



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

**ANÁLISIS GEOQUÍMICO, PETROGRÁFICO Y ESTRUCTURAL
DEL GRANITO DE ABITAGUA EN EL GEOSITIO SHUNKU RUMI**

Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN GEOCIENCIAS

AUTORA

SAIDA JIMENA HUATATOCA MAMALLACTA

Napo - Ecuador

2024



UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZONICA IKIAM

FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA Y AGUA

CARRERA DE GEOCIENCIAS

**ANÁLISIS GEOQUÍMICO, PETROGRÁFICO Y ESTRUCTURAL
DEL GRANITO DE ABITAGUA EN EL GEOSITIO SHUNKU RUMI**

Proyecto de investigación previo a la obtención del Título de:

INGENIERA EN GEOCIENCIAS

AUTORA: SAIDA JIMENA HUATATOCA MAMALLACTA

TUTOR: MSc. JORGE RONNY ESPÍN CAMPOS

Napo - Ecuador

2024

DECLARACIÓN DE DERECHO DE AUTOR, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, Saida Jimena Huatatoca Mamallacta con documento de identidad N° 1500817158, 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.

Tena, 14 de febrero de 2024



Saida Jimena Huatatoca Mamallacta
C.I. 1500817158

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Saida Jimena Huatatoca Mamallacta, con documento de identidad N° 1500817158, en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: “Análisis Geoquímico, Petrográfico y Estructural del Granito de Abitagua en el Geosítio Shunku Rumi”, 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, 14 de febrero de 2024



Saida Jimena Huatatoca Mamallacta

C.I. 1500817158

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Certifico que el trabajo de integración curricular titulado: “Análisis Geoquímico, Petrográfico y Estructural del Granito de Abitagua en el Geositio Shunku Rumi”, en la modalidad de: Proyecto de investigación en formato artículo original fue realizado por: Saida Jimena Huatatocha Mamallacta, 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, 14 de febrero de 2024



Jorge Ronny Espín Campos
C.I. 1600488207

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo cariño y amor a mis queridos padres José Huatatocha y Rosita Mamallacta por todo el apoyo incondicional y amor que me han brindado en mi formación personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS

En el presente trabajo agradezco a Dios por ser mi guía y compañía para culminar con éxito mis objetivos propuestos.

Un agradecimiento especial a mi esposo Juan Ríos y a mi hija Sisa Ríos por permitirme cumplir uno de mis grandes sueños. Sus palabras de aliento, paciencia y apoyo constante han sido mi fortaleza en los momentos de desafío.

Con gratitud quiero expresar cuán afortunada me siento de tener hermanos y hermanas en mi vida. Porque cada uno de ellos estuvieron presentes en los momentos más difíciles de mi etapa de formación como profesional.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor MSc. Ronny Espín, por su invaluable guía y apoyo durante todo el proceso de esta tesis. A mi co-tutor MSc. Marco Simbaña, le agradezco por su orientación especial y por compartir sus conocimientos que enriquecieron este proyecto. Cada uno de sus consejos y revisión fueron pasos importantes que guiaron a la dirección correcta.

Estoy enormemente agradecida con todos mis maestros, quienes aportaron con paciencia, dedicación y conocimiento en mi formación académica. En especial a mis maestros José Serano y Diana Astudillo por creer en mí. Y a mis compañeros, compañeras, amigos y amigas por brindarme su apoyo en todo momento. Con quienes compartí momentos de tristezas y de alegrías durante mi vida estudiantil. Vuestra amistad, apoyo y colaboración han sido mi fortaleza para continuar y cumplir este propósito.

Quiero expresar mi gratitud a la Universidad Regional Amazónica Ikiám por brindarme una educación de calidad y la oportunidad de crecer tanto académica como personalmente y a la Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay

por su invaluable colaboración con recursos adicionales que han permitido desarrollar exitosamente esta tesis, en especial al profesor David Granja.

Me quedo eternamente agradecida con el Proyecto Geoparque Napo Sumaco Aspirante UNESCO, por haberme permitido realizar mi proyecto de titulación en el Geositió *Shunku Rumi*

INDICE DE CONTENIDOS

CARATULA	
DECLARACIÓN DE DERECHO DE AUTOR.....	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO.....	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACION.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
INDICE DE CONTENIDOS.....	viii
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Geositio Shunku Rumi.....	2
1.2 Contexto Geológico.....	4
2. METODOLOGÍA.....	6
2.1 Levantamiento Geológico.....	6
2.2 Recolección de muestras.....	7
2.3 Recolección de datos estructurales.....	7
2.4 Preparación de muestras.....	7
2.4.1 <i>Elaboración de láminas delgadas</i>	7
2.4.2 <i>Conminución de muestras</i>	8
2.5 Descripción Macroscópica.....	8
2.6 Descripción Microscópica.....	9
2.7 Descripción de métodos químicos.....	9
2.7.1 <i>Fluorescencia de Rayos X</i>	9
2.7.2 <i>Difracción de Rayos X</i>	10
2.7.3 <i>Absorción Atómica</i>	11
2.8 Análisis estructural.....	11
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
3.1 Descripción macroscópica de rocas.....	12
3.2 Descripción microscópica de rocas.....	15

3.3	Difractometría de Rayos – X.....	20
3.4	Fluorescencia de Rayos – X.....	23
3.5	Análisis Estructural.....	26
4.	CONCLUSIONES.....	29
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Descripción de las principales características macroscópicas de las muestras.	9
Tabla 3-1: Detalle de las características macroscópicas de las muestras de roca.	12
Tabla 3-2: Resultados del análisis petrográfico para 16 muestras de roca del Geositio Shunku Rumi.	16
Tabla 3-3: Concentraciones en % de los distintos minerales que constituyen las muestras de roca estudiadas del Geositio Shunku Rumi.....	21
Tabla 3-4: Orientación de planos de fallas, diques y diaclasas	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Mapa geológico y de ubicación del Geositio Shunku Rumi (triángulo rojo) dentro de los límites del Geoparque Napo Sumaco..	3
Figura 2-1: Geositio Shunku Rumi. Fotografía del afloramiento estudiado.	6
Figura 3-1: Análisis petrográfico de lámina delgada para las muestras B1P4, B1P6 y B2P6.	17
Figura 3-2: Interpretación del difractograma analizado de la muestra B1P6.	22
Figura 3-3: Interpretación del difractograma analizado de la muestra B4P2.	23
Figura 3-4: Clasificación AFM para las muestras de rocas analizadas mediante Fluorescencia de Rayos X	24
Figura 3-5: Clasificación Total Alkali Silica de rocas plutónicas para las muestras de rocas analizadas mediante Fluorescencia de Rayos X	25
Figura 3-6: Esquema geológico local reconocido en el afloramiento del geositio Shunku Rumi	26

RESUMEN

El presente estudio se realizó en el geosito Shunku Rumi, uno de los 18 geositos del territorio Napo Sumaco Aspirante a Geoparque Mundial de la UNESCO, en la provincia amazónica de Napo, Ecuador. Se realizó el análisis petrográfico a nivel macro y microscópico, geoquímico y estructural del Batolito de Abitagua, con el fin de evidenciar la geodiversidad (amplia gama de variaciones litológicas y mineralógicas) del Batolito de Abitagua y mecanismo de emplazamiento del batolito en el geosito Shunku Rumi. La información recabada será usada como base teórica y técnica para los diferentes procesos educativos y geoturísticos dentro del geoparque. El trabajo de campo incluyó un levantamiento de información geológica a escala 1:3000, y recolección de 23 muestras de roca intrusiva. El análisis de laboratorio consistió en aplicar las técnicas de Fluorescencia de Rayos X (FRX) para la identificación y cuantificación de los elementos mayores y Difracción de Rayos X (DRX) para la identificación de fases minerales. Además, se elaboraron láminas delgadas con el fin de llevar a cabo un análisis petrográfico a nivel microscópico y describir los minerales principales, secundarios y de alteración. Más de cien medidas estructurales de discontinuidades, diques y fallas fueron tomadas para conocer las relaciones geométricas mediante un análisis cinemático. Se determinó que más del 75% de las muestras analizadas corresponden a dioritas (diques) de textura porfídica, en menor proporción se identificó monzogranito (roca de caja), granodiorita e intrusiones aplíticas de manera puntual. El análisis petrográfico permitió identificar calcita, moscovita, augita, epidota, clorita y sericita, estos últimos tres minerales indican alteración tipo propilítica. La difracción permitió identificar la presencia de minerales como cuarzo, albita, bitownita, epidota y chamosita. FRX permitió determinar que las muestras de roca analizadas recaen dentro de la serie calco-alcalina. El diagrama Total Alkali Silica sugiere una composición intermedia-ácida para las muestras analizadas. El análisis estructural reveló fallas con dirección NO-SE y fuerte buzamiento hacia el NE, coincidentes a las fallas geológicas regionales circundantes. Además, se identificó que los diques se emplazan sobre zonas de debilidad y que son cortados por fallas, 5 familias de diaclasas identificadas señalan un tectonismo activo en la zona de estudio.

Palabras clave: geoquímica, geología estructural, rocas intrusivas, Geoparque Napo Sumaco

ABSTRACT

The present study was conducted in the Shunku Rumi geosite, one of the 18 geosites within the Napo Sumaco Aspiring UNESCO Global Geopark in the Amazonian province of Napo, Ecuador. Petrographic analysis was performed at both macro and microscopic levels, along with geochemical and structural analyses of the Abitagua Batholith. The objective was to demonstrate the geodiversity (a wide range of lithological and mineralogical variations) of the Abitagua Batholith and the emplacement mechanism of the batholith at the Shunku Rumi geosite. The gathered information will serve as a theoretical and technical foundation for various educational and geotouristic processes within the geopark. Fieldwork included geological data collection at a 1:3000 scale and the collection of 23 samples of intrusive rock. Laboratory analysis involved the application of X-ray Fluorescence (XRF) techniques for the identification and quantification of major elements and X-ray Diffraction (XRD) for the identification of mineral phases. Thin sections were prepared to conduct microscopic petrographic analysis and describe the main, secondary, and alteration minerals. Over a hundred structural measurements of discontinuities, dikes, and faults were taken to understand geometric relationships through a kinematic analysis. It was determined that over 75% of the analyzed samples correspond to diorites (dikes) with porphyritic texture, while in smaller proportions, monzogranite (country rock), granodiorite, and aplite intrusions were identified punctually. Petrographic analysis revealed the presence of calcite, muscovite, augite, epidote, chlorite, and sericite, the latter three indicating propylitic alteration. Diffractometry identified minerals such as quartz, albite, biotite, epidote, and chamosite. XRF determined that the analyzed rock samples fall within the calc-alkaline series. The Total Alkali Silica diagram suggests an intermediate to acidic composition for the analyzed samples. Structural analysis revealed faults with a NW-SE orientation and a strong dip to the NE, coinciding with the surrounding regional geological faults. Additionally, it was identified that dikes are emplaced along zones of weakness and are cut by faults. Five families of identified joints indicate active tectonism in the study area.

Keywords: Geochemistry, structural geology, plutonic rocks, Napo-Sumaco Geopark

1. INTRODUCCIÓN

El Batolito de Abitagua es un cuerpo intrusivo de 120 km de largo y 15 km de ancho (Ruiz, 2002), que se extiende en forma de relieve no volcánico desde el norte, en las cercanías de Cosanga, y hacia el sur en las inmediaciones del poblado de río Negro. Brito Villarroel (1985) menciona que el Batolito de Abitagua es un granito de color rosado y textura típica, además de encontrarse cortado por diques máficos de aplita y adamellita, y diques de composición basáltica que alcanzan los 15 metros de espesor. Dataciones Rubidio-Estroncio indican que la edad del granito se encuentra en 168 – 178 millones de años (Ruiz, 2002), mientras que la datación por Potasio-Argón indican una edad de 171 – 185 millones de años (Brito Villarroel, 1985), lo que corresponden al periodo Jurásico. Chalco *et al.* (2023) analizaron el Batolito de Abitagua mediante modelos sísmicos de velocidades S y P. Los autores determinaron que a partir de la latitud -1.0789 hacia el norte, el batolito buza hacia el oeste, mientras que, hacia el sur, existe un contraste de buzamiento hacia el este, lo que supone una actualización al conocimiento geológico sobre el batolito. Además, los resultados de potencia indican que la profundidad promedio del batolito es de aproximadamente 5 kilómetros, aunque existen zonas al norte del mismo, donde se evidencia un adelgazamiento de casi 2 km, resultando en una profundidad entre 2 a 3 kilómetros.

Las edades y configuración geológico-tectónica del Batolito de Abitagua a escala regional son bien conocidas en literatura (Aspden y Litherland, 1992; Brito Villarroel, 1985; Ruiz, 2002; Spikings *et al.*, 2015), Sin embargo, Carranco *et al.* (2022) mencionan que, durante campañas de cartografía geológica realizadas por el Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador (IIGE), se reportaron diques intrusivos que cortan el Batolito de Abitagua, y que aún no han sido caracterizados en la cordillera de Guacamayos, entre los poblados de Cosanga y Cocodrilos. De igual manera, Vera *et al.* (2023) realizaron un análisis petrográfico macroscópico y microscópico del granito de Abitagua en el geosítio Shunku Rumi, descubriendo rocas monzograníticas y diques de composición diorítica. Sin embargo, ambos autores sugieren la necesidad de una mayor investigación de este y otros geosítios ubicados sobre el Batolito de Abitagua, tales como la Piedra del Gringo, la curva del Tigre o la Laguna Azul. Por otra parte, Aspden *et al.* (1992) mencionan que los batolitos de Zamora, Abitagua y Azafrán son típicos granitoides tipo I que ocurren en la Cordillera de los Andes, y que albergan un amplio rango de SiO₂ y altos valores de Na₂O, además comúnmente contienen

hornblenda. Los autores denotan además que los radios $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de los batolitos de Abitagua y Zamora son similares a los reportados en el batolito de Ibagué en Colombia, por lo que estas formaciones rocosas serían producto de la subducción Jurásica a lo largo del margen paleocontinental del noreste sudamericano (Aspden et al., 1992). De igual manera, un análisis estructural en el geosítio *Shunku Rumi* es requerido para conocer las orientaciones preferentes de las discontinuidades y relacionarlas con fallamientos regionales. Vera et al. (2023) mencionan que *Shunku Rumi* es un afloramiento intrusivo con diferentes rocas, minerales e intrusión de diques y que es un geosítio ideal para realizar un análisis estructural, con el fin de conocer los procesos y mecanismos de intrusión.

El geosítio *Shunku Rumi*, en Kichwa *Shunku* = corazón y *Rumi* = roca, se encuentra dentro del territorio del Napo-Sumaco Aspirante a la Red Mundial de Geoparques de la UNESCO, en la Amazonía ecuatoriana. En un esfuerzo conjunto de los habitantes del territorio por conservar el patrimonio geológico en una forma sostenible, promoviendo la educación, investigación científica y el geoturismo (Vera et al., 2023). Uno de los criterios de un geoparque, es que deben emplear el patrimonio geológico en conexión con el patrimonio natural y cultural para promover la conciencia de los problemas sociales que existen. Además, se debe promover el desarrollo del conocimiento y la comprensión de los geo-procesos, riesgos geológicos, cambio climático, la necesidad del uso sostenible de los recursos y el empoderamiento de los pueblos originarios sobre su territorio (UNESCO, 2015). En este sentido, el presente trabajo se orienta a entender la configuración estructural, mecanismos de emplazamiento, variación geoquímica y petrográfica del Batolito de Abitagua (Granito de Abitagua) en el geosítio *Shunku Rumi*, con el fin de generar información útil para la divulgación del conocimiento científico, que servirá como insumo teórico y técnico para los procesos educativos y de geoturismo dentro del contexto del Geoparque Napo Sumaco.

1.1 Geosítio Shunku Rumi

Shunku Rumi es uno de los 18 geosítios dentro de los límites del Aspirante a Geoparque Napo Sumaco. Se ubica dentro del cantón Archidona, provincia de Napo, Ecuador, en las coordenadas 186047 Este, 9931503 Sur (WGS 84, Zona 18 Sur). Afloramientos de rocas granitoides se observan a lo largo de la vía E45 (La Virgen de Guacamayos hasta Cocodrilos), que conduce las poblaciones de Tena con la capital Quito (Figura 1-1). Actualmente, *Shunku Rumi* es un afloramiento de origen antrópico, producto de una

excavación para realizar arreglos en bermas y taludes para estabilización de laderas y evitar fenómenos de remoción en masa que son comunes en esta zona (El Comercio, 2009). De este modo, la excavación pone en evidencia afloramientos típicos de roca granítica y diques de coloración gris oscuro.

Shunku Rumi se ubica a 2150 m.s.n.m sobre la cordillera de Guacamayos, un cinturón montañoso al oriente de la Cordillera Real. La temperatura promedio en la zona es de 24° C y los picos de precipitación durante los meses de junio, julio y agosto alcanzan los 4000 a 5000 mm anuales (Alcaldía de Archidona, 2014).

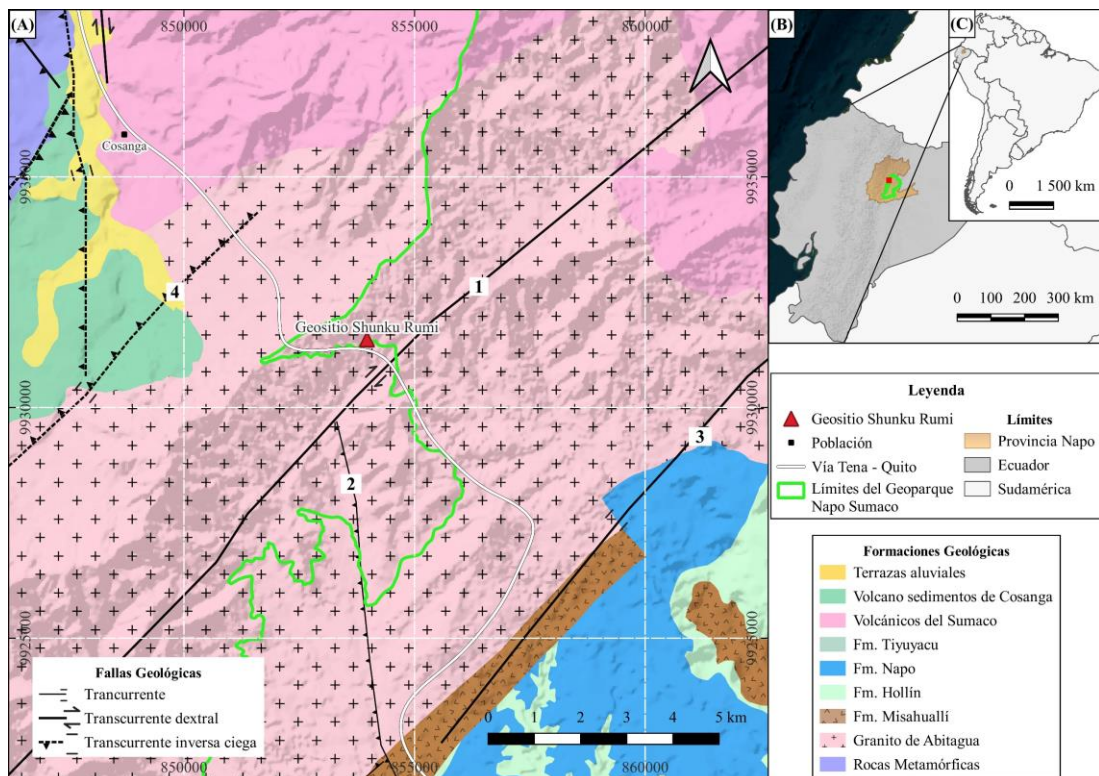


Figura 1-1: Mapa geológico y de ubicación del Geositio *Shunku Rumi* (triángulo rojo) dentro de los límites del Geoparque Napo Sumaco.

Realizado por: Saida Huatatocha

(A) Formaciones geológicas alrededor de Shunku Rumi, el geositio se ubica sobre el Batolito de Abitagua o Granito (color rosa con cruces). (1) falla río Urcusique, (2) falla Jondachi, (3) falla Sumaco y (4) falla Guacamayos. (B) Mapa de ubicación a nivel de Ecuador, el polígono marrón representa la provincia de Napo y el polígono color rojo el área de estudio. (C) Ubicación de la zona de estudio de Sudamérica.

1.2 Contexto Geológico

De oeste a este, el Ecuador se divide en 6 regiones morfo-tectónicas a saber: Planicie costera, Cordillera Occidental, región Interandina, Cordillera Oriental, Zona Subandina y Cuenca Oriente (Aspden & Litherland, 1992). La zona de estudio se ubica en la parte norte de la Zona Subandina, en el piedemonte este de los Andes ecuatorianos. Esta región es de 250 km de largo y 60 km de ancho (Batolito de Abitagua y Zamora) y está limitada al este por rocas deformadas por fallas inversas de la Cordillera Real, y hacia el este por la cuenca Oriente (Ruiz, 2002). De norte a sur, la Zona Subandina se divide en 3 zonas morfológicas distintas: el Levantamiento Napo, la Depresión Pastaza y la cordillera del Cutucú. El levantamiento Napo es un domo alargado con orientación NE-SO, limitado al este y oeste por fallas transpresivas (Baby et al., 2004). La mayoría de las fallas presentes en la zona Subandina son antiguas fallas normales invertidas, las cuales dominaron procesos de sedimentación durante el Triásico y Jurásico (Baby et al., 2004).

Respecto a la geología estructural alrededor de la zona de estudio, se ubica la falla río Urcusique, una falla transcurrente dextral del cuaternario (Global Earthquake Model, 2015). La falla Jondachi, de cinemática inversa es del periodo cuaternario (Global Earthquake Model, 2015). La falla cuaternaria Sumaco forma el borde este del Levantamiento Napo y deforma el flanco este del volcán Sumaco. La falla tiene una longitud de 38.8 km, rumbo N13°E, buza hacia el oeste y el sentido de movimiento es inverso (Eguez et al., 2003). Por último, la falla Huacamayos se extiende a lo largo y oblicuamente del sistema subandino, hacia rocas metamórficas de la Cordillera Real. Tiene una longitud de 39.6 km, de rumbo N36°E y buzamiento desconocido. La cinemática es dextral caracterizada en superficie como una traza recta que indica un movimiento strike-slip (Eguez et al., 2003). Las fallas geológicas que se presentan en el Levantamiento Subandino Napo, se disponen en sentido NE-SO y son limitadas al Este y Oeste por fallas regionales transpresivas que exponen secuencias sedimentarias y un arco volcánico de edad Jurásica.

Las principales formaciones geológicas alrededor del área de estudio son el Batolito de Abitagua, la formación Misahuallí, depósitos volcano-sedimentarios de Cosanga y depósitos volcánicos del Sumaco (Figura 1-1). El Batolito de Abitagua de cristalización Jurásica Media, se correlaciona con otros importantes cuerpos plutónicos calco-alcalinos en posiciones Subandinas, el Batolito de Zamora al sur y el Batolito Rosa

Florida al norte, cerca de la frontera con Colombia. Contactos fallados del Batolito con la Formación Misahuallí y otros sedimentos del Cenozoico en la cuenca Oriente, sugieren que el emplazamiento del Batolito hasta su estado final fue impulsado por un tectonismo activo desde el período Cretácico hasta el presente (Spikings et al., 2015).

Los afloramientos de la Formación Misahuallí solo se presentan en la Zona Subandina, se componen de acumulaciones volcánicas que forman parte del inmenso arco volcánico que se extiende desde el norte de Perú hasta el norte de Colombia, además se asocia con actividad tectónica del Jurásico como la parte efusiva del Batolito de Abitagua (Baby et al., 2004). Esta formación se compone de una rica asociación de litologías que van desde toba volcánica, lavas traquíticas, tobas riolíticas soldadas, andesitas, dacitas y brechas tobáceas. Dataciones recientes atribuyen una edad del Jurásico Tardío-Cretácico Temprano para Fm. Misahuallí (Ruiz, 2002).

Alrededor de la zona de estudio, además afloran los depósitos volcano-sedimentarios de Cosanga, los cuales se componen de lahares, arcillas, limo y aglomerados del cuaternario, con una permeabilidad media y alta, y porosidad intergranular (Duque et al., 2015). Además, los depósitos volcánicos del Sumaco y Pan de Azúcar se componen de avalanchas de escombros, andesitas piroxénicas, basaltos, brechas y lahares del Terciario (Duque et al., 2015).

2. METODOLOGÍA

2.1 Levantamiento Geológico

Se realizó el levantamiento de información geológica en el geosítio *Shunku Rumi* a una escala 1: 3.000, empleando la metodología del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE, 2019) y muestreo estratégico. En campo, se procedió a clasificar las bermas del afloramiento de forma ascendente, se identificaron 11 bermas (Figura 2-1). Pasando una berma se determinaron los siguientes parámetros: ubicación del afloramiento mediante un GPS Garmin y mapa de topografía. Se realizó un esquema de la sección transversal del afloramiento, un registro de elementos geológicos mediante tablas de clasificación de rocas, un registro de la disposición espacial y características de cada una de las unidades litológicas observadas en el afloramiento, descripción visual de minerales primarios y secundarios, grado de meteorización, coloración, textura y tipo de roca. Se realizó un levantamiento de estructuras geológicas mediante el uso de brújula geológica Brunton, se determinaron el rumbo y buzamiento de fallas, cizallas, diaclasas, diques, vetas, entre otros, Además, se realizó un levantamiento fotogramétrico con dron DJI Phantom 4 Pro, dotado de una cámara de 20 megapíxeles y altura de vuelo máxima de 500 m, para obtener la fotografía de la Figura 2-1.



Figura 2-1: Geosítio *Shunku Rumi*. Fotografía del afloramiento estudiado.
Realizado por: Saida Huatoca

Letras en azul indican las bermas identificadas durante el levantamiento de información geológica, los puntos y códigos en rojo indican los sitios de muestreo. Escala en la parte inferior derecha. Tonalidades blanquesinas-beige corresponden a la roca de caja y las tonalidades verde pardoso-café a los diques.

2.2 Recolección de muestras

Mediante el uso de un GPS Garmin y un mapa de topografía se designaron puntos para la toma de muestras en las siguientes bermas clasificadas: B1, B2, B4, B6, B8 y B11. Se recolectó un total de 23 muestras de 1 kg de peso de rocas intrusivas, que corresponden a diques, diaclasas y vetillas. Para el muestreo de rocas se utilizó un martillo geológico, bolsas plásticas y marcadores para el etiquetado. La recopilación de información geológica se realizó mediante fichas de campo que contiene un registro de elementos geológicos, tablas de clasificación de rocas, un registro de la disposición espacial y características de cada una de las unidades litológicas observadas en el afloramiento, descripción visual de minerales primarios y secundarios, grado de meteorización, coloración, textura y tipo de roca. Las muestras se describieron macroscópicamente, y se realizaron posteriores análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX), Difracción de Rayos X (DRX), Absorción Atómica (AA) y láminas delgadas; para identificar elementos mayores y trazas, fases minerales y descripción microscópica, respectivamente.

2.3 Recolección de datos estructurales

Para coleccionar la información estructural fue necesario contar con un mapa geológico del geosítio *Shunku Rumi*, fichas de campo, un GPS, una brújula geológica, flexómetro y un martillo geológico. En el campo, se procedió identificar los tipos de estructuras geológicas como diaclasas, fracturas, microfracturas y diques. Una vez identificado la estructura, se procedió a buscar planos donde colocar la brújula y tomar las lecturas de rumbo y buzamiento.

2.4 Preparación de muestras

2.4.1 Elaboración de láminas delgadas

Para la elaboración de láminas delgadas, se seleccionaron 16 muestras de roca a saber: B1P2, B1P3, B1P4, B1P5, B1P6, B1P7, B2P1, B2P4, B2P6, B2P7, B4P2, B4P5, B4P6,

B6P2, B6P3, B11P1. La selección de muestras se basó en tres criterios: 1) selección de muestras representativas de rocas no meteorizadas, 2) identificación visual de tipos de rocas y 3) textura cristalina de las muestras.

Las 16 muestras de rocas fueron enviados al “Laboratorio de Láminas delgadas, separador magnético y minerales pesados” de la Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay, siguiendo una metodología adecuada (IIGE, 2022) de preparación de láminas delgadas de cada una de las muestras de rocas, hasta obtener laminas que alcancen 30 micras y sean aptas para ser analizada en el microscopio petrográfica.

2.4.2 Conminución de muestras

17 muestras fueron seleccionadas para realizar los análisis geoquímicos, estas fueron: B1P6, B4P2, B1P5, B1P2, B1P3, B1P7, B2P1, B2P3, B2P3, B4P6, B2B7, B2P3, B4P5, B6P2, B2P4, B8P3, B2P6, B6P3 y B11P1. Las muestras fueron tratadas en el “Laboratorio de Láminas delgadas, separador magnético y minerales pesados” de la Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay.

Posteriormente, las muestras fueron cortadas usando la cortadora de precisión *SystemAbele* hasta obtener chips de roca de 100 gramos. Luego, los chips de roca fueron procesados en la Escuela Politécnica Nacional, con el fin de pulverizarlos en molinos de disco vibratorio hasta obtener una granulometría bajo la malla N° 200, es decir 75 micrómetros de diámetro. La pulverización consiste en extraer la humedad de las muestras de roca en estufas de convección a una temperatura de 50°C, durante 1-3 días, en función del contenido de humedad determinado previamente. Después, se realizó el triturado de las muestras, en donde se reduce el tamaño de las mismas empleando una trituradora de mandíbulas y un molino de discos. Finalmente, se somete a la muestra procesada a los procesos de homogenización y cuarteo (IIGE, 2022).

2.5 Descripción Macroscópica

Las 23 muestras de roca recolectadas en campo fueron descritas considerando las principales características de las rocas: color, textura, composición mineral, cristalinidad y tamaño de grano. Para describir la muestra de mano se utilizó una lupa, microscopio

binocular y rayador con punta de carburo tungsteno con el fin de clasificar las rocas mediante el diagrama de Streckeisen 1976.

Tabla 2-1: Descripción de las principales características macroscópicas de las muestras.

Tipo de Roca	Textura	Tipo de Alteración Hipogénica	Intensidad de la Alteración Hipogénica	Alteración Supergénica	Tipo de Muestreo
Ígnea intrusiva	Porfírica	Potásica	Débil	Débil	De canal continuo
Ígnea Hipoavisal	Fanerítica	Propilítica	Moderada	Moderada	Chips
Ígnea extrusiva	Afanítica	Fílica Argílica Avanzada Carbonatización Silicificación	Fuerte	Fuerte	Muestreo puntual

Elaborado por: Saida Huatatoa.

2.6 Descripción Microscópica

El análisis se llevó a cabo en el Laboratorio de enseñanza de suelos de la URAI mediante el uso del microscopio petrográfico de marca: ZEISS; modelo: Primotech T/R MAT. La identificación de los minerales principales, secundarios y de alteración se realizó mediante la observación de las láminas delgadas de cada una de las muestras, con la luz polarizada no analizada (LPNA) y luz polarizada analizada (LPA). Empleando el objetivo N°5X se observó la mineralogía de las muestras. Para determinar e identificar los minerales presentes se basó en las siguientes características de descripción de láminas delgadas: forma de cristales, relieve, hábito, color, pleocroísmo, exfoliación, colores de interferencia, ángulo de extinción y maclas (Castro-Dorado, 2015). Información que fue recopilada mediante fichas de descripción de láminas delgadas, etiquetadas y recalculadas el % de minerales principales para determinar el tipo de roca mediante el diagrama de Streckeisen.

2.7 Descripción de métodos químicos

2.7.1 Fluorescencia de Rayos X

Para este análisis se utilizaron 17 muestras de rocas pulverizadas que a continuación se detalla: B1P6, B4P2, B1P5, B1P2, B1P3, B1P7, B2P1, B2P3, B4P6, B2P7, B4P5, B6P2, B2P4, B8P3, B2P6, B6P3, B11P1. A través de la técnica FRX se obtuvo la

composición química elemental. Las muestras se analizaron con el espectrómetro portátil de fluorescencia de rayos X marca Bruker S1 Titan 600, en las instalaciones de la Universidad Regional Amazónica Ikiám. Las lecturas se realizaron a 40 kV y 6 μ A con un filtro de Al/Ti. Se analizó una cantidad de 6 g por muestra, cada muestra se leyó por triplicado durante 60 s. Las muestras se colocaron en copas de muestra de 32 mm y se cubrieron con una película fina de polipropileno Prolene de 4 μ m, cada copa se aseguró con un anillo de sellado. El espectrómetro se colocó en un soporte de sobremesa sobre el que se colocaron las copas con las muestras para hacer las mediciones. Para cada una de las muestras se determinaron las concentraciones promedio en ppm, estas se transformaron a porcentaje y posteriormente se obtuvo el valor de los compuestos como óxidos. Con los resultados se realizó un análisis en el software libre IOGAS que consiste en cargar los datos de las concentraciones en porcentajes al programa, verificando que todos los datos se hayan cargado correctamente que permita graficar, aplicando los íconos de Diagrama TAS y AFM.

2.7.2 Difracción de Rayos X

Se usaron 17 muestras de rocas pulverizadas: B1P2, B1P3, B1P5, B1P6, B1P7, B2P1, B2P3, B2P4, B2P6, B2P7, B4P2, B4P5, B4P6, B6P2, B6P3, B8P3, B11P1 para el análisis DRX, con el fin de determinar los componentes de minerales, el porcentaje de cristalinidad utilizando el Difractómetro de rayos X Rigaku Miniflex 600, en las instalaciones de la Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay. Este método consiste en colocar 5mg de muestra pulverizada en el porta-muestras con la ayuda de una espátula y un portaobjetos, posteriormente introducir en el equipo. La interpretación cualitativa y cuantitativa se realizó en el software libre Match, utilizando y consultado la base de datos proporcionados por el software como es el COD-Inorgánico. Técnicamente, se eliminaron las dos primeras filas del archivo de texto llamado "DRX_ZM_23_0147", para posteriormente transformarlo en un formato compatible con el software Match, el cual importa datos de DRX para establecer longitudes de onda de diferentes elementos. Luego, seleccionar los picos más característicos, suavizando patrones, creando fondo, verificando la intensidad, posteriormente se seleccionó las fases minerales con más alta FoM (Figura de Merito). Una vez terminado el análisis cualitativo, se aplicó el método Derivación Directa (DD) de Toraya (2018) para realizar el análisis cuantitativo, la cual permite identificar fases existentes, una vez encontrada los valores de las fases son reemplazados por los nuevos valores de DD de Toraya. El análisis de fase se basa en la composición conocida

y las intensidades máximas integradas de las fases. Finalmente se obtuvo la gráfica y valores de los minerales de las muestras analizadas.

2.7.3 Absorción Atómica

El único elemento determinado mediante la técnica de Absorción Atómica para todas las muestras fue el sodio. Para ello se enviaron las muestras al Laboratorio de Secciones Delgadas, Separador Magnético y Minerales Pesados de la Universidad de Investigación en Tecnología Experimental Yachay. Se empleó un Espectrofotómetro de Absorción Atómica CONTRAA 700. Los resultados de la concentración de sodio se añadieron y procesaron en conjunto con los resultados de FRX.

2.8 Análisis estructural

A partir de la lectura de los datos estructurales se generaron tres estereogramas empleando el software Dips, que corresponden a la representación de los planos de diaclasas, diques y fallas. Estos diagramas se fundamentaron en los datos de azimut de buzamiento y buzamiento real. A través de los estereogramas se identificaron las direcciones preferenciales de los diques, diaclasas y fallas, con el fin de correlacionarlas con zonas de falla a nivel regional.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El afloramiento en el geositio *Shunku Rumi* consiste en un talud de excavación de aproximadamente 215 metros de largo y 110 metros de alto. Se compone de 12 bermas situados a diferentes alturas que estabilizan la ladera rocosa. Se pudo comprobar la geología local en el área, la cual consiste en rocas ígneas intrusivas como monzogranito (roca de caja) meteorizado y sano, intrusiones dioríticas y aplíticas en menor medida (Ver Figura 2-1). Al oeste, centro y parte este del afloramiento, las rocas han sufrido una leve alteración por meteorización, todo lo contrario, en los extremos del talud, donde se visualiza una muy alta meteorización de las rocas producto de continuos flujos de agua en los extremos izquierdo y derecho del talud.

3.1 Descripción macroscópica de rocas

En el afloramiento asociado al Granito de Abitagua en el geositio *Shunku Rumi* se encontraron las rocas descritas en la Tabla 3-1. La roca de caja corresponde a un cuerpo intrusivo de tipo monzogranítico (muestras: B1P6, B6P1), los diques son de composición diorítica (muestras B1P3 - B1P5, B1P7 – B2P4, B2P7, B4P2 – B4P4, B4P6, B6P2 – B11P1). Además, se describieron rocas que corresponden a intrusiones aplíticas (B2P6, B4P5) y granodioritas (B1P2, B2P8). En la Tabla 3-1 se describen las principales características macroscópicas de las muestras de roca recolectadas durante el trabajo de campo.

Tabla 3-1: Detalle de las características macroscópicas de las muestras de roca.

Código	Tipo de roca	Textura	TM (grado)	Tipo Muestreo	MP (%)	MS	Tipo de Roca (DS)
B1P2	Intrusiva	Porfirítica (Equigranular)	Supergénica (fuerte)	Puntual	Pl (28%), Fsp (28%), Qz (30%) Am, Bt Qz (3%), Pl		Granodiorita
B1P3	Hipoabisal	Porfídica	Química (débil)	Chips	Pl (48%), Fsp (2%), Am, Bt Qz (2%), Pl	Py	Diorita
B1P4	Hipoabisal	Fanerítica	NO	Chips	(48%), Fsp (4%), Am, Bt	Py	Diorita

					(10%), Ep, Bt		
B4P6	Hipoabisal	Porfídica	Química (moderada)	Chips	Qz (1%), Pl (50%), Fsp (4%) Am Qz (35%), Fsp (25%), Pl (25%), Bt, Am Qz (2%), Pl	Py	Diorita
B6P1	Intrusiva	Equigranular, Fanerítica	Química (moderada)	Puntual	(48%), Fsp (5%), Am, Bt Qz (2%), Pl		Monzogranito
B6P2	Hipoabisal	Porfídica	Hipogénico (débil)	Puntual	(50%), Fsp (3%), Hbl, Bt, Am Qz (2%), Pl	Px	Diorita
B6P3	Hipoabisal	Porfídica	Química (débil)	Puntual	(48%), Fsp (5%), Am, Bt Qz (5%), Fsp	Py	Diorita
B8P3	Hipoabisal	Porfídica	Hipogénico (fuerte)	Puntual	(5%), Pl (47%), Am Qz (4%), Pl	Px	Diorita
B8P5 - B8P1	Hipoabisal	Porfídica	Química (débil)	Puntual	(50%), Fsp (3%), Am, Bt	Px	Diorita
B11P1	Hipoabisal	Porfirítica	NO	Puntual			

TAH = tipo de alteración hipogénica, TM = tipo de meteorización, MP = minerales primarios, MS = minerales secundarios, DS = Diagrama de Streckeisen.

Elaborado por: Saida Huatatoa.

El análisis mineralógico de la muestra B1P2 y B1P6 mostró cristales de grano grueso que miden de 1 a 10 mm para las plagioclasas, 1 a 4 mm para feldespatos y de 2 a 4 mm para granos de cuarzo. Tamaños de grano fino de 1 mm de diámetro se encontraron en la muestra B1P3. Granos de Pl menores a 5 mm y Qz menores a 2 mm se obtuvieron de la muestra B1P5. En la muestra B1P7, las plagioclasas mostraron un tamaño de grano de 1 a 5 mm y el cuarzo tamaño menor a 1 mm. Las muestras B2P4 y B2P7, las plagioclasas mostraron tamaños de grano menores a 2 mm y tamaños de grano menor a 1 mm para el cuarzo. Se encontró tamaños de grano de plagioclasa de entre 1 a 6 mm en la muestra B2P8. En la muestra B4P2 se encontraron tamaños menores a 5 mm para la plagioclasa y menores a 2 mm para el cuarzo. Las hornblendas de la muestra B4P3 mostraron tamaños de grano entre 1 a 3 mm.

Por el contrario, B4P3 mostró tamaños de grano entre 1 a 3 mm para la hornblenda. En las muestras B4P2, B4P4, B4P6 se hallaron cristales de plagioclasa con tamaño menor a 5 mm y 2 mm, respectivamente. La muestra B4P3 muestra láminas de hornblenda de 1 a 3 mm de diámetro. La muestra B4P5 indica una textura fanerítica con granos finos de hasta 1 mm.

A diferencia del tamaño de grano de las anteriores muestras, la muestra B6P1 presentó fenocristales de plagioclasa de 10 mm y cuarzo de hasta 8 mm de diámetro. La muestra B6P2 mostró cristales de plagioclasa de 2 a 6 mm, los cuales tenían un desgaste superficial. La muestra B6P3 contenía granos minerales finos a pequeños, con presencia de pirita. En la berma 8, la muestra B8P5 – B8P1 mostró una textura porfírica con dominancia de plagioclasa de grano medio, menor a 4 mm. En el último dique, se hallaron plagioclasas menores a 5 mm de diámetro.

Carranco *et al.* (2022) mencionan que, en la Cordillera de Guacamayos, el Batolito de Abitagua es cortado por una serie de diques dioríticos de textura porfírica. En este estudio, el 82% de las muestras de roca tienen una textura porfídica, equigranular con tamaño de grano medio a grueso. De igual manera, Ruiz (2002) indican que el Batolito de Abitagua se compone de monzogranitos de biotita de grano medio a grueso, además se han reportado granitos de feldespato potásico con biotita mega-cristalina.

3.2 Descripción microscópica de rocas

Mediante el análisis petrográfico a detalle de las 16 muestras de rocas en laminas delgadas se determinó cuatro tipos: diorita, aplita, granodiorita y monzogranito (Tabla 3-2).

Tabla 3-2: Resultados del análisis petrográfico para 16 muestras de roca del Geosítio Shunku Rumi.

Código Muestra	Clasificación Streckeisen	Minerales		
		Principales	Secundarios	Alteración
B1P2	Granodiorita	Cuarzo, plagioclasa, ortoclasa	Biotita, hornblenda, opacos	Clorita
B1P3	Diorita	Cuarzo, plagioclasa	Biotita, opacos	Clorita
B1P4	Diorita	Plagioclasa, cuarzo	Calcita, opaco, biotita	Clorita, epidota
B1P5	Diorita	Plagioclasa, cuarzo	Piroxeno, opacos	Clorita, epidota, sericita
B1P6	Monzogranito	Plagioclasa, ortoclasa, cuarzo	Opacos	Epidota, sericita, clorita
B1P7	Diorita	Cuarzo, plagioclasa	Moscovita, opacos, biotita	Epidota, clorita
B2P1	Diorita	Plagioclasa	Calcita, opacos	Epidota, clorita
B2P4	Diorita	Plagioclasa, cuarzo	Calcita, opaco	Epidota, clorita
B2P6	Aplita	Cuarzo, feldespatos, plagioclasa	Opacos	Epidota, clorita
B2P7	Diorita	Plagioclasa, cuarzo	Opaco	Epidota, clorita
B4P2	Diorita	Plagioclasa, Cuarzo	Augita, opacos,	Clorita, sericita
B4P5	Aplita	Cuarzo, plagioclasa, ortoclasa	Biotita, opacos	Epidota, clorita
B4P6	Diorita	Plagioclasa, Cuarzo	Moscovita, opacos	Clorita
B6P2	Diorita	Plagioclasa, Cuarzo, Feldespato	Hornblenda, piroxeno	Clorita
B6P3	Diorita	Plagioclasas, cuarzo	Calcita, opacos, moscovita, hornblenda	Clorita
B11P1	Diorita	Plagioclasa, ortoclasa, cuarzo	Piroxeno, Augita, Moscovita, opacos	Clorita

Elaborado por: Saida Huatatoca.

De acuerdo al análisis petrográfico se pueden identificar minerales que corresponden al tipo de alteración hidrotermal propilítica, de acuerdo a la clasificación de Meyer y Hemley (1967). La alteración propilítica se caracteriza por presentar epidota ± clorita ± sericita ± piritita ± cuarzo ± albita ± hematita ± calcita ± allanita (Vera Burau, 2016). Mendoza (2015) menciona que las gravas que conforman las terrazas aluviales en la concesión El Icho, a orillas del río Jatunyacu, corresponden a rocas volcánicas e intrusivas con evidente alteración propilítica: clorita ± calcita ± epidota. Sin embargo, Jatunyacu arrastra rocas y sedimentos provenientes de una zona diferenciada del Batolito de Abitagua con respecto a la zona de estudio, por lo tanto, estas rocas con alteración propilítica no están directamente relacionados con las muestras rocas del afloramiento *Shunku Rumi*.

En la Figura 3-1 muestran las láminas delgadas en nicols cruzados (XPL) y paralelos (PPL) de tres tipos de rocas determinados en el geosítio *Shunku Rumi*.

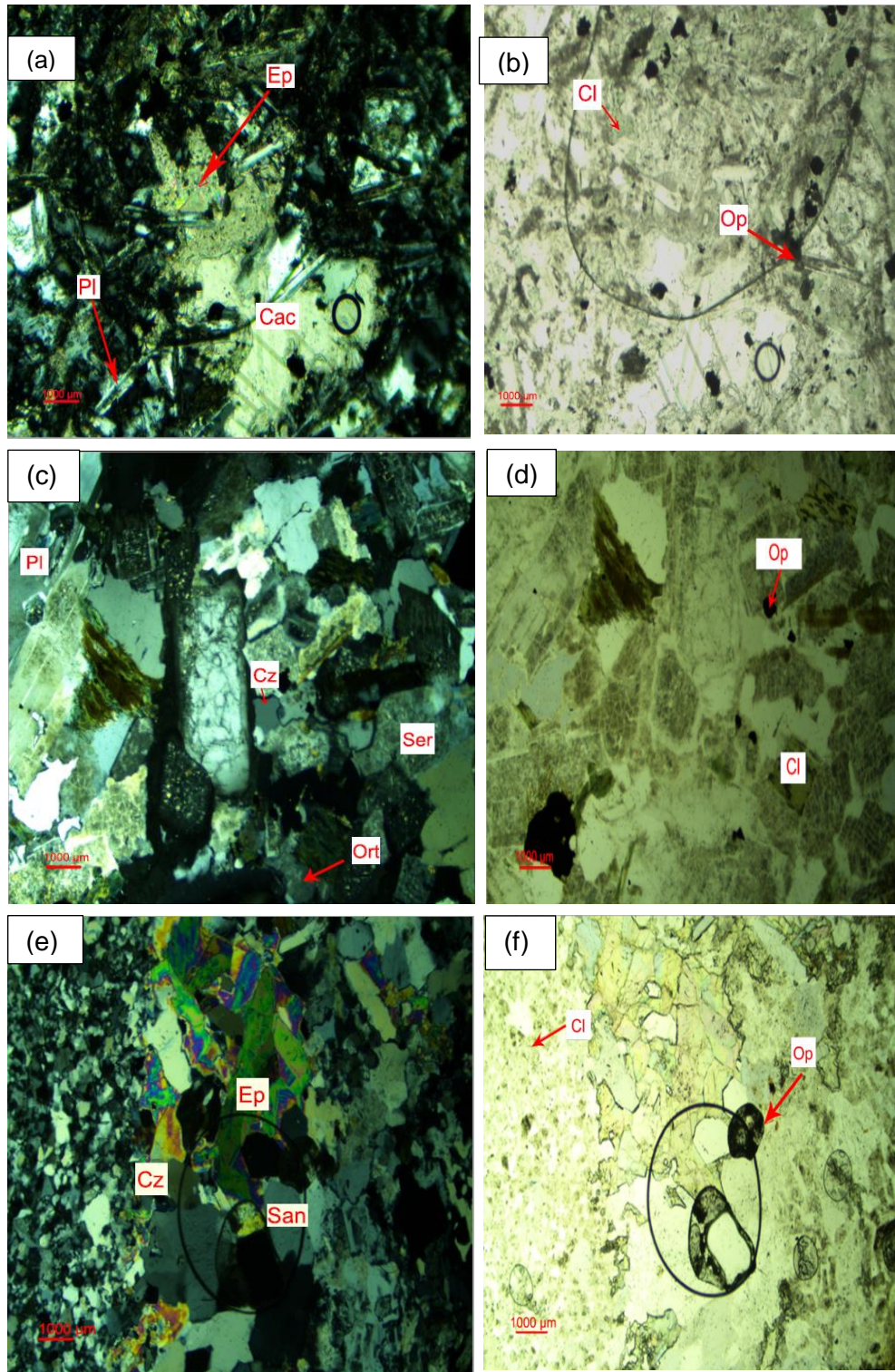


Figura 3-1: Análisis petrográfico de lámina delgada para las muestras B1P4, B1P6 y B2P6.
Realizado por: Saida Huatatoa

(a) Muestra de Diorita (XPL). (b) Diorita (PPL). (c) Monzogranito (XPL). (d) Monzogranito (PPL). (e) Intrusión aplítica (XPL). (f) Intrusión aplítica (PPL). Abreviaturas minerales Ep: epidota, Pl: plagioclasa, Cac: Calcita, Cl: clorita, Op: opacos, Cz: cuarzo, Ort: ortoclasa, Ser: sericita, San: sanidina

La Figura 3-1 muestra 3 tipos de rocas intrusivas, que a continuación se describe sus principales características. La roca diorita (Figura 3-1 a-b) de origen ígneo, hipoabisal está compuesta principalmente por plagioclasas con un (48%), cuarzo (2%), calcita (20%) y opacos (5%). Minerales de alteración clorita y epidota suman el 25 % del total de la muestra. Presenta una textura fanerítica, equigranular, con cristales euhedrales y anhedrales con tamaños de 0.33 mm a 5 mm.

El monzogranito (Figura 3-1 c-d) está constituido principalmente de minerales plagioclasas (28%), feldespatos potásicos (25 %), cuarzo (20 %), clorita (9%), opacos (5%) y en menor proporción minerales de alteración clorita y sericita. Generando un 100 % de cristales, con tamaños de granos 1mm a 9mm, con textura faneríticas e inequigranulares y forma anhedrales y, euhedrales. La roca aplita (Figura 3-1 e-f) de origen ígneo plutónico está compuesta principalmente por los feldespatos alcalinos (50%), cuarzo (20%) y en una menor proporción de plagioclasas (5%) y opacos (2%), además de contener minerales de alteración de epidotas y cloritas en un total de (35%). Contiene una textura inequigranular, forma anhedral, euhedral y xenomorfo, con tamaño de grano aproximado de 0 mm a 5 mm y 100 % cristalino.

Los resultados del análisis petrográfico a nivel microscópico indican que el 76,46% de las muestras analizadas se clasifican como dioritas de acuerdo al diagrama Streckeisen. En menor proporción se encontró una intrusión aplítica con 11.76%, monzogranito con 5.86% y granodiorita con 5.86% del total de las muestras. Las muestras se componen de cuarzo, plagioclasa y ortoclasa como minerales principales. Además, se encontraron minerales secundarios como calcita, moscovita y minerales opacos. En este sentido, un análisis de granitos entre Papallacta y Oyacachi realizado por Aspden *et al.* (1992), menciona que la moscovita es ampliamente común en las rocas graníticas de esta zona. Además menciona que los procesos de alteración mineral incluyen la formación de epidota, alteración de feldespatos para formar sericita-zoisita, la recristalización y/o cloritización de la biotita (Aspden et al., 1992). En este sentido, en todas las muestras analizadas se encontró la mineral clorita, seguido de la epidota que estuvo presente en las muestras B1P4, B1P5, B1P6, B1P7, B2P1, B2P4, B2P6, B2P7 y B4P5. Se determinó sericita solamente en las muestras B1P5 y B1P6.

Carranco *et al.* (2022) menciona que los diques de composición diorítica que cortan el Batolito de Abitagua se componen de fenocristales de plagioclasa ± hornblenda ± actinolita ± clinopiroxeno ± epidota ± clorita. En este estudio, en todas las muestras de roca clasificadas como dioritas se hallaron mayoritariamente los minerales plagioclasa, epidota y clorita. Por otra parte, las aplitas se componen de plagioclasa ± cuarzo ± microclina ± hornblenda ± biotita. En las muestras de roca aplita de este estudio, se encontró mayormente los minerales plagioclasa, cuarzo y clorita, este último mineral como producto de la cloritización de la biotita.

Quandt *et al.* (2018) describieron la geoquímica de los cuerpos ígneos jurásicos de la Sierra Nevada de Santa Marta asociándolos a otros batolitos que se extienden desde Colombia hasta el norte de Bolivia. Los investigadores mencionan que las rocas máficas como dioritas, cuarzo-dioritas y monzodioritas tienen texturas porfíricas. Además, el ensamblaje de fenocristales se compone principalmente de plagioclasas, hornblenda y/o piroxeno, pero en muchos casos los fenocristales son reemplazados por epidota y clorita. Esta sería una de las razones por las cuales se encontraron estos minerales de alteración en todas las muestras de roca analizadas.

Los minerales de alteración que ocurren en batolitos plutónicos pueden incluir arcilla, clorita y calcita (Carrasco *et al.*, 2023). Durante el análisis petrográfico se encontró calcita en las muestras B1P4, B2P1, B2P4 y B6P3, aunque estos forman parte de los minerales secundarios, y no de alteración.

3.3 Difractometría de Rayos – X

El análisis de difracción de rayos X (DRX), permitió identificar minerales comunes en las muestras de roca, la mayoría pertenecientes al grupo de los silicatos como el cuarzo, albita, anortoclasa, ortoclasa, biotita, sanidina, epidota, andesina, bitownita, labradorita, augita, riebeckita, moscovita, illita, actinolita, oligoclasa, enstatita, piroxeno y diópsido. De igual manera, se identificó el óxido magnetita. Los minerales identificados se resumen en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Concentraciones en % de los distintos minerales que constituyen las muestras de roca estudiadas del Geositio Shunku Rumi.

Minerales	Código de las muestras																
	B1P2	B1P3	B1P5	B1P6	B1P7	B2P1	B2P3	B2P4	B2P6	B2P7	B4P2	B4P5	B4P6	B6P2	B6P3	B8P3	B11P1
Cuarzo (%)	28.6	20.6	18.2	20.3	12.8	11.7	3.3	18.9	52	19.5	15	43.2	15.1	14.7	17.3	4.1	16.2
Anortoclasa (%)									21.3								
Ortoclasa (%)	25.2			8.9								28.7					
Biotita (%)	2.3				9.8												
Albita (%)	50.9	56.6		35	13.1				26.1			28.1					12.1
Sanidina (%)				10													
Epidota (%)					12.5				0.6								24.4
Chamosita (%)		22.2	15.3			20.5	22.2	48.2		24.3	40.6		21.8	10.8	66.4	17.1	
Andesina (%)													63.1				54.4
Bytownita (%)						48.8	49.6	32.9							16.2		
Labradorita (%)											36.6			56.4			
Augita (%)											7.8						
Riebeckita (%)							25										
Muscovita (%)		4.6		20													
Magnetita (%)										3.8							
Ilita (%)														14.5			
Actinolita (%)				5.5		19								3.6			
Oligoclasa (%)			50		52.3					52.4							33.3
Enstatita (%)																	27
Piroxeno (%)																	11.3
Diopsido (%)			16.5														

Elaborado por: Saida Huatatoca.

De acuerdo a la Tabla 3-3, el mineral con 100% de presencia en todas las muestras fue el cuarzo, la chamosita estuvo presente en el 70% de las muestras, la albita se presentó en 41% de las muestras y la bytownita estuvo presente en 24% de las muestras. La Bitownita es una plagioclasa de composición cálcica (Salgado, 2019).

La muestra B1P2 (granodiorita) contiene un poco más del 50% en concentración de albita, seguido cuarzo, ortoclasa y en menor concentración biotita. Esto concuerda con la descripción macroscópica de la muestra donde se reportó como minerales principales y secundarios los anteriormente descritos. De forma similar, la muestra B1P3 (diorita) mostró una concentración de más del 56% de albita, un 22% de chamosita, 20% de cuarzo y menos del 5% de moscovita. A diferencia de la muestra anterior, se evidencia un ligero incremento de albita y un decremento de cuarzo, esto demuestra la diferenciación hacia el rango de diorita (Castro-Dorado, 2015). En la muestra B1P5 (diorita) se muestra la concentración de 50% de oligoclasa, cuarzo, diópsido y chamosita. La oligoclasa forma parte de la serie de las plagioclasas y contiene una menor proporción de sodio que la albita (Laves, 1954). Bustamante *et al.* (2016) menciona que el diópsido está rodeado localmente por anfíbol cálcico en el Batolito de Ibagué, el cual Quandt *et al.* (2018) relaciona geoquímicamente con el Batolito de Abitagua.

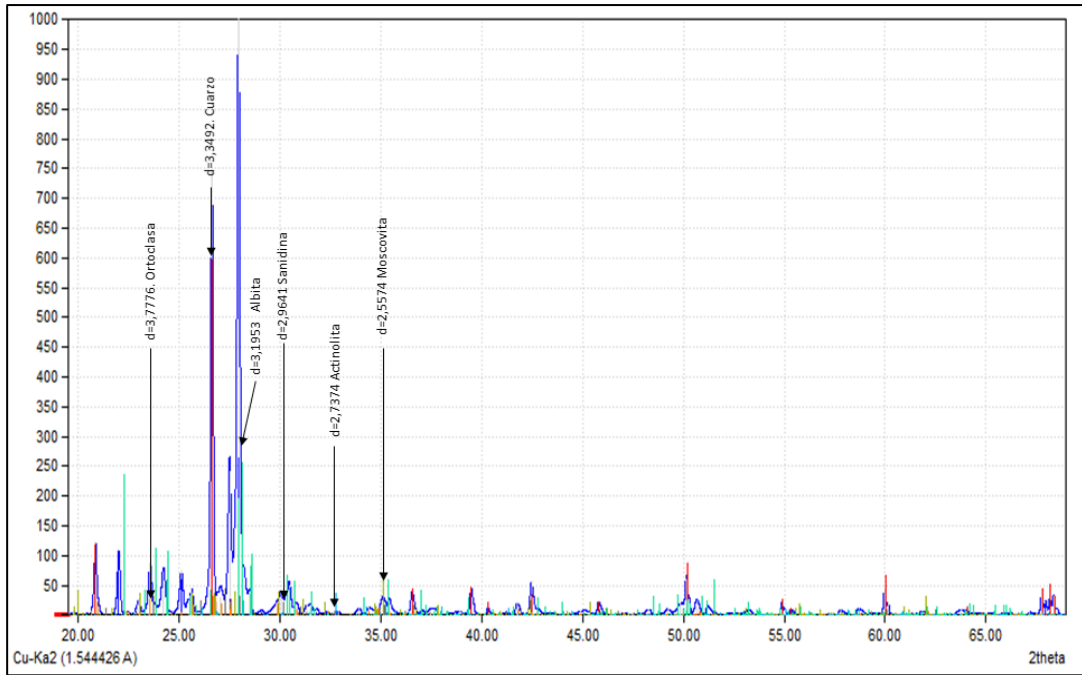


Figura 3-2: Interpretación del difractograma analizado de la muestra B1P6.
Realizado por: Saida Huatatoca.

Los minerales más comunes que son producto de la alteración hidrotermal pertenecen al grupo de las arcillas, específicamente filosilicatos. Son difíciles de identificar en muestras de mano o sección delgada, por tal razón se recomienda usar la técnica analítica de difracción de rayos X, que es adecuada para asociaciones minerales de sistemas epitermales y pórfidos (Camuti, 2008). En la figura 3-2 se puede apreciar el difractograma de la muestra B1P6 (Monzogranito), que presenta picos de Ortoclasa (3.77 Å), cuarzo (3,35 Å), albita (3,20 Å), Sanidina (2,96 Å), actinolita (2,73 Å) y moscovita (2,56 Å).

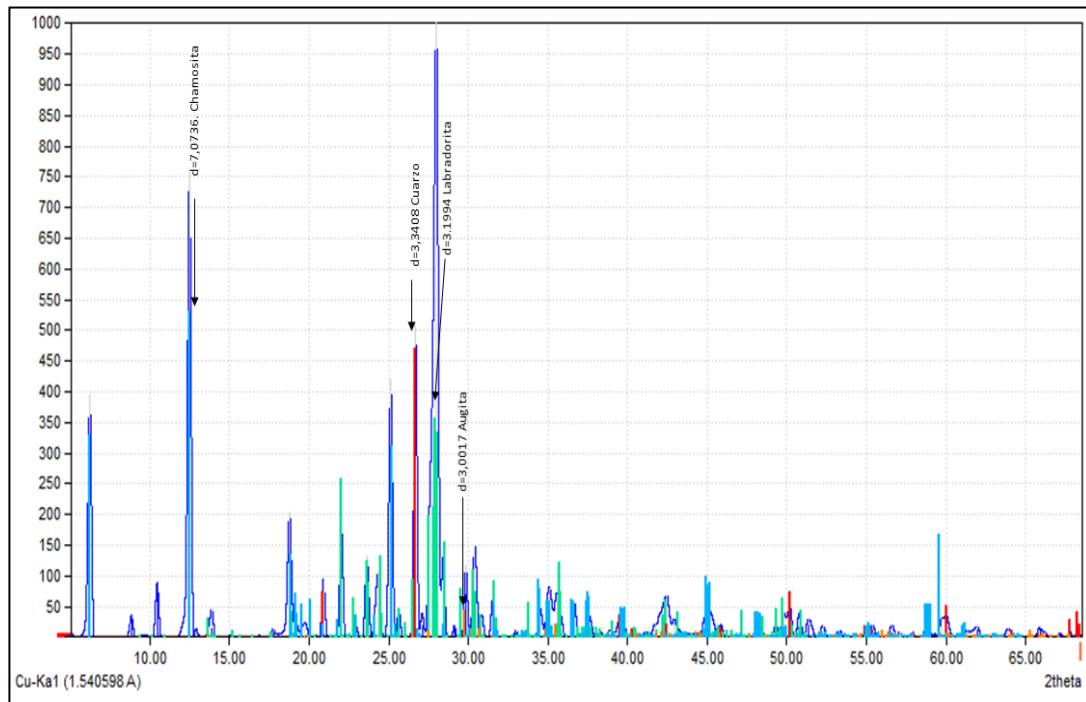


Figura 3-3: Interpretación del difractograma analizado de la muestra B4P2
Realizado por: Saida Huatatocha

En la Figura 3-3 se indica el difractograma de la muestra B4P2 (Diorita) la cual presentó picos de chamosita (7.07 Å), cuarzo (3,34 Å), labradorita (3,20 Å) y augita (3,01 Å). Vera Bureau (2016) en un estudio sobre identificación de minerales de alteración en el batolito Rosa Florida, adyacente al Batolito Abitagua, mencionan que la chamosita pertenece al grupo de las cloritas y se forma en altas temperaturas en conjunto con la clorita. La albita es la plagioclasa más común hallada en las muestras de roca, ocurre en rocas ígneas félsicas como granitos. Labradorita pertenece al grupo de las plagioclasas y no ha sido reportada anteriormente en otros análisis geoquímicos del Batolito de Abitagua.

3.4 Fluorescencia de Rayos – X

La fuente magmática de los granitos se puede distinguir en dos tipos, los granitos tipo-S que provienen de la corteza y los granitos tipo-I, cuya fuente proviene de una profundidad mayor que la corteza continental, y atraviesan por procesos diferenciación magmática (Alahbakhshi et al., 2020). En este sentido, Chappell y White (2001) dividieron las rocas ígneas en tres diferentes series de acuerdo al origen y posiciones tectónicas: las series super-alcalinas, series alcalinas y series sub-alcalinas. Así, las composiciones mineralógicas y químicas de las rocas ígneas sirven para determinar el tipo de serie. Por ejemplo, rocas super alcalinas se diferencian si la proporción de Al_2O_3 es menor que la proporción K_2O+Na_2O (Alahbakhshi et al., 2020). La serie sub-alcalina

contienen las series toleíticas y calco-alcalinas, y se separan por una curva (Figura 3-4).

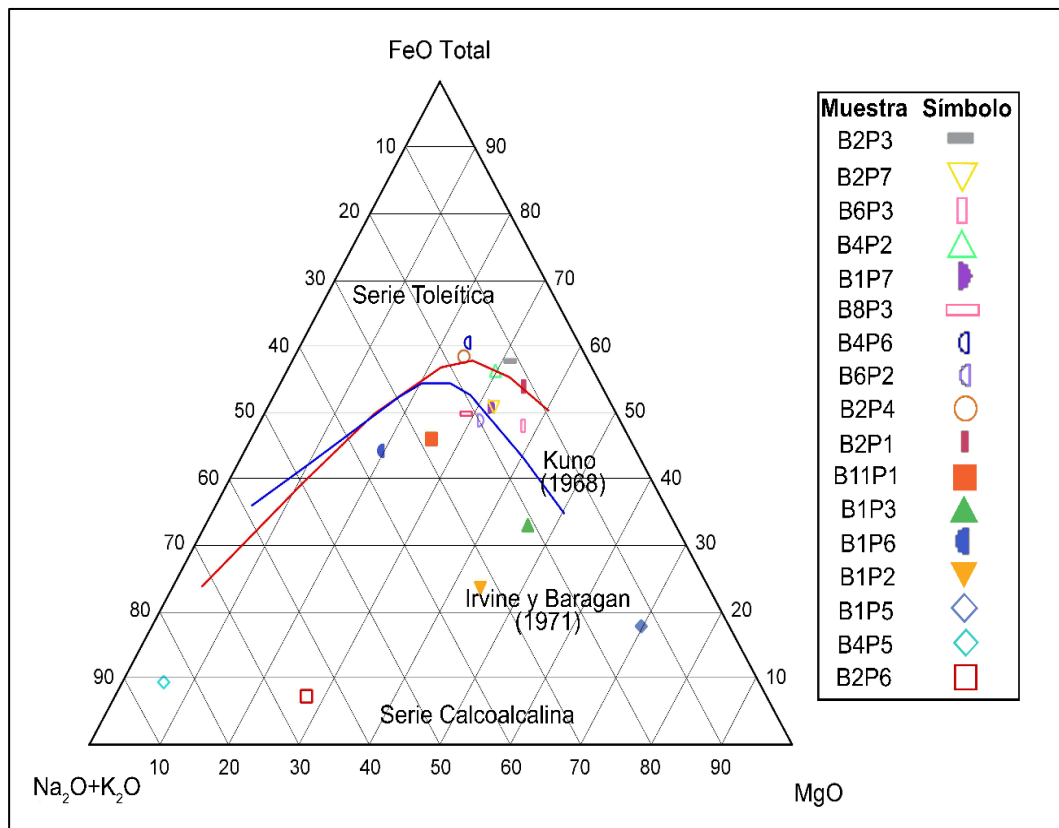


Figura 3-4: Clasificación AFM para las muestras de rocas analizadas mediante Fluorescencia de Rayos X
 Realizado por: Saida Huatoca

De acuerdo a la Figura 3-4, el 82% de las muestras del geositio *Shunku Rumi* se encuentran en el rango de las series calco-alcalinas, a excepción de la muestra B2P4, B4P6 y B2P3. Ruiz (2002) menciona que el Batolito de Abitagua es correlacionado comúnmente con otros cuerpos plutónicos calco-alcalinos en la Zona Subandina del Ecuador, como el Batolito de Zamora al sur, y el Batolito Rosa Florida al norte. De igual manera, Aspdén *et al.* (1992) y Aspdén y Litherland (1992) mencionan que, los plutones de la cordillera andina son típicos granitoides calco-alcalinos Tipo-I, caracterizados por un amplio rango de concentración de sílice y altos valores de Na_2O , y comúnmente contienen hornblenda. Las muestras B2P6 y B4P5, ambas muestras aplíticas se localizan en la parte inferior izquierda del diagrama AFM. Esto indica una mayor concentración de plagioclasas y feldespatos.

La figura 3-5 muestra la relación entre álcali total y SiO_2 y sugieren que las muestras analizadas recaen dentro de los rangos de diorita, granodioritas y granitos, es decir

rocas de composición intermedia a ácida. De forma similar, el estudio geoquímico del Intrusivo de Guacamayos realizado por Carranco *et al.* (2022) sugieren la misma tendencia.

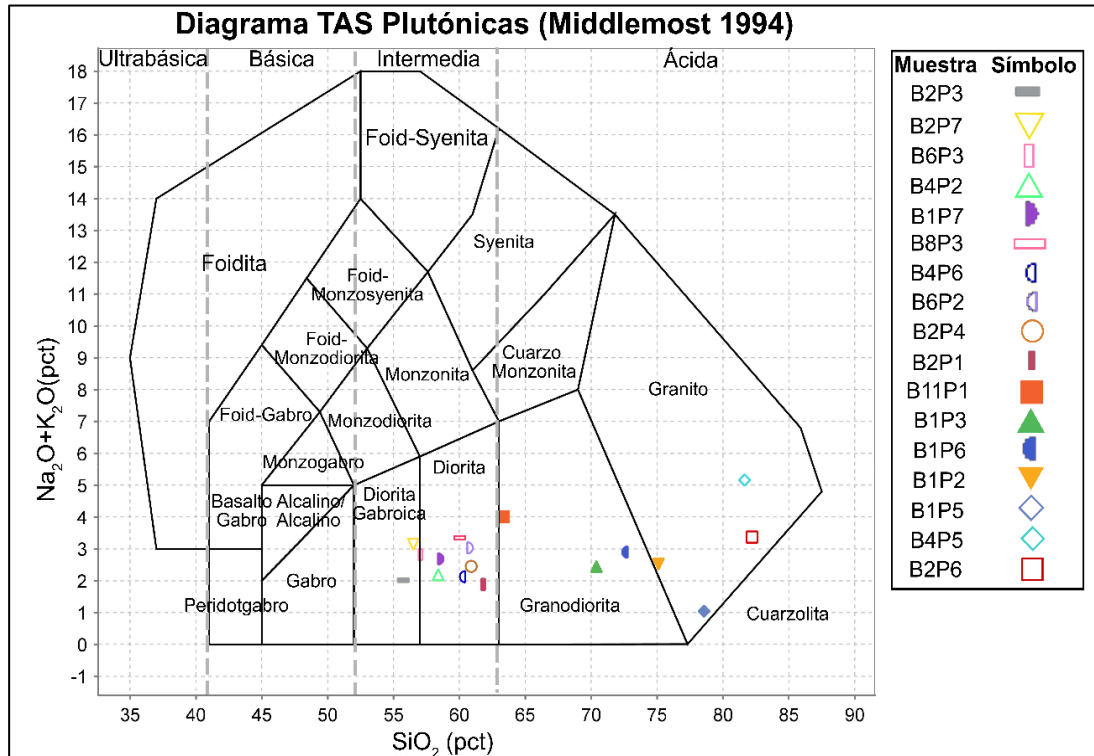


Figura 3-5: Clasificación Total Alkali Silica de rocas plutónicas para las muestras de rocas analizadas mediante Fluorescencia de Rayos X
Realizado por: Saida Huatatocha

Las muestras B6P3, B8P3, B1P7, B2P1, B2P4, B4P2, B4P6, B6P2 recaen dentro de la clasificación de dioritas tanto a nivel petrográfico como geoquímico. Las muestras B11P1, B1P3 y B1P6 mostraron una afinidad granodiorítica, a pesar de que las dos primeras rocas se describieron petrográficamente como dioritas, esto se podría explicar por una mayor concentración de silicio en forma de cuarzo. Los resultados del análisis petrográfico mostraron que la muestra B11P1 contiene la mayor concentración de plagioclasas en forma de oligoclasa, piroxeno como la enstatita y en menor concentración cuarzo, por lo que se encuentra en el límite entre diorita y granodiorita. Las muestras B2P6 y B4P5 se describe de forma geoquímica como un granito, sin embargo, de acuerdo a la descripción petrográfica se clasificó como una aplita debido a su tamaño de grano muy fino. La aplita es una roca ígnea intrusiva con composición similar al granito, pero que su tamaño de grano es menor a 1 mm de diámetro, y los minerales principales son cuarzo y feldespato (Berry, 2011).

3.5 Análisis Estructural

El análisis estructural se fundamentó en treinta datos para diques, ciento y un datos estructurales para las diaclasas y tres datos para las fallas. Estos datos fueron representados en proyección estereográfica empleando el software Dips 7.016 (Figura 3-6), con el fin de conocer las direcciones preferenciales de las estructuras geológicas.

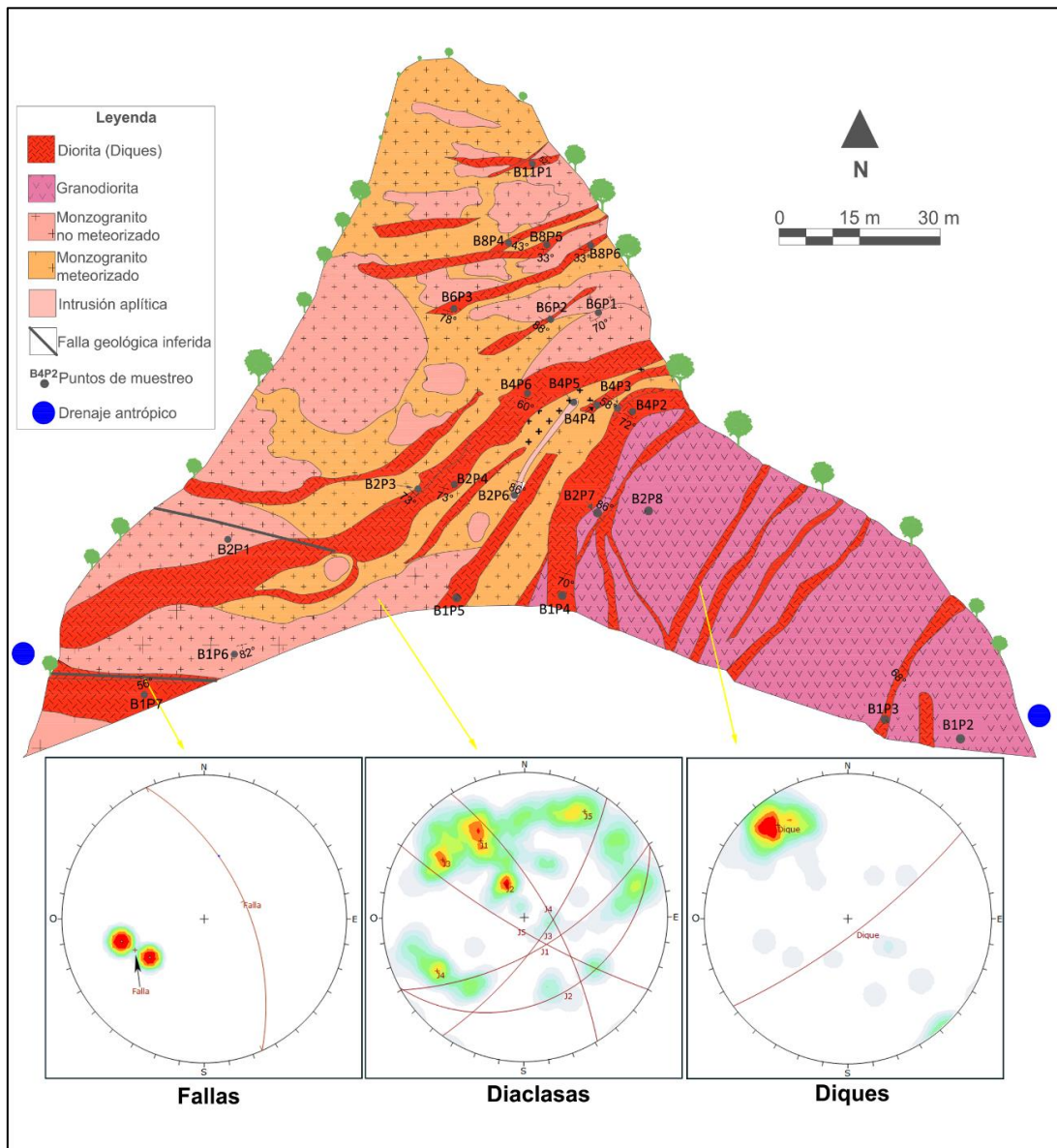


Figura 3-6: Esquema geológico local reconocido en el afloramiento del geosítio Shunku Rumi.
Realizado por: Saida Huatatoca

En la parte superior se denotan los tipos de rocas con colores estándar y tramas del servicio geológico de los Estados Unidos (Horton, 2017), se indican las medidas estructurales en gris

oscuro. En la parte inferior se muestran los resultados del análisis estructural de fallas, diaclasas y diques.

Los datos estructurales de las fallas geológicas identificados durante el trabajo de campo, tienen dirección NO-SE, con fuerte buzamiento hacia el NE. Fallas geológicas alrededor de la zona como la Falla Jondachi tienen una dirección similar a la indicada por el análisis cinemático (Ruiz, 2002). De igual manera, campañas de cartografía geológica a nivel regional reportan fallas geológicas con direcciones NE-SO y NO-SE (Duque et al., 2015).

El análisis cinemático indica un rumbo preferente NE-SO con buzamiento subvertical hacia el SE para los diques. Esto indica que se emplazan en zonas de debilidad como diaclasas y que son cortados por estructuras a nivel regional como fallas geológicas. De manera similar, Carranco et al. (2022) reporta orientaciones estructurales similares para los diques en el estudio petrográfico y geoquímico del Intrusivo de Guacamayos. Para las diaclasas, se han identificado 5 familias de discontinuidades, la primera con un rumbo NE-SO y buzamiento hacia el SE. La segunda familia tiene un rumbo en sentido NE-SO con buzamiento hacia el SE. La tercera familia tiene un rumbo NE-SO con buzamiento hacia el SE. La cuarta familia presenta un rumbo NO-SE y buzamiento hacia el NE y la quinta familia posee un rumbo NO-SE con buzamiento el hacia SO. Las orientaciones específicas de todos los planos se muestran en la Tabla 3-4. La presencia de varias familias de discontinuidad en un macizo rocoso son indicativo de tectonismo activo, la cual fractura las rocas en superficie (Vassilis, 2020). De igual manera, procesos de enfriamiento magmático conducen al fracturamiento del macizo rocoso original resultando en distintas direcciones preferenciales de discontinuidades (González de Vallejo et al., 2002).

Tabla 3-4: Orientación de planos de fallas, diques y diaclasas

Tipo de plano	Buzamiento	Dirección de Buzamiento
Fallas	56	66
Diques	78	143
Diaclasas		
J1	63	150
J2	29	151
J3	70	125
J4	71	59
J5	80	210

Elaborado por: Saida Huatatoca

La mayor parte de batolitos se emplazan en cinturones montañosos y son resultado de procesos orogénicos de subducción, además están involucrados activamente en la evolución de esos cinturones (Insugeo, 2005). En este sentido, para correlacionar la deformación con el emplazamiento del batolito, es necesario evidenciar que la intrusión haya provocado deformación y/o metamorfismo, de forma espacial y temporal (González Bonorino, 1950).

El modo de emplazamiento de los diques fue generado a través de fracturas generadas a lo largo de la cámara magmática, en la que permitieron movilización de fluidos y la posterior cristalización de minerales del fluido (Llambías, 2001). Se considera un evento post-tectónico, debido a que las rocas ígneas de caja carecen de texturas de deformación como foliaciones u hornfels (Insugeo, 2005; Llambías, 2001).

4. CONCLUSIONES

En el geositio *Shunku Rumi*, se determinó que más del 75% de las muestras de roca analizadas corresponden a dioritas de textura porfirítica. Además, otros tipos de rocas graníticas como granodiorita y monzogranito (roca de caja) e intrusiones aplíticas. El análisis petrográfico a nivel macroscópico, indica que los granitoides se componen mayormente de los minerales principales: cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, biotita y anfíbol.

Mediante el análisis petrográfico a nivel microscópico, se pudo determinar minerales secundarios y de alteración. Los minerales secundarios incluyen biotita, hornblenda, opacos, calcita y moscovita. La moscovita es comúnmente reportada en rocas graníticas de la región y la calcita es un mineral producto de la alteración de batolitos plutónicos. Los minerales de alteración identificados como epidota, clorita y sericita, señalan un proceso de alteración tipo propilítico.

El análisis de DRX permitió detectar minerales silicatados como cuarzo, albita, anortoclasas, ortoclasa, biotita, sanidina, epidota, andesina, augita, piroxeno, diópsido entre otros. Cuarzo (3.75 Å) se presenta en todas las muestras analizadas, seguido de chamosita (7.07 Å), albita (3.20 Å) y bytownita. La labradorita es una plagioclasa que no ha sido reportada en dioritas del Batolito Abitagua.

El análisis de fluorescencia de rayos X, permitió identificar la fuente magmática de las muestras en el geositio *Shunku Rumi*, las cuales se enmarcan dentro de las series calco-alcalinas. Además, los resultados del análisis geoquímico indican que las muestras provienen de granitos tipo I. El diagrama Total Alkali Silica sugiere una clasificación de diorita, granodiorita y granitos para las muestras de roca analizadas, las cuales son de composición intermedia ácida.

El emplazamiento de los diques en la roca de caja se generó a través de fracturas producidas a lo largo de la cámara magmática que permitieron la movilización de fluidos y posterior cristalización de minerales. También se identificó fallas geológicas con rumbo NO-SE y con buzamiento hacia el NE. Los diques con dirección preferente NE-SO. Las cinco familias de discontinuidades sugieren un tectonismo activo en la zona de estudio que fractura las rocas a través de zonas de cizalla

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Alahbakhshi, M., Mehrnia, R., Reza Espahbod, M., & Ashja-Ardalan, A. (2020). Petrographic and isotopic studies in Kamoo area, northeast Isfahan, Iran. *Nexo Revista Científica*, 33(02), 340-356. <https://doi.org/10.5377/nexo.v33i02.10773>
- Alcaldía de Archidona. (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.
- Aspden, J. A., Fortey, N., Litherland, M., Viteri, F., & Harrison, S. M. (1992). Regional S-type granites in the Ecuadorian Andes: Possible remnants of the breakup of western Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences*, 6(3), 123-132. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(92\)90002-G](https://doi.org/10.1016/0895-9811(92)90002-G)
- 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)
- Baby, P., Rivadeneira, M., & Barragán, R. (2004). La Cuenca Oriente: Geología y petróleo. En *La Cuenca Oriente: Geología y petróleo*. Institut français d'études andines. <https://doi.org/10.4000/BOOKS.IFEA.2971>
- Berry, H. N. (2011). Settlement Quarry, Strongington, Maine. <http://www.maine.gov/dacf/mgs/explore/bedrock/sites/jun11.pdf>
- Brito Villarroel, S. (1985). Geología del Cuadrángulo 77°45'-78°00' de Longitud Oeste y 1° 00'-01°10' de Latitud Sur, escala 1:50.000 (Área aproximada: 500 Km², localizada en Puerto Napo, Provincia de Napo". Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Bustamante, C., Archanjo, C. J., Cardona, A., & Vervoort, J. D. (2016). Late Jurassic to Early Cretaceous plutonism in the Colombian Andes: A record of long-term arc maturity. *Bulletin of the Geological Society of America*, 128(11-12), 1762-1779. <https://doi.org/10.1130/B31307.1>
- Camuti, K. (2008). Clay minerals in alteration systems. *Terry Leach Symposium*, 48, 13-18.
- Carranco, F. R., Romero, C. W., Černýb, N. K., Calderón, E. D., Barona, D., Lozada, A. B., Calderón, R., Freire, H., Oñate, L., Castillo, M., & Cobos, N. (2022). Petrografía y Geoquímica del Intrusivo de Guacamayos, Napo - Ecuador. 17° Encuentro Internacional de Ciencias de la Tierra, 1.
- Carrasco, H., Spinkings, R., Chiaradia, M., Ulianov, A., Buenaño, P. ., Zambrano, A., Vallejo, C., & Beate, B. (2023). Geochronological, Geochemical and Isotopic Characterisation of the Early Cretaceous Andean Margin within Ecuador: The Alao Arc. SSRN, 27. <https://doi.org/Carrasco, Hugo and Spinkings, Richard and Chiaradia, Massimo and Ulianov, Alexey and Buenaño, Paul and Zambrano, Andrés and Vallejo, Cristian and Beate, Bernado, Geochronological, Geochemical and Isotopic Characterisation of the Early Cretaceous Andean Margin within Ecuador: The Alao Arc. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=4428570 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4428570>
- Castro-Dorado, A. (2015). Petrografía de rocas ígneas y metamórficas. Ediciones Paraninfo S.A.
- Chalco, D., Araujo, S., & Balcázar, S. (2023). Tomografía Sísmica del Batolito de Abitagua en la Zona Subandina del Ecuador. CIREDU.
- Chappell, B. W., & White, A. J. R. (2001). Chappell-White2001_S-I-Type. *Australian Journal of Earth Sciences*, 48, 489-499.
- Duque, J., González, S., Andrade, X., & Garzón, O. (2015). Levantamiento de Cartografía Temática, Escala 1:25.000, Lote 1.
- Eguez, A., Alvarado, A., Yepes, H., Machette, M. N., Costa, C., & Dart, R. (2003). Database and Map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions. En *USGS Open-File Report 03-289*.
- El Comercio. (2009). Rocas gigantes cayeron sobre un bus interprovincial en la vía Baeza - Tena; hay un

- fallecido y 13 heridos. El Comercio.
- Global Earthquake Model. (2015). South American Risk Assessment (SARA).
- González Bonorino, F. (1950). GEOLOGIC CROSS-SECTION OF THE CORDILLERA DE LOS ANDES AT ABOUT PARALLEL 33° LS (ARGENTINA-CHILE). *Geological Society of America Bulletin*, 61(1), 17-26.
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. PEARSON EDUCATION.
- Horton, J. D. (2017). The State Geologic Map Compilation (SGMC) geodatabase of the conterminous United States. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.5066/F7WH2N65>.
- IIGE. (2019). Estándares de Nomenclatura Estratigráfica, Simbolización y Abreviaturas para la Cartografía Geológica. <https://www.geoenergia.gob.ec>
- IIGE. (2022). Instructivo: Preparación Mecánica de Muestras de Rocas. https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/03/instructivo_preparacion_mecanica_de_muestras_de_rocas_2022.pdf
- Insugeo. (2005). Capítulo 5: Cuerpos intrusivos o plutónicos. [http://www.insugeo.org.ar/libros/misc_18/05.htm#:\\$~\\$:text=La](http://www.insugeo.org.ar/libros/misc_18/05.htm#:$~$:text=La)
- Laves, F. (1954). The Coexistence of Two Plagioclases in the Oligoclase Compositional Range. *The Journal of Geology*, 62(4), 409-411.
- Llambías, E. J. (2001). *Geología de los Cuerpos Ígneos*. Centro de Investigaciones Geológicas.
- Mendoza, P. (2015). Exploración y explotación de terrazas aluviales en la Concesión «El Icho». Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Quandt, D., Trumbull, R. B., Altenberger, U., Cardona, A., Romer, R. L., Bayona, G., Ducea, M., Valencia, V., Vásquez, M., Cortes, E., & Guzman, G. (2018). The geochemistry and geochronology of Early Jurassic igneous rocks from the Sierra Nevada de Santa Marta, NW Colombia, and tectono-magmatic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 86, 216-230. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.06.019>
- Ruiz, M. G. (2002). Exhumation of the northern Sub-Andean Zone of Ecuador and its source regions a combined thermochronological and heavy mineral approach [Swiss Federal Institute of Technology Zurich]. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-010025751%0Ahttp://e-collection.ethbib.ethz.ch/eserv/eth:26221/eth-26221-01.pdf%5Cnhttp://e-collection.library.ethz.ch/view/eth:26221?q=Exhumation>
- Salgado, J. (2019). Estudio de los depósitos volcánicos desde el Pleistoceno superior del Volcán Sumaco, Provincias de Napo y Orellana. Escuela Politécnica Nacional.
- Spikings, R., Cochrane, R., Villagomez, D., Van der Lelij, R., Vallejo, C., Winkler, W., & Beate, B. (2015). The geological history of northwestern South America: From Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290-75 Ma). *Gondwana Research*, 27(1), 95-139. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.06.004>
- Toraya, H. (2018). A new method for quantitative phase analysis: Direct derivation of weight fractions from observed intensities and chemical composition data of individual crystalline phases. *Rigaku Journal*, 34(1), 3-8.
- UNESCO. (2015). Statutes of the International Geoscience and Geoparks Programme (p. 16). <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000260675.page=1>
- Vassilis, M. (2020). Applications of the GSI System to the Classification of Soft Rocks. En *Soft Rock Mechanics and Engineering* (pp. 503-539). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29477-9_19
- Vera Burau, M. A. (2016). Aplicación del Método de Difracción de Rayos X para la identificación y

cuantificación de Minerales de Alteración Hidrotermal sobre las Concesiones Mineras Del Proyecto La Bonita - Sucumbios. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Vera, D., Simbaña-Tasigano, 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), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s12371-023-00792-2>