematización de la metodología. Se presentan los pasos que se desarrollaron para esta investigación y los objetivos asociados.
Realizado por: Garcia, 2023.

3.1. Extracción del Barreno

Se extrajo un barreno sedimentario en la zona de Exc-1 (Figura 1) con dimensiones de 105.5 cm de largo y 11 cm de diámetro. La sección superficial del barreno se etiquetó como tope, mientras que la parte inferior se etiquetó como base. La elección de esta zona de estudio se basó en obtener una señal química original de los sedimentos en ausencia de yacimientos arqueológicos, para evitar la perturbación antrópica y la presencia de una gran cantidad de fragmentos de carbón en el registro sedimentario como Solórzano (2021) los encuentra en la URAI.

3.2. Análisis Estratigráfico y Sedimentológico

Se realizó el análisis sedimentológico en el laboratorio de Geociencias donde se identificó unidades litoestratigráficas de acuerdo a la textura. Las muestras sedimentológicas de cada unidad se pesaron, luego se realizó un tamizado húmedo en el tamiz más fino (0.063 mm) para conocer el peso del lodo. Se secó la muestra en la estufa, se hizo un tamizado seco con el juegos de tamices (2 mm, 1 mm, 0.5 mm, 0.25 mm, 0.125 mm, 0.063 mm) (UDDEN, 1914; Wentworth, 1922) para clasificar el sedimento de acuerdo al tamaño de grano. Posterior al tamizado en seco se obtuvo el peso de arenas y gravas. Una vez conocido los pesos se estableció la nomenclatura de los sedimentos compuestos por lodos, arenas y gravas basados en la clasificación textural (Nichols, 2009). Posteriormente se identificó y clasificó mediante el uso del microscopio petrográfico los minerales presentes en los sedimentos (Pellant, 1992) y se utilizó la tabla comparativa de estimación de redondez y esfericidad (Nichols, 2009).

3.3. Análisis Geoquímico utilizando XRF

Con la finalidad de caracterizar químicamente el barreno se realizó un análisis con espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF) utilizando el espectrómetro portátil XRF Bruker, modelo Titan S1. Se calibró el espectrómetro con el disco de calibración en método aleaciones (Certificate of calibration, 2019) el cual se mide por defecto en fases de 30 s y 5 s. Se configuró el espectrómetro para realizar análisis en método suelo, en 2 fases de 30 s y 30 s (Cuven et al., 2010; Ravansari et al., 2020). Se realizó el ensayo cada 0.94 cm desde el tope hasta la base del barreno basados en el ancho del lente del espectrómetro. Se ejecutaron tres mediciones a manera de garantizar la

representatividad (Cuven et al., 2010; Ravansari et al., 2020; Rouillon, 2021) y se realizó un promedio de estos 3 datos.

A los elementos que presentan menos del 15% de ceros de los datos totales, se rellenó aplicando regresión lineal simple basados en el coeficiente de determinación (R²) que varía entre 0 a 1, donde 0 indica que el modelo de predicción no explica la variabilidad y 1 indica que el modelo explica toda la variabilidad de los datos (Guerriero, 2021).

3.4. Análisis Multivariante

Se aplicó análisis de componentes principales (PCA) a las matrices de elementos químicos porque servirá como reductor de dimensiones ya que es complejo trabajar con 25 señales de elementos químicos, además permite identificar patrones para describir la huella geoquímica, esto se ejecutó en el programa (R Core Team, 2023) por ser un software libre y tener una gama de paquetes que hacen posible estos análisis, se prefiere un análisis de componentes principales porque se ajusta mejor a datos numéricos, mientras que un análisis factorial es más adecuado para variables categóricas (Gil Martínez, 2018; Rodríguez et al., 2018) con la finalidad de conocer los patrones para describir la huella geoquímica. También se aplicó un análisis multivariado de agrupaciones entre elementos donde se obtuvo un dendrograma en el programa Past (Hammer et al., 2011) para conocer los elementos que se encuentran correlacionados.

Finalmente, todos los resultados generados de los análisis estratigráfico, sedimentológico, geoquímico, multivariante permiten definir las unidades quimioestratigráficas que servirán para discutir el origen de los sedimentos, caracterizar el paleoambiente en la que se depositaron los sedimentos y establecer una reconstrucción preliminar del paleoclima.

4. RESULTADOS

Se logró una caracterización geoquímica de 103.4 cm del total del barreno (105.5 cm). Los últimos 2.1 cm no se pudieron caracterizar con el espectrómetro portátil XRF por la falta de estabilidad en la matriz del sedimento. En total se realizaron 330 mediciones permitiendo conocer 25 elementos químicos (Tabla 1).

Tabla 1: Elementos químicos mayoritarios y minoritarios.

Mayoritarios (%)	Minoritarios (ppm)
Si (64), Al (22.5), K (0.9), Ti (0.6), Ba (0.1), Mn (0.09), Fe (6.8), Ca (2.7), P (0.06), V (0.02), Sr (0.02), Zr (0.02), Zn (0.01), Cr (0.01), Rb (0.009), Cu (0.008), Sb (0.004), Co (0.002), Pb (0.001), As (0.001), Cd (0.0007), Hg (0.0004), Tl (0.0004) y Se (0.0002).	

Realizado por: Garcia, 2023.

Con los datos geoquímicos se realizó un análisis de componentes principales dando como resultado un 98.9 % de varianza retenida. Se tiene un análisis cluster de los elementos. A continuación, se muestran las gráficas de los 25 elementos químicos versus los 103.4 cm, gráficas de las relaciones Ti/Al y Si/Al. También se muestran: el porcentaje de varianza retenida de los componentes principales (PC) (Tabla 2) y dendrograma.

4.1. Análisis Geoquímico y Multivariante

Se observan las señales geoquímicas de los 25 elementos químicos (Figura 3): Mg, Al, Si, P, K, Ca, V, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Zr, Cd, Sb, Ba, Hg, Tl y Pb, detectados por el espectrómetro portátil de fluorescencia de rayos X, las medidas están registradas cada 0.94 cm a lo largo del barreno extraído de la Exc-1 permitiendo establecer variabilidades de concentraciones en partes por millón de cada elemento.

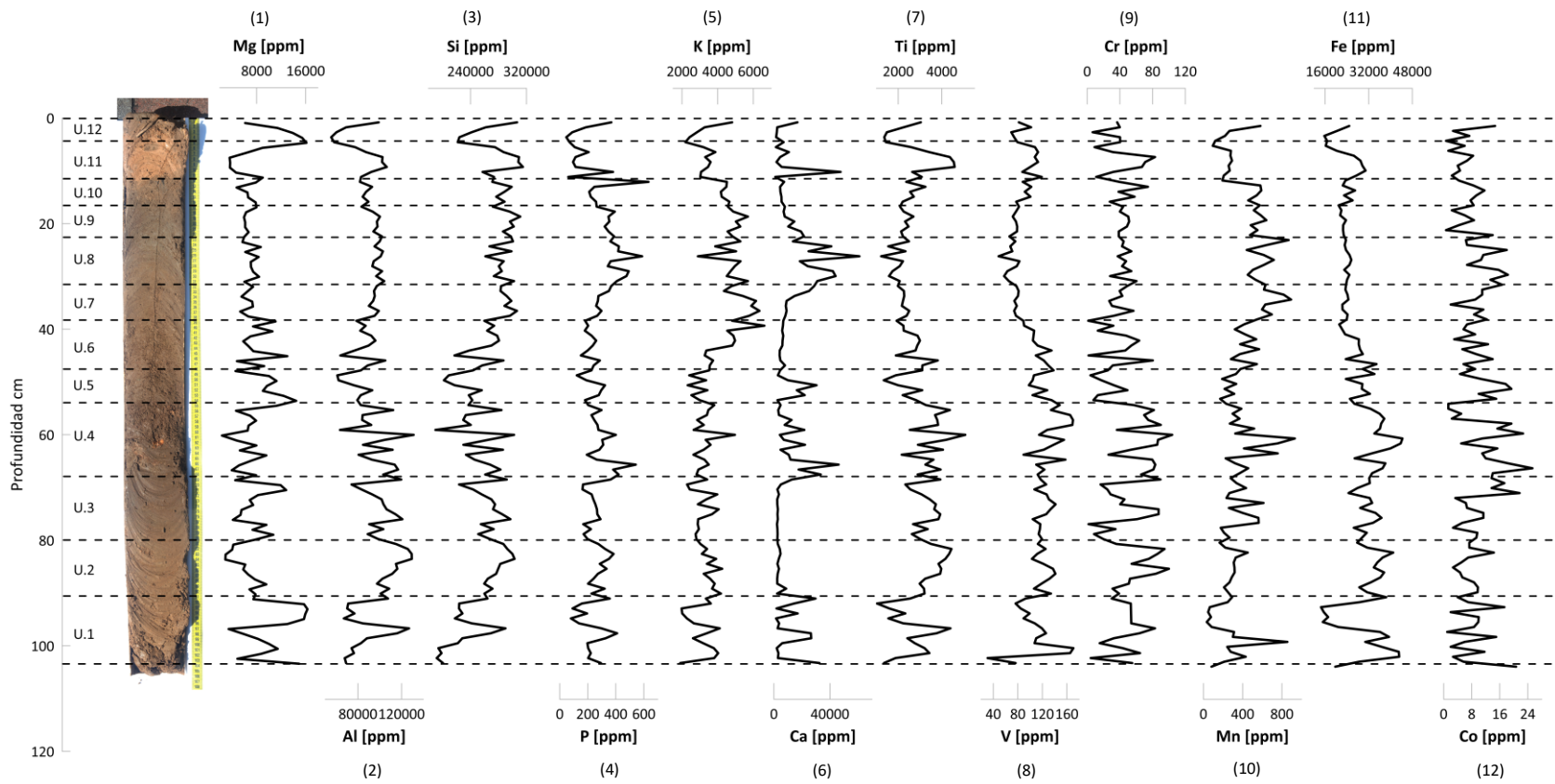


Figura 3: Señales químicas versus profundidad. Se observan las señales de 12 elementos químicos: Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe y Co. En el eje de las abscisas se tiene ppm de los elementos químicos versus la profundidad.

Realizado por: Garcia, 2023.

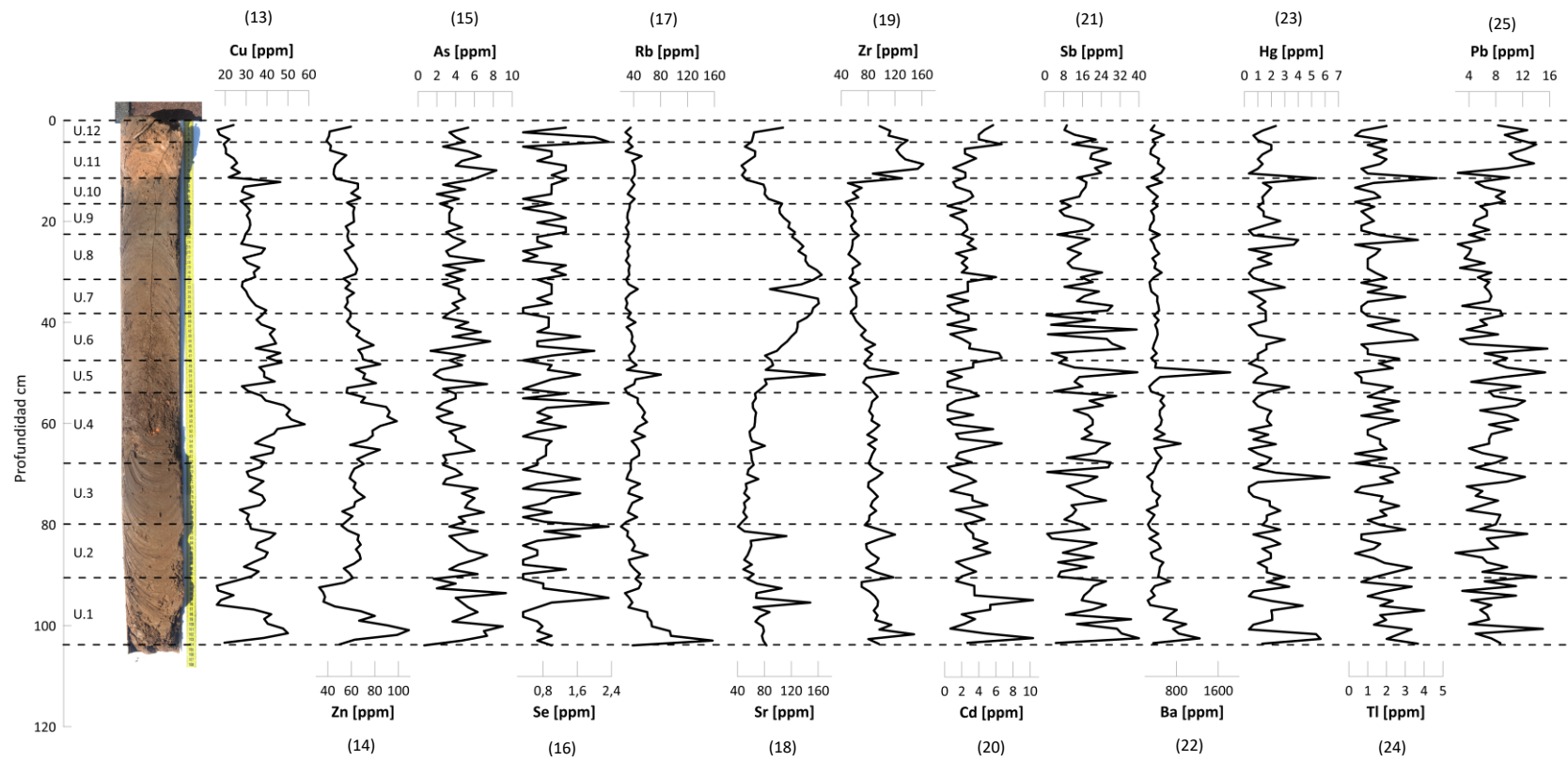


Figura 4 continuación: Señales químicas versus profundidad. Se observan las señales de 13 elementos químicos: Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Zr, Cd, Sb, Ba, Hg, Tl y Pb.

Realizado por: Garcia, 2023.

Se observan las relaciones Ti/Al y Si/Al (Figura 4). Ti/Al se utiliza para determinar el origen de los sedimentos (Celarino et al., 2013; Hamer et al., 2007; Sheldon & Tabor, 2009), valores bajos indica una procedencia de materiales ricos en aluminio como rocas ígneas félsicas (Young & Nesbitt, 1998). Si/Al puede dar información sobre la meteorización química (Sheldon & Tabor, 2009), valores altos indican una altas meteorización química (Rothwell & Croudace, 2015).

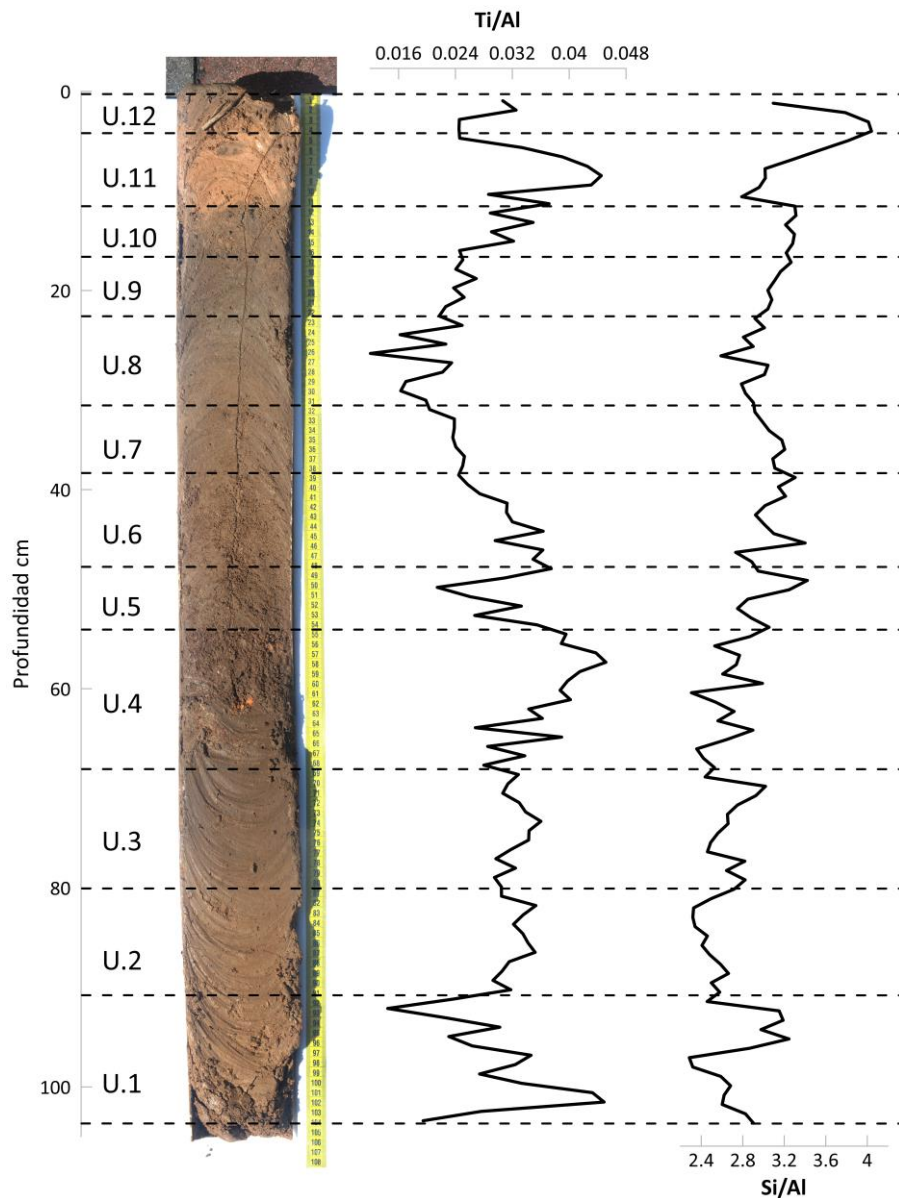


Figura 5: Relaciones Ti/Al y Si/A. Permiten ver la procedencia y meteorización química de los sedimentos respectivamente.
Realizado por: Garcia, 2023.

4.2. Análisis de Componentes Principales

El PCA explica un 99.9% de varianza de los 25 elementos químicos tan solo en los 5 primeros componentes principales (PC) (Tabla 2).

Tabla 2: Porcentaje de varianza retenida para cada uno de los PC.

Eigenvalores	% de varianza
PC1	78.8
PC2	10.7
PC3	9.4
PC4	0.9
PC5	0.1
PC6-PC25	0

Realizado por: Garcia, 2023.

Se puede observar que el componente principal 1 (PC1) posee una varianza retenida de 78.8 %. Este componente tiene una correlación negativa con el Al un 0.41 y con el Si un 0.9. El PC2 (10.7%) tiene una correlación negativa con Al un 0.43, Ca un 0.86 y Fe un 0.18, presentan también una correlación positiva baja con el Si (0.21). El PC3 (9.4%) tiene una correlación negativa con Al (0.63) y Fe (0.5), además presenta correlación positiva con el Si (0.3) y el Ca (0.50) (Figura 5).

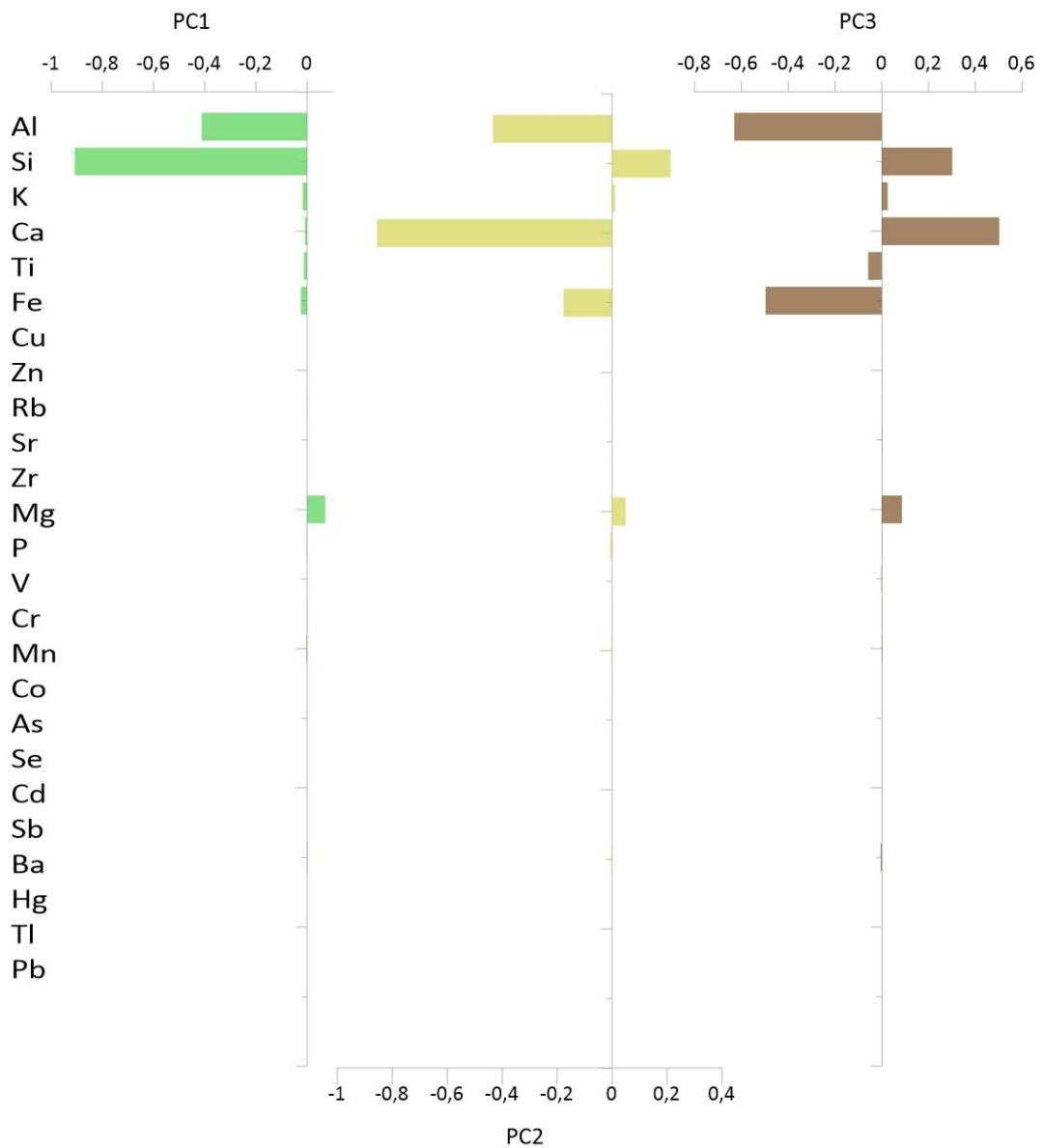


Figura 6: Gráfica de los coeficientes factoriales de cada elemento químico analizado en los PC.

Realizado por: García, 2023.

4.3. Análisis Clúster

Se muestra la similitud de los 25 elementos químicos y 4 grupos de elementos (Figura 6): 1) Ca, P, Co, K, Sr y Mn, 2) Ti, Fe, V, Cu, Zn, Cr, Si, Al y AS, 3) Zr, Pb, Mg, Se, y 4) Rb, Ba, Sb, Cd, Hg y Tl.

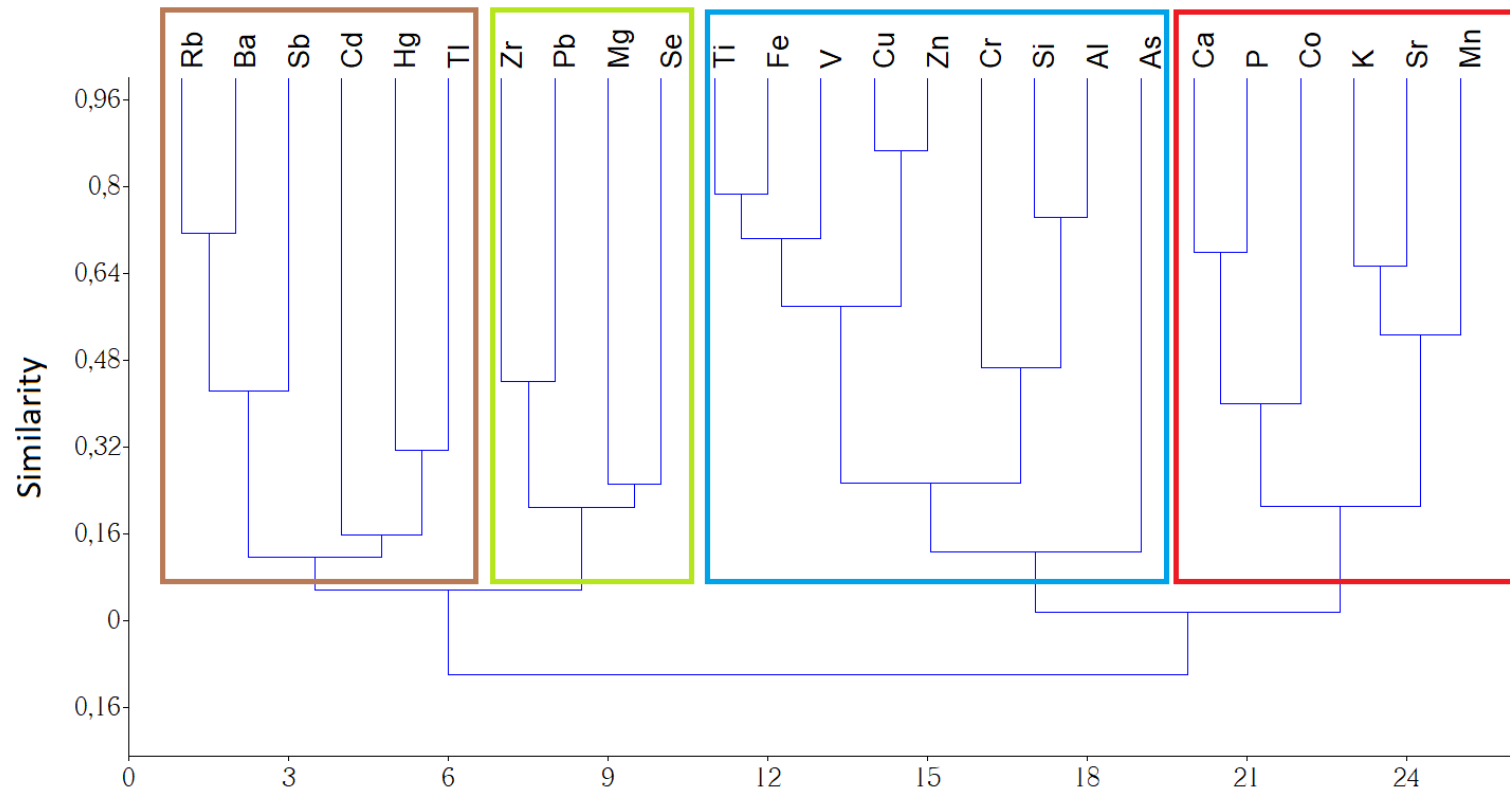


Figura 7: Dendrograma de correlaciones entre los 25 elementos químicos. Se muestran 4 clústeres basados en la similitud. Realizado por: García, 2023.

4.4. Análisis Quimioestratigráfico

Para este análisis se tiene resultados de la caracterización sedimentológica de las 12 unidades. El análisis se realiza desde la unidad 1 que se define como la parte basal del barreno sedimentario hasta la unidad 12 que es la más joven (Figura 7). También se tiene las interpretaciones de patrones geoquímicos. Basados en el análisis de componentes principales se tienen 3 componentes principales que explican el 98.9% de los 25 elementos químicos. Se aplicó una rotación varimax para maximizar la varianza de los elementos con el primer componente principal (Figura 5). A continuación, se muestran dos gráficas: columna estratigráfica y patrones geoquímicos que se basan en los componentes principales.

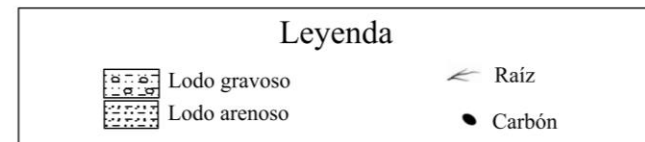
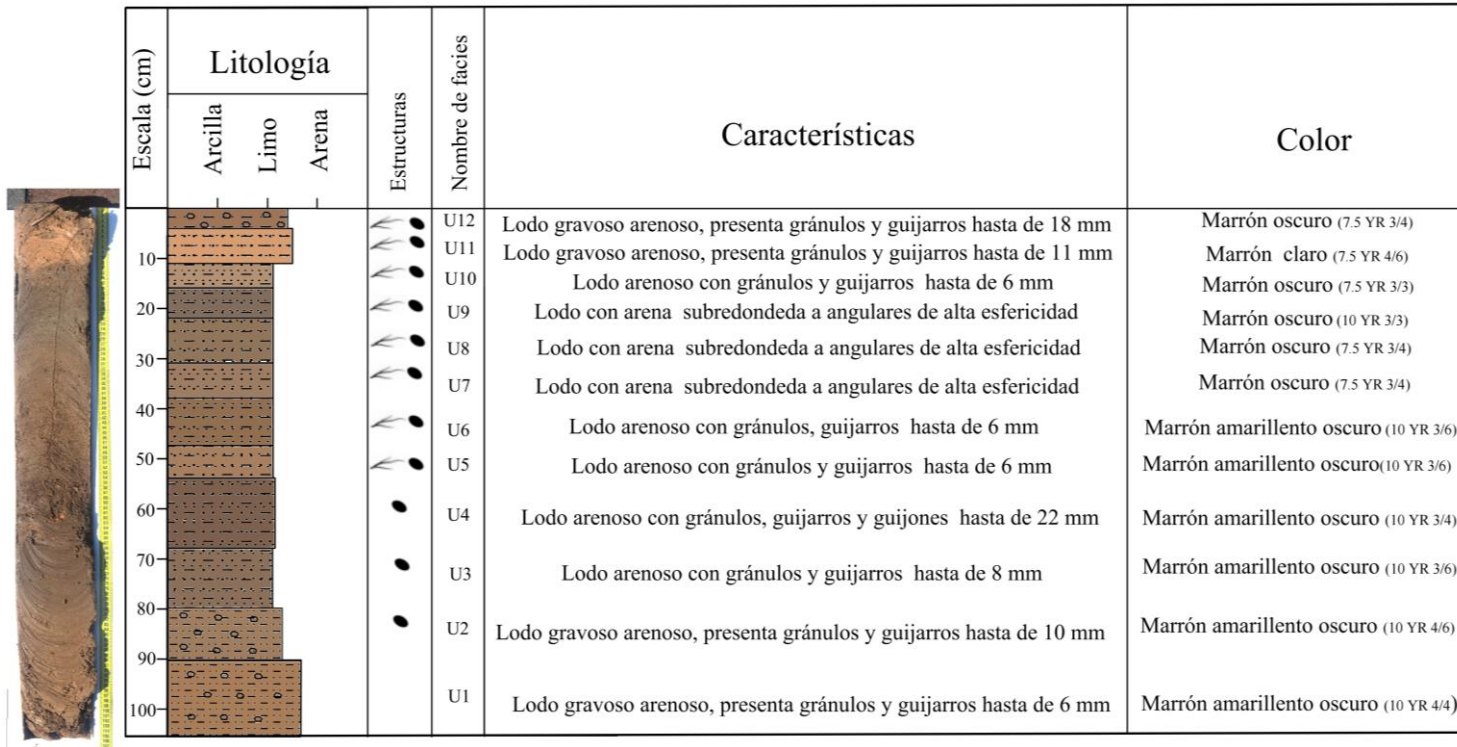


Figura 8: Columna estratigráfica. Se muestran las características de cada unidad, el color y las estructuras del análisis sedimentológico.
Realizado por: Garcia, 2023.

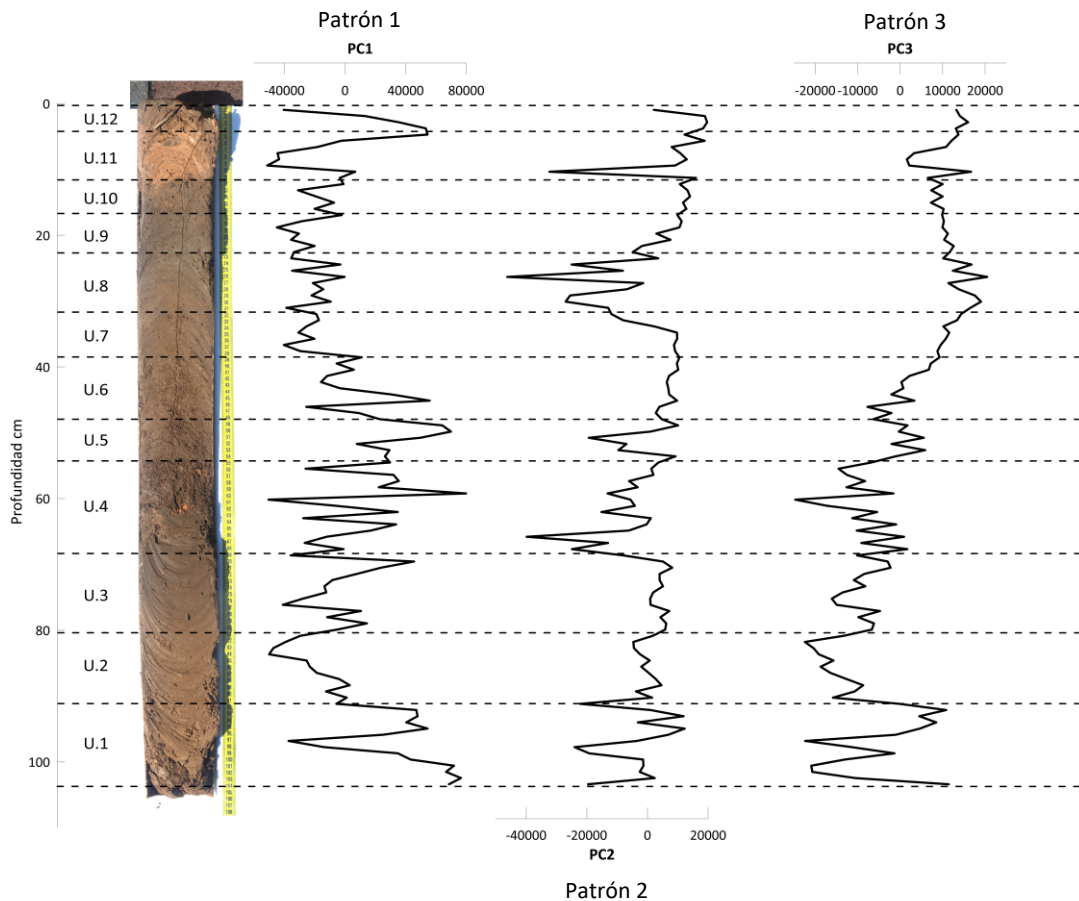


Figura 9: Patrones geoquímicos. Se muestran 3 componentes principales que se utilizarán como patrones geoquímicos que tienen mayor significancia.
Realizado por: García, 2023.

Unidad 1

Lodo gravoso arenoso (69% lodo - 24% arena - 7% grava), de color marrón amarillento oscuro (10 YR 4/4). Esta unidad observable presenta un espesor de 15 cm. Los granos de arena están constituidos principalmente por cuarzo y feldespato, en menor proporción minerales ferromagnesianos, magnetita, óxidos de hierro, micas moscovitas y flogopitas, así como fragmentos de rocas ígneas plutónicas félsicas y máficas. Los granos de arena son subredondeados a angulosos donde predomina la alta esfericidad sobre la media esfericidad. Los gránulos contienen fundamentalmente cuarzo y fragmentos de rocas ígneas plutónicas félsicas, en menor proporción feldespatos. Poseen la misma redondez y esfericidad que los granos de arena. Los guijarros están compuestos en su mayoría por fragmentos de rocas ígneas plutónicas félsicas y en menor cantidad por cuarzo. Llegan hasta 6 mm son angulares y de alta esfericidad. Esta unidad es masiva. Esta unidad en el patrón 2 no presenta una tendencia definida pero los valores cercanos al tope comienzan a tener valores constantes permitiendo

establecer esta unidad (Figura 8). Además, se encuentra establecida por la relación Ti/Al (Figura 4) ya que tiene un incremento desde la base hasta la mitad de la unidad y un decrecimiento hacia el tope.

Unidad 2

Lodo gravoso arenoso (79% lodo - 16% arena - 6% grava), de color marrón amarillento oscuro (10 YR 4/6). Esta unidad presenta un espesor continuo de 10.5 cm. Los granos de arena están constituidos principalmente por cuarzo, feldespato, minerales ferromagnesianos, en menor proporción magnetita, óxido de hierro, micas moscovitas y flogopitas, así como fragmentos de roca ígnea plutónica félsica, intermedia y máfica. Los granos de arena son subredondeados a angulares donde predomina la alta esfericidad sobre la media esfericidad. Los gránulos contienen fundamentalmente cuarzo y fragmentos de rocas ígneas plutónicas félsicas. Son redondeados a muy angulares de alta esfericidad. Los guijarros están compuestos en su mayoría por fragmentos de rocas ígneas plutónicas félsicas a intermedias. Alcanzan los 10 mm y van de subangulares a angulares donde predomina la alta esfericidad sobre la media esfericidad. Esta unidad es masiva. Presenta restos de carbón de escala milimétrica en la mitad de la unidad. Está en contacto transicional hacia la base con la unidad 1. Esta unidad está definida por el patrón 1 con decrecimiento desde la base hasta la mitad y posterior un incremento, además existe una transición con cambio abrupto hacia la unidad 3 (Figura 8).

Unidad 3

Lodo arenoso con gránulos y guijarros (85% lodo - 13% arena - 1% grava), de color marrón amarillento oscuro (10 YR 3/6). Esta unidad presenta un espesor continuo de 12 cm. Los granos de arena están constituidos principalmente por cuarzo, feldespato y minerales ferromagnesianos, en menor proporción magnetita, óxidos de hierro, micas moscovitas y flogopitas, así como fragmentos de rocas ígneas plutónicas félsicas. Los granos de arena son subangulares a angulares donde predomina la alta esfericidad sobre la media esfericidad. Los gránulos contienen fundamentalmente cuarzo y fragmentos de rocas ígneas plutónicas intermedias, en menor proporción óxidos y feldespatos. Son subredondeados de alta esfericidad. Los guijarros están compuestos en su mayoría por fragmentos de rocas ígneas plutónicas félsicas. Llegan hasta los 8 mm y son muy angulares de mediana esfericidad. Esta unidad es masiva. Presenta

restos de carbón de escala milimétrica en toda la unidad. Está en contacto transicional hacia la base con la unidad 2. Esta unidad está definida por el patrón 2 que se mantiene constante de base a tope, en la cual existe una transición con cambio abrupto hacia la unidad 4 (Figura 8).

Unidad 4

Lodo arenoso con gránulos, guijarros y guijones (79% lodo - 15% arena - 5% grava), de color marrón amarillento oscuro (10 YR 3/4). Esta unidad presenta un espesor continuo de 14 cm. Los granos de arena están constituidos principalmente por cuarzo y feldespato, en menor proporción minerales ferromagnesianos, magnetita, óxidos de hierro, micas moscovitas y flogopitas, así como fragmentos de rocas ígneas plutónicas máficas. Los granos de arena son subangulares a angulares, en donde predomina la alta esfericidad sobre la media esfericidad. Los gránulos contienen fundamentalmente cuarzo y fragmentos de rocas ígneas plutónicas félsicas, en menor proporción feldespatos. Poseen la misma redondez que los granos de arena y presentan alta esfericidad. Los guijarros tienen igual composición que los gránulos, alcanzan los 10 mm y son angulares de alta esfericidad. Los guijones están compuestos en su mayoría por fragmentos de rocas ígneas plutónicas félsicas. Llegan hasta 22 mm, poseen la misma redondez que los guijarros y son de media esfericidad. Esta unidad es masiva. Presenta resto de carbón de escala milimétrica en la parte inferior central de la unidad. También una incrustación de un guijon en el centro de la unidad de color strong brown (7.5 YR 5/8). Está en contacto transicional hacia la base con la unidad 3. Esta unidad se encuentra establecida por la relación Ti/Al (Figura 4) ya que tienen un incremento desde la base hasta la mitad de la unidad y un decrecimiento hacia el tope.

Unidad 5

Lodo arenoso con gránulos y guijarros (88% lodo - 11% arena - 1% grava), de color marrón amarillento oscuro (10 YR 3/6). Esta unidad presenta un espesor continuo de 6.5 cm. Los granos de arena están constituidos principalmente por cuarzo y feldespato, en menor proporción minerales ferromagnesianos, magnetita, óxidos de hierro, micas moscovitas y flogopitas, así como fragmentos de rocas ígneas plutónicas félsicas. Los granos de arena son subredondeados a angulosos donde predomina la alta esfericidad sobre la media esfericidad. Los gránulos contienen fundamentalmente cuarzo, en menor proporción fragmentos de rocas ígneas plutónicas félsicas y feldespatos, son

subangulares a muy angulares de alta esfericidad. Los guijarros están compuestos en su mayoría por cuarzo, alcanzan los 6 mm y son subangulares de alta esfericidad. Esta unidad es masiva. Presenta raíces (5%) y restos de carbón de escala milimétrica. Está en contacto transicional hacia la base con la unidad 4. Esta unidad está definida por el patrón 2 (Figura 8), presenta un decrecimiento desde la base hasta la mitad de la unidad y un crecimiento hacia el tope. Además, se encuentra establecida por la relación Ti/Al (Figura 4) ya que presenta un decrecimiento de valores desde la base hasta la mitad de la unidad y un crecimiento hasta el tope, lo cual permite diferenciarla de la unidad 4 y 6.

Unidad 6

Lodo arenoso con gránulos y guijarros (88% lodo - 11% arena - 1% grava), de color marrón amarillento oscuro (10 YR 3/6). Esta unidad presenta un espesor continuo de 9.5 cm. Los granos de arena están constituidos principalmente por cuarzo y feldespato, en menor proporción minerales ferromagnesianos, magnetita, óxidos de hierro, micas moscovitas y flogopitas, así como fragmentos de rocas ígneas plutónicas félsicas. Los granos de arena son subredondeados a angulares donde predomina la alta esfericidad sobre la media esfericidad. Los gránulos contienen fundamentalmente cuarzo, en menor proporción fragmentos de rocas ígneas plutónicas félsicas y feldespatos, son subangulares a muy angulares de alta esfericidad. Los guijarros están compuestos en su mayoría por cuarzo, alcanzan los 6 mm y son subangulares de alta esfericidad. Esta unidad es masiva. Presenta raíces (5%) y restos de carbón de escala milimétrica. Es similar a la unidad 5. Esta unidad está definida por el patrón 2 porque se mantiene constante desde la base hasta el tope (Figura 8).

Unidad 7

Lodo con arena (92% lodo - 8% arena), de color marrón oscuro (7.5 YR 3/4). Esta unidad presenta un espesor continuo de 7 cm. Los granos de arena están constituidos principalmente por cuarzo, feldespato y minerales ferromagnesianos, en menor proporción magnetita, óxidos de hierro, micas moscovitas y flogopitas, así como fragmentos de roca ígnea plutónica félsica. Los granos de arena son subredondeados a angulares donde predomina la alta esfericidad sobre la media esfericidad. Esta unidad es masiva. Presenta raíces (20%) y restos de carbón a escala milimétrica en toda la unidad. Está en contacto transicional hacia la base con la unidad 6. Esta se define por el patrón 3 porque existe un incremento desde la base hasta el tope (Figura 8).

Unidad 8

Lodo con arena (92% lodo - 8% arena), de color marrón oscuro (7.5 YR 3/4). Esta unidad presenta un espesor continuo de 9 cm. Los granos de arena están constituidos principalmente por cuarzo, feldespato y minerales ferromagnesianos, en menor proporción magnetita, óxidos de hierro, micas moscovitas y flogopitas, así como fragmentos de roca ígnea plutónica félsica. Los granos de arena son subredondeados a angulares donde predomina la alta esfericidad sobre la media esfericidad. Esta unidad es masiva. Presenta raíces (20%) y restos de carbón a escala milimétrica en toda la unidad. Es similar a la unidad 7. Esta unidad se encuentra definida por el patrón 2 se observa un decrecimiento de base hasta la mitad de la unidad y un crecimiento hacia el tope, en donde existe una transición con cambio abrupto hacia la unidad 9 (Figura 8). Además, está establecida por la relación Ti/Al (Figura 4) presenta un decrecimiento desde la base hasta la mitad de la unidad y un crecimiento hasta el tope.

Unidad 9

Lodo con arena (93% lodo - 7% arena), de color marrón oscuro (10 YR 3/3). Esta unidad presenta un espesor continuo de 6 cm. Los granos de arena están constituidos principalmente por cuarzo y feldespato, en menor proporción minerales ferromagnesianos, magnetita, óxidos de hierro, micas moscovitas y flogopitas, así como fragmentos de rocas ígneas plutónicas intermedias. Los granos de arena son subredondeados a angulares donde predomina la alta esfericidad sobre la media esfericidad. Esta unidad es masiva. Presenta raíces (25%) y restos de carbón de escala milimétrica en toda la unidad. Está en contacto transicional hacia la base con la unidad 8. Esta unidad se encuentra definida por el patrón 1 porque decrece desde la base hasta la mitad aproximadamente y crece hasta el tope, en donde existe una transición con cambio abrupto hacia la unidad 10 (Figura 8).

Unidad 10

Lodo arenoso con gránulos y guijarros (88% lodo - 10% arena - 1% grava), de color marrón oscuro (7.5 YR 3/3). Esta unidad presenta un espesor variable de 4 cm a 5 cm. Los granos de arena están constituidos por minerales y fragmentos de rocas iguales a la unidad 5. Los granos de arena son subangulares a muy angulares donde predomina la alta esfericidad sobre la media esfericidad. Los gránulos contienen fundamentalmente

cuarzo, fragmentos de rocas ígneas plutónicas félsicas, en menor proporción feldespatos y son angulares de alta esfericidad. Los guijarros están compuestos en su mayoría por cuarzo y en menor medida por fragmentos de rocas ígneas plutónicas félsicas. Llegan hasta 6 mm y son subangulares de alta esfericidad. Esta unidad es masiva. Presenta raíces (5%) y carbón de 1 cm² en la parte superior derecha de esta unidad. Está en contacto transicional hacia la base con la unidad 9. Esta unidad se encuentra definida por el patrón 1 se puede observar que en esta unidad presenta un decrecimiento desde la base hasta la mitad y un crecimiento hacia el tope, en donde existe una transición con cambio abrupto hacia la unidad 11 (Figura 8).

Unidad 11

Lodo gravoso arenoso (70% lodo - 24% arena - 6% grava), de color marrón claro (7.5 YR 4/6). Esta unidad presenta un espesor variable de 6 cm a 7 cm. Los granos de arena están constituidos por minerales y fragmentos de rocas similares a la unidad 6. Los granos de arena son subredondeados a angulares en donde predomina la alta esfericidad sobre la media esfericidad. Los gránulos contienen fundamentalmente cuarzo, en menor proporción feldespatos, óxidos de hierro, así como fragmentos de rocas ígneas plutónicas félsicas. Son subangulares a angulares de alta esfericidad. Los guijarros están compuestos en su mayoría por cuarzo, llegan hasta 11 mm y son angulares donde predomina la baja esfericidad sobre la media esfericidad. Esta unidad es masiva. Presenta raíces (5%) y carbón a escala milimétrica. Presenta una mancha de color dark brown (7.5 YR 3/4) de 3.5 cm² en la parte superior izquierda. Está en contacto neto hacia la base con la unidad 10. Esta unidad se definió por el patrón 1, presenta un decreciente hasta la mitad de la unidad y decrece hacia el tope (Figura 8). Además, se encuentra establecida por la relación Ti/Al (Figura 4) que presenta un crecimiento desde la base hasta la mitad y decrece hacia el tope.

Unidad 12

Lodo gravoso arenoso (59% lodo - 23% arena - 17% grava), de color marrón oscuro (7.5 YR 3/4). Esta unidad presenta un espesor variable de 3.5 cm a 4 cm. Los granos de arena están constituidos por minerales y fragmentos de rocas similares a la unidad 6. Los granos de arena son subredondeados a angulares en donde predomina la alta esfericidad sobre la media esfericidad. Los gránulos contienen fundamentalmente cuarzo y son subredondeados a subangulares de alta esfericidad. Los guijarros están

compuestos en su mayoría por cuarzo, llegan hasta los 9 mm y son subredondeados a angulares de alta esfericidad. Los guijones alcanzan los 18 mm subredondeados de baja esfericidad. Esta unidad es masiva. Presenta raíces (5%) y restos de carbón a escala milimétrica en toda la unidad. Está en contacto neto hacia la base con la unidad 11. Esta unidad está definida por un decrecimiento desde la base hasta el tope, además se encuentra establecida por la relación Ti/Al (Figura 4) que presenta una tendencia creciente desde la base hacia el tope que permite establecer esta unidad.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para realizar la interpretación de los resultados solo se utilizará las relaciones Ti/Al como indicador del origen de los sedimentos, Si/Al como indicador de meteorización química, gráfica de PC1 versus PC2 donde se tienen la distribución de las 12 unidades quimioestratigráficas (Figura 9) para determinar grupos con similar geoquímica. De las relaciones Si/Al se pretende establecer una interpretación paleoclimática de carácter exploratorio.

5.1. Interpretación Paleoambiental

El barreno extraído de la Exc-1 presenta lodo en todas sus unidades quimioestratigráficas, aunque algunas presentan arena y grava en menor proporción. Existen dos factores geológicos principales que afectan a la redondez y forma de los granos de arenas caracterizados en las unidades quimioestratigráficas: 1) abrasión, que es el desgaste físico que ocurre cuando los granos de arena chocan y se frotan entre sí, y 2) la corriente fluvial que transporta los granos de arena a lo largo del río (Nichols, 2009). Además, en las unidades se observaron gránulos y guijarros, lo que indica una energía moderada en el ambiente, porque fragmentos más grandes requieren de cierta fuerza para ser transportados. Para este estudio solo se tiene material sedimentario de grano medio a fino en comparación con el estudio de Ortiz (2021) que presenta grava en la base. De acuerdo con Nichols (2009) la presencia de material fino es el resultado de un depósito de sedimentos que fueron transportados como carga suspendida en el proceso de tracción y decantación en un ambiente fluvial. La presencia predominante de lodo sugiere la existencia de períodos de inundación y sedimentación más tranquila. Estos sedimentos más finos son típicos de las llanuras de inundación, donde las aguas se desbordan y depositan material fino durante eventos de crecida (Nichols, 2009; Ortiz, 2021).

5.2. Origen de los Sedimentos

La relación Ti/Al es ampliamente utilizada como un indicador de la procedencia en estudios de sedimentos (Celarino et al., 2013; Hamer et al., 2007; Sheldon & Tabor, 2009). Esta relación se basa en la comparación de los contenidos de titanio/aluminio y dan información sobre la fuente de los materiales sedimentarios. La relación Ti/Al es

considerada para conocer el origen de los sedimentos debido a que tanto el Ti y el Al son elementos inmóviles en procesos geológicos que involucran la erosión, el transporte y la deposición de sedimentos. Esta característica es fundamental para su aplicación como un indicador geoquímico en estudios geológicos y permite inferir la procedencia de los sedimentos (Celarino et al., 2013; Sheldon & Tabor, 2009; Young & Nesbitt, 1998). De acuerdo con Young & Nesbitt (1998) en su estudio establecen que valores altos de Ti/Al pueden sugerir una procedencia de materiales ricos en titanio, como rocas ígneas máficas, valores bajos indican una procedencia de materiales ricos en aluminio como rocas ígneas félsicas o minerales arcillosos.

Basados en la figura 3, se observan valores altos de Al con respecto al Ti. En la figura 4 podemos observar la relación Ti/Al con valores que van desde los 0.02 hasta los 0.04 aproximadamente, entonces los valores son relativamente bajos característicos de un origen ígneos félsico como el granito.

De acuerdo con Craigie (2018) existen varias fórmulas para determinar el índice de alteración química como: CPA (Chemical proxy for alteration), CIW (Chemical Index of Weathering), PIA (Plagioclase Index of Alteration), CIA (Chemical Index of Alteration), entre otras. Todas las fórmulas anteriores tienen incorporado al sodio (Na), pero en esta investigación no fue posible detectarlo con la pistola portable de XRF debido al rango de detección del instrumento (Stockmann et al., 2016). En algunas investigaciones utilizan la relación Si/Al para evaluar la composición mineralógica del suelo y para determinar el grado de meteorización química del suelo provenientes de material parentales (roca madre) graníticos (Moraetis et al., 2015; Sheldon & Tabor, 2009). La relación Si/Al se basa en el principio de los elementos móviles e inmóviles, de acuerdo con Stockmann et al. (2016) los elementos móviles son Si, K, Na, Mg y Ca, y los inmóviles son Al, Fe, Ti. Para esta investigación se tomará como posible índice de meteorización la relación Si/Al basados en elemento móvil/inmóvil, cuando hay mayor aporte de Si hay mayor meteorización química y cuando no hay aporte de Si se interpreta como baja meteorización química. A continuación, se muestra la tabla 3 con la interpretación de Si/Al para cada unidad quimioestratigráfica, el criterio para la interpretación se basó en un promedio de los valores de Si/Al, los valores que se encontraban por encima del promedio se interpretaban como mayor meteorización, los valores que se encontraban por debajo como menor meteorización y los valores que no presentaban ni un crecimiento o decrecimiento se interpretaban como meteorización moderada.

Tabla 3: Interpretación de meteorización química basado en la relación Si/Al para cada unidad quimioestratigráfica.

Unidades Quimioestratigráficas	Si/Al
U12	Alta meteorización química.
U11	En la base presenta baja meteorización química y el resto de la unidad alta meteorización química.
U10	Alta meteorización química.
U9	Alta meteorización química.
U8	Presenta alta meteorización y baja en: 24.44, 26.32, 29.14 y 30.08 cm.
U7	Alta meteorización química.
U6	Cercano a la base existe baja meteorización. El resto de la unidad presenta alta meteorización química.
U5	Presenta baja meteorización química desde el 50.76 cm hasta 52.64 cm. El resto de la unidad presenta alta meteorización química.
U4	Presenta baja meteorización y 2 picos de alta meteorización en: 59.22 cm y 63.98 cm.
U3	Presenta Baja meteorización química y 1 pico de alta meteorización en: 69 cm.
U2	Baja meteorización química
U1	Baja (desde el tope hasta la mitad de la unidad) y Alta (desde la mitad hasta el tope).

Realizado por: Garcia, 2023.

La procedencia de los sedimentos de la Exc-1 provienen de una roca ígnea félsica. La alta meteorización química observada en la tabla 3 en varias unidades sugiere que la roca madre ha sido sometida a procesos de desgaste químico a lo largo del tiempo. Una roca ígnea félsica es el granito el cual parece ser una fuente importante de material encontrado en la Exc-1 (Figura 1). Basados en la geología, cercano a la zona de estudio se tiene la presencia del Batolito de Abitagua que es el origen del sedimento de la Exc-1. Este batolito ha sufrido meteorización y los sedimentos han sido transportado por el río como carga suspendida hasta llegar a depositarse en la terraza T2. De acuerdo con la figura 9, tenemos la distribución de las 12 unidades quimioestratigráficas donde se tienen 3 grupos que presentan una geoquímica similar. Grupo 1 se encuentra la unidad

12, 11 y 10. Grupo 2 definido por las unidades 2, 7, 8 y 9. Grupo 3 definido por las unidades 1, 3, 4, 5 y 6.

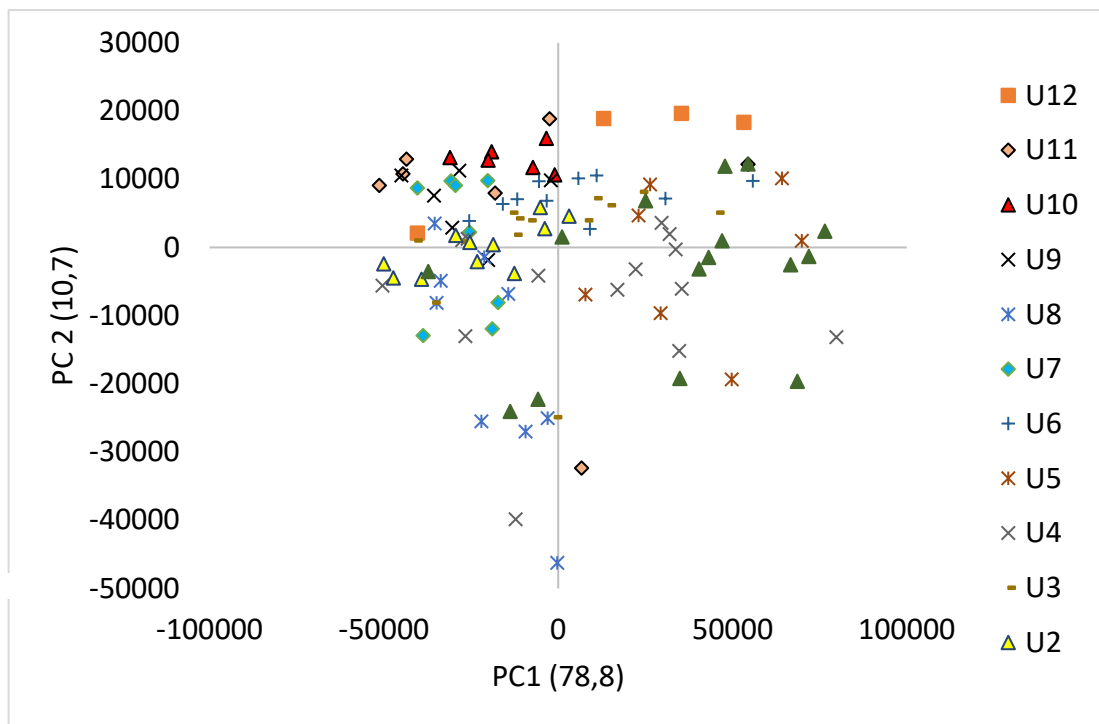


Figura 10: PC1 versus PC2. En esta grafica se observa la similaridad de las unidades quimioestratigráfica.

Realizado por: Garcia, 2023.

5.3. Implicaciones Paleoclimáticas

Basados en el estudio de Yang et al. (2004) los depósitos siliciclásticos pueden ser considerarse como un archivo del pasado ambiental. De acuerdo con Dinis et al. (2020) las unidades fluviales de grano fino son adecuadas para la reconstrucción climática, esto es posible porque los sedimentos de grano fino transportados en suspensión es suelo erosionado derivado de la roca madre que depende de la intensidad de la meteorización. Realizar una reconstrucción paleoclimática a partir de lodos no es sencillo porque los lodos de ríos no se generan únicamente en un solo ciclo sedimentario y los procesos de meteorización no necesariamente se da de forma homogénea (Dinis et al., 2020).

Algunos estudios sobre el paleoclima utilizan un índice de meteorización como un indicador climático porque la meteorización química esta influencia no solo por factores geológicos y geomorfológicos sino también por el clima (Dinis et al., 2020; Goldberg & Humayun, 2010). En la investigación de Goldberg & Humayun (2010) utilizan el índice de alteración química CIA para establecer paleohumedad, lo cual resulta razonable, pero se debe tomar en cuenta las limitaciones del estudio. Dinis et al. (2020), utiliza

varios índices de alteración química como CIA, WIP, % de Kaolinita entre otros y establece que la alteración química de los sedimentos se puede utilizar ampliamente para inferir el paleoclima.

Para esta investigación se conoce que la fuente de los sedimentos es siliciclásticas, fueron transportado por el río como suspensión (grano fino) y presenta lodos en todas sus unidades quimioestratigráficas, de acuerdo con Dinis et al. (2020) es factible utilizar este tipo de material para realiza una reconstrucción del paleoclima. De carácter exploratorio se utilizará la relación Si/Al para interpretar el paleoclima porque esta se utilizó para mostrar la meteorización química en las 12 unidades quimioestratigráficas (Tabla 3). El criterio para la interpretación paleoclimática se basa en el grado de meteorización, si se tiene una alta meteorización se puede interpretar como una fase humedad y una baja meteorización interpreta como una fase seca. La tabla 4 muestra una interpretación preliminar sobre el paleoclima en función de la profundidad.

Tabla 4: Interpretación exploratoria del paleoclima para cada unidad quimioestratigráfica.

Unidades Quimioestratigráficas	Paleoclima
U12	Fase húmeda
U11	Fase seca seguido de una fase húmeda
U10	Fase húmeda
U9	Fase húmeda
U8	Fase húmeda y seca intercaladas.
U7	Fase húmeda.
U6	Fase seca seguida de una fase húmeda.
U5	Fase humedad.
U4	Fase seca.
U3	Fase seca.
U2	Fase seca.
U1	Fase seca desde el tope hasta la mitad de la unidad) y Fase húmeda (desde la mitad hasta el tope).

Realizado por: Garcia, 2023.

En la tabla 4, se muestra la posible interpretación del paleoclima basa en la tabla 3 que está relacionada con la meteorización, se tiene 3 fases secas consecutivas que van desde la unidad 2 hasta la 4 donde existió una baja meteorización. Las unidades 5, 7, 9, 10, 12 presentan una alta meteorización característico de un clima lluvioso. Las unidades 1, 6, 8 y 11 presentan fases húmedas y luego fases secas o viceversa. Estas fases posiblemente sucedieron durante 1300 BP a 1500 BP.

6. CONCLUSIONES

La Terraza T2 representó un antiguo lecho fluvial del río Tena, donde los sedimentos finos fueron transportados en suspensión durante eventos de crecida que excedían la capacidad del canal del río, depositándose en esta extensa terraza aluvial que se extendía desde la Universidad Regional Amazónica Ikiám hasta Muyuna, estableciendo así una amplia llanura de inundación.

En la relación Ti/Al, las unidades presentan origen de roca ígnea félsica, lo cual se le atribuyen al Batolito de Abitagua. Basados en la relación Si/Al este granito ha sufrido alteración química a través del tiempo, los sedimentos fueron transportados por el río Tena en un lecho antiguo y depositados en la terraza T2.

En el contexto paleoclimático de carácter exploratorio se tiene que las unidades 5, 7, 9, 10 y 12 presentan una alta meteorización característico de un clima húmedo. Las unidades 1, 6,8 y 11 presentan fases húmedas y luego fases secas. Por ultimo las unidades 2, 3 y 4 presentan un clima seco.

7. RECOMENDACIONES

Para mejorar el estudio quimioestratigráfico es recomendable realizar dataciones de carbono 14 en los fragmentos de carbono para obtener edades de control y poder establecer el periodo de tiempo donde ocurrieron estos acontecimientos.

Es de conocimiento que la pistola portátil de XRF para esta investigación detectó 25 elementos, pero por los límites de detección no se obtuvo sodio para calcular el índice de alteración química CIA u otro índice que en algunas investigaciones es interpretado como proxy paleoclimático. Entonces sería recomendable utilizar otro instrumento que permita detectar el sodio.

Para el análisis clúster es recomendable utilizar el análisis de agrupamiento jerárquico y estratigráficamente restringido mediante suma de cuadrados progresivos o también llamado CONISS, esto permitirá establecer las relaciones entre unidades quimioestratigráficas que posiblemente tengan el mismo comportamiento geoquímico.

Para futuras investigaciones se debe tomar una muestra del Batolito de Abitagua (*in situ*) para poder comparar con la geoquímica de la Exc-1, mediante un test estadístico que me permita comparar estas dos muestras. Esto haría más robusto la interpretación del origen de los sedimentos.

8. REFERENCIAS

- Albarède, F. (2009). *Geochemistry: an introduction*. Cambridge University Press.
- Aspden, J. A., & Litherland, M. (1992). The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, 205(1–3), 187–204. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(92\)90426-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(92)90426-7)
- Baddouh, M. (2016). *APPLICATION OF STRONTIUM ISOTOPES IN PALEOCLIMATOLOGY, PALEOHYDROLOGY AND CHEMOSTRATIGRAPHY: THE EOCENE GREEN RIVER FORMATION, WYOMING*.
<https://www.proquest.com/openview/24e34f6fd39ea78eee2009c21655a1af/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750>
- Bedoya, C., & Nomesqui, H. (2013). *Estratigrafía, quimioestratigrafía y petrografía de la Formación Rosablanca: Implicaciones para la identificación de eventos anóxicos oceánicos en la Cordillera Oriental Colombiana*.
- Bès de Berc, S., Soula, J. C., Baby, P., Souris, M., Christophoul, F., & Rosero, J. (2005). Geomorphic evidence of active deformation and uplift in a modern continental wedge-top–foredeep transition: Example of the eastern Ecuadorian Andes. *Tectonophysics*, 399(1–4), 351–380.
<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.12.030>
- Bird, G., Brewer, P. A., Macklin, M. G., Nikolova, M., Kotsev, T., Mollov, M., & Swain, C. (2010). Quantifying sediment-associated metal dispersal using Pb isotopes: Application of binary and multivariate mixing models at the catchment-scale. *Environmental Pollution*, 158(6), 2158–2169.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.02.020>
- Campos, C., Guzmán, O., Solorzano, M. S., & Valencia, B. (2019). *GEOMORPHOLOGY OF ALLUVIAL TERRACES ALONG THE TENA RIVER IN THE EASTERN FLANK OF THE ANDES OF ECUADOR*.
- Celarino, A. L. de S., de Souza, M. M., Ladeira, F. S. B., & Torres Branco, F. S. R. (2013). Paleoenvironmental reconstruction of the Lower Mogi Guaçu River Basin (São Paulo State — Brazil), morphopedosedimentary records and fluvial processes. *CATENA*, 111, 80–97.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.07.002>
- Certificate of calibration. (2019). *S1 TITAN Model LE/600/800 Check Sample Report, Serial N°: 600N6389*.
- Coltorti, M., & Ollier, C. (2000). Geomorphic and tectonic evolution of the Ecuadorian Andes. *Geomorphology*, 32(1–2), 1–19. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(99\)00036-7](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00036-7)
- Craigie, N. (2018). *Principles of Elemental Chemostratigraphy*. 196. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-71216-1>
- Cuven, S., Francus, P., & Lamoureux, S. F. (2010). Estimation of grain size variability with micro X-ray fluorescence in laminated lacustrine sediments, Cape Bounty, Canadian High Arctic. *Journal of Paleolimnology*, 44(3), 803–817. <https://doi.org/10.1007/s10933-010-9453-1>
- Dinis, P. A., Garzanti, E., Hahn, A., Vermeesch, P., & Cabral-Pinto, M. (2020). Weathering indices as climate proxies. A step forward based on Congo and SW African river muds. *Earth-Science Reviews*, 201. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.103039>
- Dominguez, V. (2016). *Rescate y monitoreo Arqueológico en el Proyecto « Construcción de la Fase 1era. - Edificio de Laboratorios, Aulas y Oficinas y Areas exteriores en la Universidad Regional Amazónica Ikiam, parroquia Muyuna, Cantón Tena, Provincia Napo*.

- Drobe, J., Lindsay, D., Stein, H., & Gabites, J. (2013). Geology, mineralization, and geochronological constraints of the Mirador Cu-Au porphyry district, southeast Ecuador. *Economic Geology*, 108(1), 11–35. <https://doi.org/10.2113/econgeo.108.1.11>
- Duarte, J. (2017). Geoquímica de la Formación Caballos (Aptiano—Albiano), Valle Superior del Magdalena, Colombia: Quimioestratigrafía y Condiciones Ambientales. *Para Optar Por El Grado de Maestra En Ciencias de La Tierra*, 115.
- Esteves, I., Rojas, J., Martínez, M., Gutiérrez, J., Quero, V., González, C., Escobar, M., Reátegui, K., & Martínez, A. (2007). An integrated organic/inorganic chemostratigraphy study in Paleocene Barco Formation at the Lobaterita River, Táchira State, Venezuela. *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería. Universidad Del Zulia*, 30, 370–379.
<http://www.revistas.luz.edu.ve/index.php/rtz/article/view/6185>
- Gil Martínez, C. (2018). ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA). *R Pubs by RStudio*.
https://rpubs.com/Cristina_Gil/PCA
- Goldberg, K., & Humayun, M. (2010). The applicability of the Chemical Index of Alteration as a paleoclimatic indicator: An example from the Permian of the Paraná Basin, Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 293(1–2), 175–183. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.05.015>
- Guerriero, L. (2021). Evaluación del cálculo de abundancias minerales en recortes de perforación mediante el algoritmo A2M, utilizando datos de FRX portátil, WDXRF, DRX y conteo mineralógico por petrografía (Fm. Palermo Aike, Cuenca Austral-Magallanes, Santa Cruz, Argentina). *Trabajo Final de Licenciatura En Geología de La Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Argentina*.
http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/repositorio/_documentos/tesis/tfl_guerriero.pdf
- Hagen, C. J. (2021). *Applying a Dynamic Time Warping Approach to Stratigraphic Correlation: Quaternary Magnetostratigraphy and Ediacaran–Cambrian Chemostratigraphy*.
https://ir.library.oregonstate.edu/concern/graduate_thesis_or_dissertations/s4655q03d
- Hall, M. L., & Calle, J. (1982). Geochronological control for the main tectonic-magmatic events of Ecuador. *Earth Science Reviews*, 18(3–4), 215–239. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(82\)90038-1](https://doi.org/10.1016/0012-8252(82)90038-1)
- Hamer, J. M. M., Sheldon, N. D., Nichols, G. J., & Collinson, M. E. (2007). Late Oligocene–Early Miocene paleosols of distal fluvial systems, Ebro Basin, Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 247(3–4), 220–235. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.10.016>
- Hammer, Ø., PD, R., & Harper, D. A. T. (2011). PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4, 1–9.
- Iriarte, E., Simões, C. D., Diniz, M., & Arias, P. (2013). *High resolution XRF chemostratigraphy of the Poças de São Bento shell midden*.
- Jordá, J., Aura, E., García, J., Pérez, M., & Badal, E. (2003). El registro paleobiológico cuaternario del yacimiento arqueológico de la Cueva de Nerja (Málaga, España). *Boletín de La Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Geológica*.
- Le Pennec, J. L., Jaya, D., Samaniego, P., Ramón, P., Moreno Yáñez, S., Egred, J., & van der Plicht, J. (2008). The AD 1300-1700 eruptive periods at Tungurahua volcano, Ecuador, revealed by historical narratives, stratigraphy and radiocarbon dating. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176(1), 70–81. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.05.019>
- Macklin, M. G. (1996). Fluxes and storage of sediment-associated heavy metals in floodplain systems: assessment and river basin management issues at a time of rapid environmental change. *Floodplain Processes*, 13, 441–459.
- Manor, M. J., Piercey, S. J., Murphy, D. C., & Wall, C. J. (2022). Age and Chemostratigraphy of the

- Finlayson Lake District, Yukon: Implications for Volcanogenic Massive Sulfide (VMS) Mineralization and Tectonics along the Western Laurentian Continental Margin. *Lithosphere*, 2022(1).
<https://doi.org/10.2113/2022/4584611>
- McKirdy, D. M., Burgess, J. M., Lemon, N. M., Yu, X., Cooper, A. M., Gostin, V. A., Jenkins, R. J. F., & Both, R. A. (2001). A chemostratigraphic overview of the late Cryogenian interglacial sequence in the Adelaide Fold-Thrust Belt, South Australia. *Precambrian Research*, 106(1–2), 149–186.
[https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(00\)00130-3](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(00)00130-3)
- Moraetis, D., Paranychianakis, N. V., Nikolaidis, N. P., Banwart, S. A., Rouseva, S., Kercheva, M., Nenov, M., Shishkov, T., de Ruiter, P., Bloem, J., Blum, W. E. H., Lair, G. J., van Gaans, P., & Verheul, M. (2015). Sediment provenance, soil development, and carbon content in fluvial and manmade terraces at Koiliaris River Critical Zone Observatory. *Journal of Soils and Sediments*, 15(2), 347–364. <https://doi.org/10.1007/s11368-014-1030-1>
- Mosblech, N. A. S., Bush, M. B., Gosling, W. D., Hodell, D., Thomas, L., Van Calsteren, P., Correa-Metrio, A., Valencia, B. G., Curtis, J., & Van Woesik, R. (2012). North Atlantic forcing of Amazonian precipitation during the last ice age. *Nature Geoscience*, 5(11), 817–820.
<https://doi.org/10.1038/ngeo1588>
- Moy, C. M., Seltzer, G. O., Rodbell, D. T., & Anderson, D. M. (2002). Variability of El Niño/Southern Oscillation activity at millennial timescales during the Holocene epoch. *Nature*, 420(6912), 162–165.
<https://doi.org/10.1038/nature01194>
- Nascimento, M. N., Mosblech, N. A. S., Raczka, M. F., Baskin, S., Manrique, K. E., Wilger, J., Giosan, L., Benito, X., & Bush, M. B. (2020). The adoption of agropastoralism and increased ENSO frequency in the Andes. *Quaternary Science Reviews*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106471>
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy*.
[https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=z14L7WqXvogC&oi=fnd&pg=PP10&dq=sedimentology+and+stratigraphy+nichols&ots=l4JnMM9rr9&sig=TdquLSNdrL9l6pp3Ukn2P-qAYJ4&redir_esc=y#v=onepage&q=sedimentology and stratigraphy nichols&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=z14L7WqXvogC&oi=fnd&pg=PP10&dq=sedimentology+and+stratigraphy+nichols&ots=l4JnMM9rr9&sig=TdquLSNdrL9l6pp3Ukn2P-qAYJ4&redir_esc=y#v=onepage&q=sedimentology%20and%20stratigraphy%20nichols&f=false)
- Ortiz, M. (2021). *Análisis estratigráfico y sedimentológico de los depósitos cuaternarios en la zona media del valle del río Tena*.
- Pearce, T. J., & Jarvis, I. (1995). High-resolution chemostratigraphy of Quaternary distal turbidites: a case study of new methods for the analysis and correlation of barren sequences. *Non-Biostratigraphical Methods of Dating and Corelation*, 107–143.
- Pellant, C. (1992). *MANUALES DE IDENTIFICACIÓN: ROCAS Y MINERALES*. (Omega. S.A).
- R Core Team. (2023). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>
- Ravansari, R., Wilson, S. C., & Tighe, M. (2020). Portable X-ray fluorescence for environmental assessment of soils: Not just a point and shoot method. *Environment International*, 134.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105250>
- Rodbell, D. T., Seltzer, G. O., Anderson, D. M., Abbott, M. B., Enfield, D. B., & Newman, J. H. (1999). An ~15,000-year record of El Niño-driven alluviation in Southwestern Ecuador. *Science*, 283(5401), 516–520. <https://doi.org/10.1126/science.283.5401.516>
- Roddaz, M., Christophoul, F., Burgos Zambrano, J. D., Soula, J. C., & Baby, P. (2012). Provenance of late Oligocene to quaternary sediments of the Ecuadorian Amazonian foreland basin as inferred from major and trace element geochemistry and Nd-Sr isotopic composition. *Journal of South American Earth Sciences*, 37, 136–153. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2012.02.008>
- Rodríguez, M., Ariza, Á., Pérez, A., & Mora, M. (2018). *Análisis de componentes principales. Introducción*

Al Análisis Estadístico Multivariado Aplicado.

- Romero, M. (2007). *Quimioestratigrafía y geoquímica sedimentaria en una sección de la Formación El Paraíso, Quebrada Purureche, Cuenca de Falcón, Venezuela.*
- Rothwell, R. G., & Croudace, I. W. (2015). *Twenty Years of XRF Core Scanning Marine Sediments: What Do Geochemical Proxies Tell Us? In: Croudace, I., Rothwell, R. (eds) Micro-XRF Studies of Sediment Cores. Developments in Paleoenvironmental Research, vol 17, Springer, Dordrecht.*
<https://doi.org/10.1007/978-94-017-9849-5>
- Rouillon, M. (2021). Enhancing the application of field portable x-ray fluorescence technology for the measurement of metal-contaminated soils. *Macquarie University Thesis.*
- Schiano, P., Monzier, M., Eissen, J. P., Martin, H., & Koga, K. T. (2010). Simple mixing as the major control of the evolution of volcanic suites in the Ecuadorian Andes. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 160(2), 297–312. <https://doi.org/10.1007/s00410-009-0478-2>
- Sheldon, N. D., & Tabor, N. J. (2009). Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols. *Earth-Science Reviews*, 95(1–2), 1–52.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.03.004>
- Shu, P., Min, W., Liu, Y., Xu, X., Li, K., Yu, Z., Yang, H., Luo, H., Wei, S., & Fang, L. (2020). Late Quaternary paleoseismology and faulting behavior of the Yilan-Yitong fault zone and implications for seismic hazards of the Tanlu fault zone, eastern China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 201.
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2020.104509>
- Solórzano, M. (2021). Cronología absoluta para el análisis diacrónico de la secuencia de ocupación del sitio arqueológico Pashimbi, alta amazonía ecuatoriana. *Arqueología Iberoamericana*, 47, 3–17.
<https://bit.ly/3nSSGlz>
- Solórzano, M., Loaiza, S., Yáñez, E., Loza, G., & Santamaría, F. (2023). *Caracterización arqueométrica de fuentes de arcilla y cerámica tipo Cosanga, Ecuador.* 68–77.
- Spagnolo, M., Rea, B. R., & Barr, I. (2022). The (mis)conception of average Quaternary conditions. *Quaternary Research (United States)*, 105, 235–240. <https://doi.org/10.1017/qua.2021.48>
- Stockmann, U., Cattle, S. R., Minasny, B., & McBratney, A. B. (2016). Utilizing portable X-ray fluorescence spectrometry for in-field investigation of pedogenesis. *CATENA*, 139, 220–231.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.007>
- Tumbaco, B. (2022). *Impacto del cambio climático sobre ocupación humana de la Amazonia Ecuatoriana.*
- Turner, J. N., Brewer, P. A., & Macklin, M. G. (2008). Fluvial-controlled metal and As mobilisation, dispersal and storage in the Río Guadiamar, SW Spain and its implications for long-term contaminant fluxes to the Doñana wetlands. *Science of the Total Environment*, 394(1), 144–161.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.12.021>
- UDDEN, J. A. (1914). Mechanical composition of clastic sediments. *Geological Society of America Bulletin*, 25(1), 655–744. <https://doi.org/10.1130/gsab-25-655>
- Ugalde, R. (2019). *Petrografía, quimioestratigrafía y proveniencia sedimentaria de la Formación Camacho (Mioceno), Uruguay.*
- Vallejo, C., Tapia, D., Gaibor, J., Steel, R., Cardenas, M., Winkler, W., Valdez, A., Esteban, J., Figuera, M., Leal, J., & Cuenca, D. (2017). Geology of the Campanian M1 sandstone oil reservoir of eastern Ecuador: A delta system sourced from the Amazon Craton. *Marine and Petroleum Geology*, 86, 1207–1223. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.07.022>
- Vera, D., Simbaña-Tasiguano, M., Guzmán, O., Cabascango, E., Sánchez-Cortez, J. L., Campos, C., & Grefa, H. (2023). Quantitative Assessment of Geodiversity in Ecuadorian Amazon—Case Study: Napo Sumaco Aspiring UNESCO Geopark. *Geoheritage*, 15(1). <https://doi.org/10.1007/s12371-023->

00792-2

- Ward, D. M., Brunelle, A., Brunelle, A., Hart, I. A., Hart, I. A., Bowen, B. B., Bowen, B. B., Brewer, S., & Brewer, S. (2016). *Holocene Chemostratigraphy of Spring Sediments in Range Creek Canyon, Utah*. <https://doi.org/10.1130/abs/2016am-287507>
- Wentworth, C. K. (1922). A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology*, 30(5), 377–392. <https://doi.org/10.1086/622910>
- Wright, A. (2010). the Application of Chemostratigraphic Techniques To Distinguish Compound Incised Valleys in Low-Accommodation Incised-Valley Systems in a Foreland-Basin Setting: an Example From the Lower Cretaceous Mannville Group and Basal Colorado Sandstone (Colorado G. *SEPM Special Publication*, 91–108.
- Yang, S., Jung, H.-S., & Li, C. (2004). Two unique weathering regimes in the Changjiang and Huanghe drainage basins: geochemical evidence from river sediments. *Sedimentary Geology*, 164(1–2), 19–34. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2003.08.001>
- Young, G. M., & Nesbitt, H. W. (1998). PROCESSES CONTROLLING THE DISTRIBUTION OF Ti AND Al IN WEATHERING PROFILES, SILICICLASTIC SEDIMENTS AND SEDIMENTARY ROCKS. In *JOURNAL OF SEDIMENTARY RESEARCH* (Vol. 68, Issue 3).