




PETROLOGICAL CHARACTERIZATION OF VOLCANIC ROCKS IN THE LLUSHCAPAMPA LANDSLIDE, CAJAMARCA-2023

Llovera Chunqui, José Luis¹, Quispe Larreategui, Diana Lizett¹, and Cáceres Pérez, Shonel, Ing¹

¹ Universidad Privada del Norte, Perú, n00252004@upn.pe, n00235679@upn.pe, Shonel.caceres@upn.edu.pe

Abstract – The main objective of this research is to provide a solid basis to warn about possible future landslides in Llushcapampa, recognized for its history of recurrent landslides. It is notable to note that, to date, exhaustive petrological studies have never been carried out to evaluate the quality of the rock material in this area. Therefore, this study focuses specifically on the volcanic rocks present in the area, carrying out a detailed analysis both macroscopic and microscopic. The results reveal a very poor quality in these rocks, which contributes significantly to the observed landslides. This discovery has crucial implications for the safety of the population and surrounding structures, highlighting the need to implement preventive and mitigating measures in the study area.

Keywords: Landslide, volcanic rocks, petrological characterization, material quality.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Caracterización Petrológica de las Rocas Volcánicas en el Deslizamiento de Llushcapampa, Cajamarca-2023

Resumen – El objetivo principal de esta investigación es proporcionar una base sólida para advertir sobre posibles deslizamientos futuros en Llushcapampa, reconocida por su historia de recurrentes deslizamientos. Es notable destacar que, hasta la fecha nunca no se habían realizado estudios petrológicos exhaustivos para evaluar la calidad del material rocoso en esta zona. Por tanto, este estudio se centra específicamente en las rocas volcánicas presentes en el área, llevando a cabo un análisis detallado tanto macroscópico como microscópico. Los resultados revelan una calidad muy deficiente en estas rocas, lo que contribuye significativamente a los deslizamientos observados. Este descubrimiento tiene implicaciones cruciales para la seguridad de la población y las estructuras circundantes, destacando la necesidad de implementar medidas preventivas y mitigadoras en el área de estudio.

Palabras Clave: Deslizamiento, rocas volcánicas, caracterización petrológica, calidad de material.

En la tabla I, se muestra un breve listado de los eventos que causaron grandes daños en el Perú.

TABLA I
CASOS HISTÓRICOS DE MOVIMIENTOS EN MASA QUE CAUSARON GRANDES DAÑOS EN PERÚ.

Lugar (Año)	Tipo de evento/(Daños)
Ranrahirca-Ancash (1962)	Movimiento complejo / 4000 muertos, inundó carreteras, destruyó 2 puentes, afectó túneles
Yungay-Ancash (1970)	Movimiento Complejo / 18 000 muertos, sepultos poblados de Yungay y Ranrahirca, afectó infraestructura vial y férrea.
Mayunmarca-Huancavelica (1974)	Movimiento-Complejo / 600 muertos, 2500 damnificados, destruyó la carretera Huancayo-Ayacucho; represó el río Mantaro
Aobamba-Cusco (1998)	Flujo de detritos / Tres muertos, estruyo instalaciones de la CC. HH de Machu Picchu, parte del campamento y torres de alta tensión
Ambo-Huánuco (2010)	Flujo de detritos / 30 muertos, 120 viviendas destruidas, destruyó captación de agua potable.
Arequipa (2013)	Flujo de detritos / Destrucción de carreteras, 1000 viviendas, infraestructura pública y cuatro muertos.
Chosica-Lima (2012)	Flujos de detritos / 3545 damnificados, 7058 afectados, 253 viviendas afectadas

En la región Cajamarca también se han presentado una serie de deslizamientos en su historia más reciente, pese a ello hasta ahora no se ha realizado un estudio que muestre las características petrológicas del material afectado con estos eventos, sabemos que con este tipo de estudios se podría conocer la calidad del material y con el ello delimitar mejor las zonas vulnerables a los deslizamientos y así contribuir a que de alguna manera se mitigue los daños asociados.

I. INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos ocasionan tanto pérdidas humanas como económicas y son un fenómeno recurrente que ocurre anualmente en todos los países del mundo [1]. No obstante, el grado de impacto difiere significativamente dependiendo de las condiciones geológicas específicas y la vulnerabilidad socioeconómica de cada región [2]. Por ende, la valoración de la amenaza asociada a estos movimientos y la habilidad para preverlos se han convertido en áreas de considerable interés para la comunidad científica [3],[4].

En el Perú, se tiene antecedentes de algunos deslizamientos, influenciados por la presencia de áreas montañosas que comprenden una diversidad de rocas en cuanto a tipo, grado de alteración y fracturamiento. Estos aspectos están relacionados con las condiciones climáticas y la actividad tectónica a la que estas regiones han estado expuestas y continúan experimentando [5].

Se han registrado varios deslizamientos que han causado estragos en la población, sobre todo afectando a la agricultura y la ganadería, que son la base económica del sustento de la mayoría de la población cajamarquina. El Plan Regional de Gestión del Riesgo de Desastres al 2021 indica que los deslizamientos son el peligro geológico más recurrente en la región, con 2176 ocurrencias inventariadas [6].

Es importante resaltar que, dentro de los antecedentes documentados sobre deslizamientos en Cajamarca, se destaca un incidente específico en la provincia de San Miguel. En el año 2018, un deslizamiento dejó a 12 personas gravemente heridas, marcando un impacto significativo en la comunidad. Trágicamente, la misma zona se vio afectada nuevamente en 2019, cuando otro deslizamiento resultó en la pérdida lamentable de un niño de tan solo 11 años.

Por otro lado, en el sector Llushcapampa se han registrado deslizamientos que representan hasta la actualidad una amenaza palpable para todos los Cajamarquinos. En el 2016 se manifestaron deslizamientos los cuales pusieron en

riesgo el abastecimiento de agua potable para esta ciudad, afectando el curso del afluente Río Grande que abastece a la planta "El Milagro" de SEDACAJ. Asimismo, en el 2017 las autoridades de INDECI Cajamarca precisaron que, de continuar los deslizamientos en esta zona se afectarían las fuentes de alimentación a la planta de tratamiento de agua potable para Cajamarca lo que afectaría al 70% de la ciudad dejándolos sin agua.

Cabe mencionar, que el antecedente más reciente del sector de Lluscapampa que se tiene fue en noviembre del 2023, donde autoridades alertaron que la situación en el área es altamente complicada porque el deslizamiento aparte de suspender el servicio de agua potable para la ciudad de Cajamarca por meses también arrasaría con las viviendas que se encuentran en su zona de influencia. Es crucial señalar que la falta de información detallada sobre la geología y las características petrográficas de esta zona subraya la urgencia de llevar a cabo estudios más profundos para comprender mejor y abordar los riesgos asociados con estos fenómenos.

Existen boletines e informes técnicos, donde de acuerdo con los datos obtenidos de investigaciones previas, se señala que el área es propensa a enfrentar riesgos geológicos derivados de movimientos en masa. En el 2011, Zavala y Rosado, identificaron dos deslizamientos activos: el primero presenta escarpes, mientras que el segundo muestra asentamientos con un relieve alterado [7]. Asimismo, según el informe técnico de Gómez en el 2017 para el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) menciona que el sector de Lluscapampa por sus características geomecánicas de las secuencias volcánicas que se presentan en la zona, es susceptible a la ocurrencia de peligros geológicos y geohidrológicos (deslizamientos, derrumbes, caída de rocas, flujos de detritos, inundación y erosión fluvial), por lo que se considera como una zona crítica de muy alto peligro por movimientos en masa, siendo un peligro inminente, principalmente con la presencia de lluvias periódicas [8].

Considerando la exposición a riesgos geológicos identificados en informes anteriores se destaca la importancia de abordar la caracterización petrológica del material que desencadenó este significativo deslizamiento, afectando a los terrenos adyacentes e incluso invadiendo el cauce del río Grande, lo que a su vez perjudicó a la planta de tratamiento de agua El Milagro. Esta planta, ubicada en el caserío de Huambocancha Baja, a unos 5.4 km de Cajamarca y a una altitud de 2844 msnm, es crucial para el suministro de agua potable a la ciudad, ya que se abastece de los ríos Grande, Porcón y San Lucas. Dicha planta es responsable del tratamiento del agua proveniente de estas fuentes, garantizando el suministro de agua segura para el consumo de la población cajamarquina, que asciende a 392,571 habitantes [9].

El término de deslizamiento, definido por Scheidegger [10] como las modificaciones en la topografía en el contexto

del continuo ciclo geomorfológico. Estas alteraciones constituyen la reacción intrínseca del sistema frente a una gama diversa de factores externos, como condiciones meteorológicas y acciones humanas, así como factores internos relacionados con la composición, estructura y actividad tectónica. En esencia, los deslizamientos son manifestaciones naturales de adaptación del entorno a influencias tanto externas como internas [10].

Los deslizamientos son comunes en la cordillera peruana debido a las condiciones geológicas, geográficas, geomorfológicas y climáticas que la caracterizan. Los factores detonantes en nuestra zona andina son: la actividad sísmica, la lluvia y la intervención humana [11]. Scheidegger clasifica las variables en dos tipos: las cuasiestáticas, que contribuyen a la susceptibilidad, como la geología, las pendientes y los aspectos de las laderas; y las dinámicas, que incluyen la precipitación y los sismos, los cuales desencadenan deslizamientos en áreas propensas a esta amenaza.

La calidad del material influye significativamente en el riesgo de deslizamientos. La meteorización y fracturamiento de rocas pueden debilitar la estabilidad del terreno, mientras que la presencia de agua en los suelos puede reducir la fricción entre las partículas y aumentar la presión intersticial, lo que conduce a la falla del terreno. Asimismo, la consolidación de los suelos afecta su resistencia y capacidad de soporte, lo que influye en la probabilidad de deslizamientos. Por ejemplo, la velocidad, el volumen y la distancia de desplazamiento de los deslizamientos de tierra están determinados por el tipo de material y su calidad. Los deslizamientos pueden ser extremadamente lentos o muy rápidos, y la calidad del material, incluyendo la naturaleza de las rocas y suelos, es un factor determinante en este comportamiento. Por lo tanto, comprender y evaluar la calidad del material es esencial para la predicción y prevención de deslizamientos [12],[13].

Los movimientos en masa detonados por lluvias, generalmente denominados deslizamientos superficiales planares o soil slip, se caracterizan por su pequeño espesor (0,3-2 m) mucho menor a la longitud del movimiento, superficie de falla sub paralela a la pendiente y escarpe de área reducida [14]. Estos movimientos son generados durante eventos intensos de lluvia por el aumento rápido de la presión de poros o por la pérdida del componente de cohesión aparente [15], [16], [17], [18].

Problemas como la licuefacción de suelos, la reducción de la resistencia al corte de material, el desarrollo de la presión de poros positiva es más frecuentes mientras la calidad del material es baja, por ello en el siguiente estudio nos hemos propuesto realizar la caracterización petrológica en las rocas volcánicas del deslizamiento de Lluscapampa, ubicado al Norte de la ciudad de Cajamarca, para con ello determinar la calidad del material.

La caracterización petrológica de estas formaciones rocosas adquiere una relevancia singular al considerar su estrecha vinculación con el fenómeno de deslizamiento, cuyas consecuencias directas impactan tanto en la configuración geológica del área como en los potenciales riesgos asociados para la población y la infraestructura. El propósito de la caracterización petrológica es llevar a cabo una detallada descripción y análisis de la composición de las rocas.

Entender la naturaleza y el origen de las rocas en un área específica es crucial, ya que las rocas actúan como registros fundamentales, análogos a las cajas negras de los aviones, que almacenan información vital sobre los procesos geológicos de la Tierra. A través del examen de los minerales que componen estas rocas, podemos descifrar los procesos que han ocurrido en nuestro planeta. El análisis detallado de las rocas, sus componentes y los procesos de formación asociados nos proporciona una visión clara de los eventos geológicos pasados, arrojando luz sobre cómo ocurrieron y sugiriendo posibles desarrollos futuros [19].

Este estudio se enriquece con las contribuciones previas de Esparza y Mayorga [20], cuya investigación pionera en la región han sentado las bases para nuestra exploración más profunda. Al examinar los detalles de las muestras recopiladas en Llushcapampa, esta investigación aspira no solo a expandir el conocimiento científico en el campo de la petrografía, sino también a identificar y evaluar la calidad del material rocoso como un factor determinante en la predisposición de las áreas estudiadas a movimientos en masa, permitiendo así un análisis más completo de los factores geológicos que influyen en la ocurrencia de deslizamientos.

El artículo está dividido de la siguiente manera: en el siguiente capítulo se presentan los materiales y métodos utilizados, para luego en el siguiente capítulo, presentar la metodología utilizada en la realización del trabajo. El capítulo tres exterioriza los resultados y la discusión. Luego se presentan las conclusiones y las referencias bibliográficas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materiales

Para llevar a cabo la investigación, se empleó información recopilada de estudios previos en la región, que incluyeron papers, mapas y planos; dentro de los equipos se utilizó protactor, libreta de campo; en lo que refiere al equipo de geólogo de campo se utilizó brújula brunton, lupa Iwamoto 10x y 20x, picota, ácido clorhídrico (HCL), cámara fotográfica, GPS, wincha, lápiz rayador y magneto; en lo que son equipos de laboratorio se utilizó estereoscopio, microscopio óptico; para el procesamiento de la información se empleó laptop, softwares SASplanet, ArGIS y AutoCAD.

B. Métodos

Para identificar y clasificar las rocas, es esencial llevar a cabo inicialmente un análisis macroscópico de las muestras del terreno en investigación. Durante esta evaluación física, se examinan propiedades como la apariencia, el color, la textura, la dureza, los minerales presentes, el tamaño, la forma y la disposición entre ellos, entre otras características.

El trabajo se desarrolló en cuatro etapas:

Trabajo preliminar de gabinete: Se procedió a recopilar y examinar exhaustivamente toda la información de fuentes bibliográficas, como investigaciones anteriores, la geología regional del cuadrángulo de Cajamarca Hoja-15f, así como trabajos geológicos previamente realizados en la zona, entre otros recursos pertinentes.

Trabajo de campo: Se llevó a cabo el levamiento topográfico de una extensión de 1 km² que engloba el área afectada por el deslizamiento de Llushcapampa. Este proceso permitió la elaboración de mapas litológicos y satelitales, la recolección de muestras en puntos específicos, así como la selección y codificación de especímenes manuales destinados al análisis macroscópico y microscópico para su clasificación detallada y la evaluación de la calidad del material.

Según Canchaya [21] la fase de muestreo se destaca como el momento más crucial en cualquier proyecto, ya que representa el punto de partida esencial para todas las estimaciones y tiene un impacto significativo en las actividades subsiguientes. Incluso el uso de equipos avanzados en el análisis químico o de herramientas sofisticadas en la estimación de recursos carece de valor si los errores no son gestionados de manera adecuada, sobre todo durante el Muestreo Primario, que se considera fundamental y determinante.

TABLE II
REGISTRO DE MUESTREO Y TOMA DE ESPECÍMENES

MUESTRAS DATUM GSW - 84					
PT O	CÓDIG O	ESTE	NORTE	ALTUR A	DESCRPCIÓN
1	M-1	773516	9216190	2908	Muestra de mano
2	M-2	773497	9216201	2904	Muestra de mano
3	M-3	773464	9216203	2918	Muestra de mano
4	M-4	773439	9216221	2901	Muestra de mano
5	M-5	773416	9216237	2919	Muestra de mano
6	M-6	773510	9216226	2908	Muestra de mano

En la tabla II, se detalla la realización de los 6 puntos de muestreo, obteniendo un total de 6 muestras representativas, las cuales fueron destinadas al laboratorio para los estudios macroscópicos y microscópicos.



Fig. 1. Área de estudio y toma de puntos de muestreo.

Trabajos finales de gabinete: Durante esta fase, se pudo recopilar y procesar de manera exhaustiva toda la información concerniente a la textura y estructura de la muestra de mano. Se llevaron a cabo análisis detallados para determinar sus características (color y dureza, etc) así como la identificación de minerales. Además, se estableció una estrategia y procedimientos detallados para la clasificación, nomenclatura de las rocas y evaluación de la calidad del material.

Procedimientos en laboratorio: Para llevar a cabo esta caracterización macroscópica y poder facilitar la clasificación de las rocas, su nomenclatura respectiva y evaluar la calidad del material, se analizaron las 06 muestras de mano obtenidas de los puntos de muestreo.

Estas muestras fueron sometidas a un detallado análisis con el uso de lápiz rayador, lupa, magneto, ácido clorhídrico y la observación óptica con el estereoscopio petrográfico en el Laboratorio de Geología de la Universidad Privada del Norte, como se detalla en la Fig. 2.



Fig. 2. Descripción macroscópica, muestras para el análisis textura y composición de la roca.

Todos los datos y la información necesarios para conocer el origen y la evolución de las rocas, es decir su historia, están en las propias rocas: en su composición y en su geometría. Fig. 13. [19].

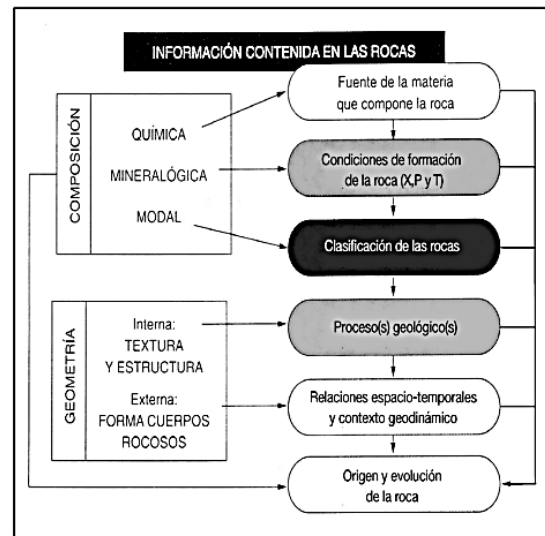


Fig. 3. Información contenida en las rocas. [19]

Se llevaron a cabo dos etapas en el análisis petrográfico. Inicialmente, se realizó un análisis macroscópico de las muestras seleccionadas, utilizando técnicas que se ven considerablemente facilitadas por instrumentos como un estereoscopio y para su óptima descripción macroscópica se analizó las propiedades detalladas en la tabla III.

TABLA III
PROPIEDADES MINERALÓGICAS

MINERALOGÍA	
Propiedades Ópticas	Color: Aspecto visual del mineral.
	Raya: Color del polvo producido al rayar el mineral.
	Transparencia: Grado de paso de la luz a través del mineral.
	Brillo: Intensidad y calidad del reflejo de la luz.
	Clivaje: Forma en que se rompe el mineral a lo largo de superficies planas.
Propiedades Físicas	Gravedad Específica: Relación entre el peso del mineral y el peso de un volumen igual de agua.
	Tenacidad: Resistencia del mineral a la rotura o deformación.
	Sabor: Gusto característico de algunos minerales.
	Magnetismo: Atracción hacia imanes.
	Dureza: Resistencia del mineral a ser rayado.
	Estructura Cristalina: Patrón en el que se organizan los átomos.
	Fluorescencia: Emisión de luz al ser expuesto a luz ultravioleta.
	Radioactividad: Emisión de partículas o radiación.
Piezoelectricidad: Generación de carga eléctrica al aplicar presión.	
Propiedades Químicas	Reacción al Ácido: Respuesta del mineral al ser tratado con ácido.
	Solubilidad: Capacidad del mineral para disolverse en un líquido.
	Color de la Llama: Color de la llama producida al calentar el mineral.

La clasificación y nomenclatura de las rocas ígneas se realiza principalmente con los diagramas modales de Le Maitre [22], basados en los de Streckeisen [23], y recomendados por la IUGS (Subcommission on The Systematics of Igneous Rocks) como se muestra en la Fig. 4.

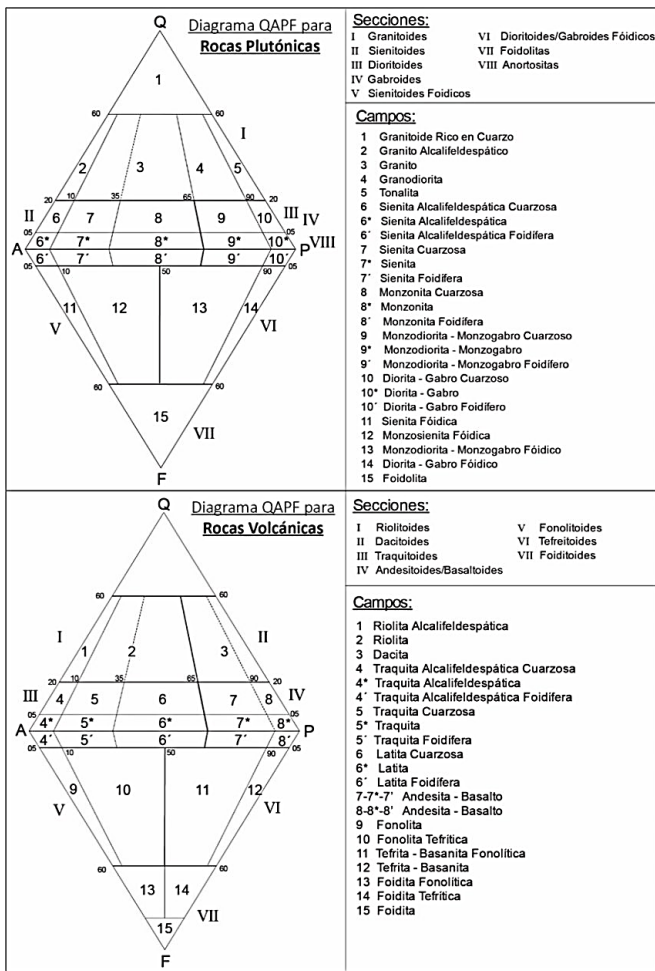


Fig. 4. Diagramas de clasificación QAPF para rocas plutónicas y volcánicas (modificado de Le Maitre, 2002). [22]

Las proporciones modales (% de volumen) de minerales se visualizan en diagramas triangulares, como la Fig. 5, que sirve para la estimación visual de porcentajes.

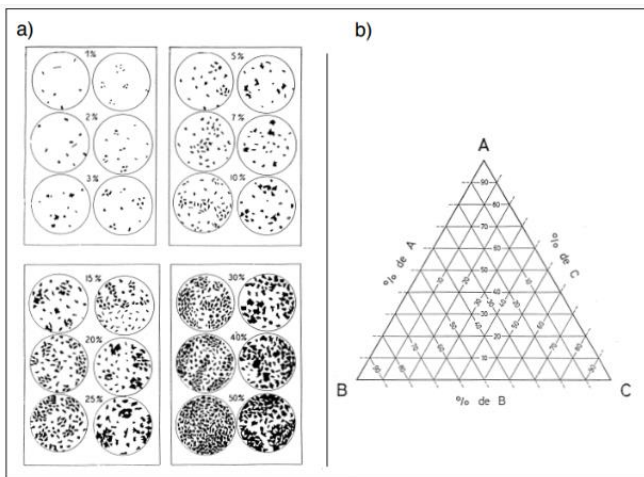


Fig. 5. a) Gráficos de estimación visual de porcentajes. b) Diagramas triangulares. [19]

Después de llevar a cabo la observación macroscópica de las muestras y la identificación de los minerales presentes, se procedió a realizar un análisis más detallado mediante el uso del microscopio petrográfico mediante secciones delgadas. Esta fase específica del estudio se llevó a cabo en las instalaciones de gabinete y laboratorio de la Universidad Privada del Norte.

El microscopio petrográfico se emplea para analizar minerales transparentes y translúcidos en secciones delgadas, basándose en sus propiedades ópticas, y también es útil para la interpretación de la textura de las rocas. Las láminas delgadas son secciones de roca de un espesor de 0,03 mm y unas dimensiones aproximadas de 5 cm de largo por 3 cm de ancho, se adhieren a un vidrio y se cubren con otra lámina más delgada para facilitar la observación mostrados en la Fig.6.



Fig. 6. Izquierda: Microscopio Petrográfico, Derecha: Secciones delgadas y pulidas.

De acuerdo con Castroviejo, la interpretación más efectiva y precisa de la textura de las rocas y minerales se logra mediante el uso del microscopio petrográfico (o de luz transmitida). Esta idea puede extenderse al empleo del microscopio con luz reflejada para analizar las texturas en muestras de minerales opacos [24].

El estudio petrológico una muestra sigue una secuencia de pasos ordenados: descripción de minerales, análisis de texturas principales, estimación porcentual del contenido mineral y clasificación petrográfica. Este enfoque garantiza una evaluación detallada y precisa de la composición mineral de la muestra.

Con toda la información organizada y estructurada se procedió a realizar el procesamiento mediante el uso de softwares especializados: SASplanet, ArGIS y AutoCAD

III. RESULTADOS

El área de estudio se ubica en el Centro poblado LLuscapampa, margen derecha del rio del Rio Grande, flanco este del cerro Lluscapampa en el Km. 4+000 de la carretera Cajamarca – Bambamarca, a 8 126 m. con dirección

norte 354° de la ciudad de Cajamarca. Entre las coordenadas UTM (WGS 84-Zona 17S) como se muestra en la Fig. 7.

Longitud: 773 477 E
 Latitud: 9 216 267 S
 Altitud: 2 930 msnm.

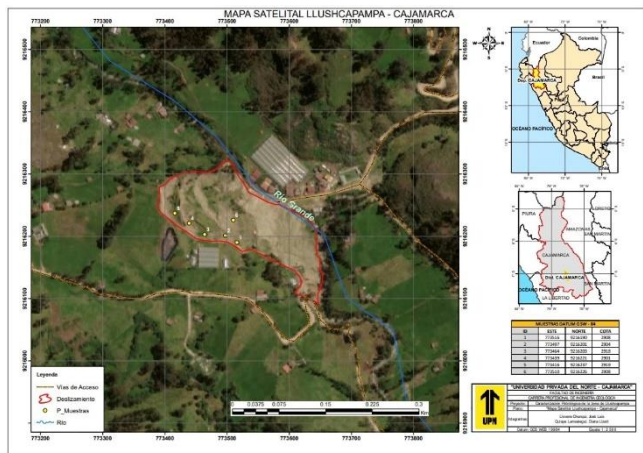


Fig. 7. Mapa Satelital de Llushcapampa

Posteriormente, se llevó a cabo el mapeo de la zona, logrando identificar y establecer 7 puntos estratégicos para la toma de muestras. Cada punto de muestreo permitió la obtención de un espécimen, para el análisis petrológico. La ubicación precisa de estos puntos de muestreo se incorporó en el plano topográfico de la zona de estudio, de conformidad con sus coordenadas respectivas mostradas en la Fig. 8.

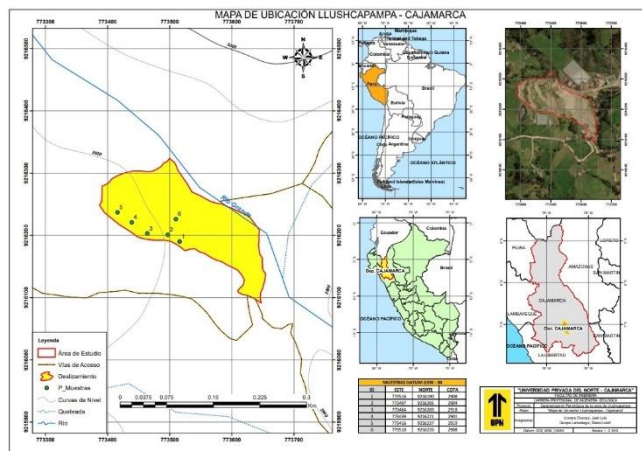


Fig. 8. Plano Topográfico de Llushcapampa, puntos de muestreo.

A. GEOLOGÍA

Regional

Se caracteriza por la presencia de rocas sedimentarias del Cretáceo, Paleógeno, Neógeno y sedimentos del Cuaternario. El departamento de Cajamarca está mayormente cubierto por estas rocas, que incluyen formaciones como el Grupo Salas del Paleozoico, el Grupo Goyllarisquizga del Cretáceo

inferior, y las formaciones Inca, Chulec, Pariatambo, Yumagual, Pulluicana, Quilquiñan y Cajamarca del Cretáceo medio-superior, principalmente compuestas por calizas y lutitas. Además, se encuentran depósitos volcánicos paleógenos y neógenos, como el Grupo Calipuy y el Volcánico Huambos, junto con depósitos cuaternarios de origen aluvial, eólico, fluvial y fluvio-glaciar [25].

Local

En la zona de estudio se identifican secuencias volcanoclásticas, principalmente compuestas por flujos piroclásticos, flujos de lava porfírica, flujos de bloques y cenizas (Volcánico Tual – Puruay y Atazaico). Estos materiales, afectados por una intensa meteorización están propensos a peligros geológicos por movimientos en masa y geohidrológicos. Además, se encuentran depósitos aluviales de arena y limo en terrazas recientes en la región como se visualiza en la Fig. 9.

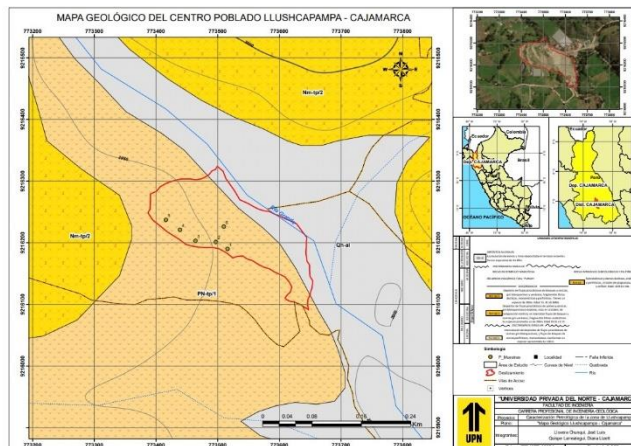


Fig. 9. Mapa Geológico de Llushcapampa

B. CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA DE LAS ROCAS DE LA ZONA

El estudio petrológico de la zona de Llushcapampa se llevó a cabo con una caracterización detallada, que permitió identificar aspectos visibles a simple vista, como la textura, la dureza y el tamaño de grano, mediante un análisis macroscópico. Además, se realizó una caracterización microscópica para un estudio más minucioso, con el fin de evaluar la calidad del material de la zona de estudio.

Muestra P-1. Coordenadas UTM WGS 84 Latitud 9216190 Longitud 773516 Cota 2908 msnm, Fig. 10.

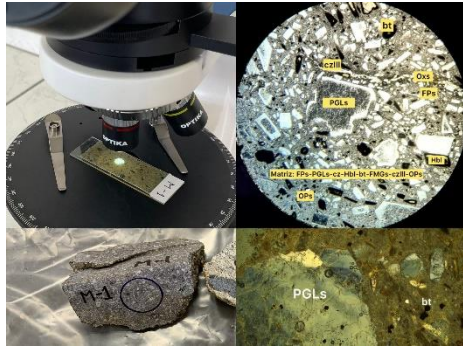


Fig. 10. Muestra P-1

En la Fig. 10, se evidencia Roca Cuarzo Latita de color gris verdoso amarillento con textura porfírica a fanerítica, compuesta por feldespatos 20%, plagioclasas en un 50%, cuarzo en un 20%, máficos en un 7 % y un 3% óxidos de hierro. Se observa que los Fenocristales de feldespato (FPs), plagioclasas (PGLs) con halos blanquecinos producto de la argilización, cuarzo (cz), Hornblenda (Hbl) con núcleo de color verde producto de la epidotización, biotita (bt) de morfología subhedrales.

Todos los fenos presentan direcciones como parte del enfriamiento del fluido magmático, rodeados por una matriz microgranular de minerales como los feldespatos, plagioclasas, cuarzo, ferromagnesianos (FMGs) parcialmente alterados por las epidotas y diseminaciones de óxidos (OXs), minerales opacos (OPs) de muy fina granulometría. Además, se presenta una venilla de cuarzo (czIII).

Muestra P-2. Coordenadas UTM WGS 84 Latitud 9216201 Longitud 773497 Cota 2904 msnm, Fig. 11.

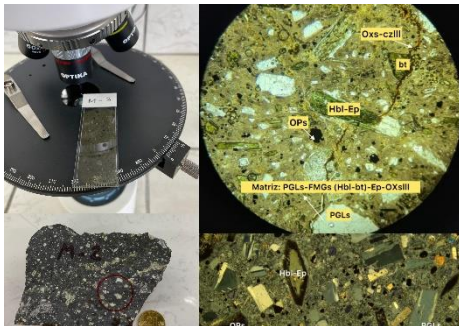


Fig. 11. Muestra P-2

Continuando en la Fig. 11, se muestra Roca Andesita de color azul, textura fanerítica – porfídica compuesta plagioclasas en un 60%, minerales máficos en un 20%, feldespato en un 10%, cuarzo en un 5%, sanidina en un 3% y aproximadamente 2% de magnetita diseminada. Se observa que los fenocristales de plagioclasas (PGLs) algunas subhedrales producto de la argilización, ferromagnesianos (FMGs) tales como hornblenda (Hbl) y biotita (bt), esto fenocristales alterados por epidotas u óxidos.

La matriz está compuesta de plagioclasas, máficos, cuarzo – sanidina, y minerales opacos diseminados (OPs). Se

observa también la epidotización masiva que altera a las hornblendas, además de una venilla de óxidos y cuarzo (OXs-czIII).

Muestra P-3. Coordenadas UTM WGS 84 Latitud 9216203 Longitud 773464 Cota 2918 msnm, Fig. 12.

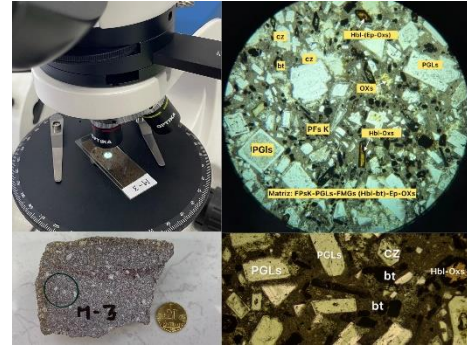


Fig. 12. Muestra P-3

Posteriormente en la Fig. 12, se presenta Roca Traquita de Feldespato con textura fanerítica compuesta plagioclasas en un 25%, feldespato potásico en un 60%, minerales máficos en un 10%, cuarzo en un 4% y aproximadamente 1% de magnetita diseminada. Se observa que los Fenocristales de plagioclasas (PGLs) en su mayoría euhedrales a subhedrales producto de la argilización, ferromagnesianos (FMGs) tales como hornblenda (Hbl) y biotita (bt), presenta una alteración leve presentando núcleos de epidota y halos de óxido. La matriz está compuesta de feldespato potásico (FPs K), plagioclasas (PGLs).

Muestra P-4. Coordenadas UTM WGS 84 Latitud 9216221 Longitud 773439 Cota 2901 msnm, Fig. 13.

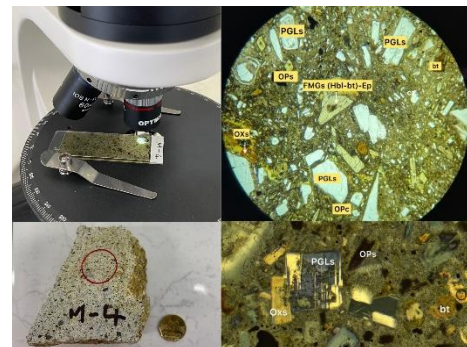


Fig. 13. Muestra P-4

En la Fig. 13, se muestra Roca Andesita de color beige con textura fanerítica compuesta plagioclasas en un 80%, minerales máficos en un 15%, cuarzo en un 3% y aproximadamente 2% de magnetita cristalizada, a la vez diseminada. Se observa que los Fenocristales de plagioclasas (PGLs) en su mayormente euhedrales a subhedrales, cuarzo (cz), hornblenda (Hbl) y biotita (bt), estos presentan alteración masiva transformados a epidota y oxidados al mismo tiempo. La matriz está compuesta de plagioclasas

(PGLs) en su gran mayoría argilizada, cuarzo, máficos, minerales opacos diseminados y alcillas.

Observaciones: La mayoría de los minerales formadores de roca y los accesorios presentan fracturamiento, esto hace posible que sea mayormente deleznable.

Muestra P-5. Coordenadas UTM WGS 84 Latitud 9216237 Longitud 773416 Cota 2919 msnm, Fig. 14.

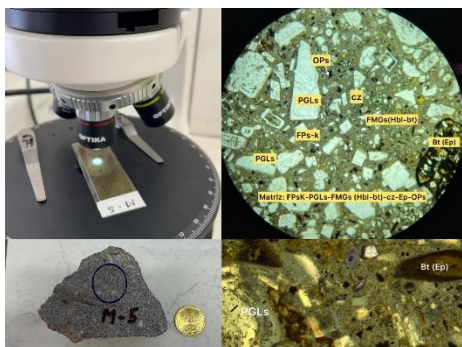


Fig. 14. Muestra P-5

En la Fig.14, se muestra Roca Traquita de Feldespato de color rosáceo con textura fanerítica a porfiritica, compuesta en un 30% de plagioclasas, en un 60% de feldespato, minerales máficos en un 5%, cuarzo en un 4%, y aproximadamente 1% de magnetita diseminada.

Presenta fenocristales de plagioclasas (PGLs) con halos desgastados producto de la argilización, cuarzo (cz), ferromagnesianos (FMGs) como hornblenda (Hbl) y biotita (bt), presenta una alteración leve presentando núcleos o transformación masiva por la epidotización y óxido. La matriz está compuesta de feldespato potásico (FPs K), plagioclasas (PGLs), minerales opacos (OPs) tal como la magnetita.

Muestra P-6. Coordenadas UTM WGS 84 Latitud 9216226 Longitud 773510 Cota 2908 msnm, Fig. 15.

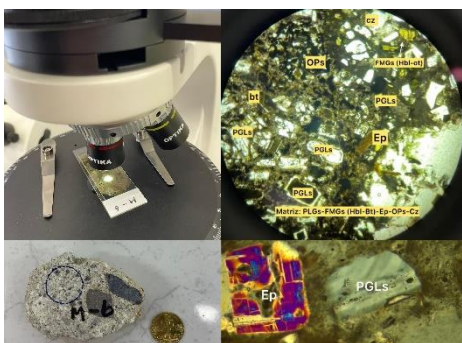


Fig. 15. Muestra P-6

En la Fig. 6, se evidencia Roca Andesita, con fragmentos de color gris en matriz de color gris claro. Presenta textura fanerítica a porfiritica, compuesta por plagioclasas en un

70%, máficos en un 15%, cuarzo en un 10%, y aproximadamente 5% de feldespato.

Observaciones: Se observa que los minerales han sufrido mayor alteración, generalmente argilización en las plagioclasas, oxidación y epidotización de máficos, generando una mala compactación, frágil al fracturamiento.

C. DATOS ESTADISTICOS DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS

En la Fig. 16, se realizó un análisis estadístico de los datos de la caracterización petrológica, destacando la predominancia de rocas de andesita en la zona de estudio, lo que indica una composición volcánica intermedia. La andesita, aunque equilibrada en minerales, es menos resistente a la alteración y más propensa a la descomposición, lo que debilita su cohesión. Esta característica, combinada con las lluvias frecuentes en la región, aumenta la propensión a deslizamientos y movimientos en masa.

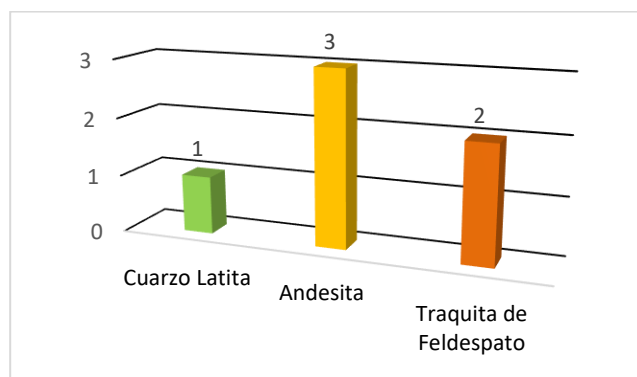


Fig. 16. Clasificación de las rocas

Por otro lado, en la Fig.17 predominancia de rocas con textura fanerítica en la zona, sugiriendo un enfriamiento lento del magma. Sin embargo, la calidad del material rocoso no solo se determina por esta textura, sino también por la composición mineral y la susceptibilidad a la alteración. En el contexto de deslizamientos debido a lluvias frecuentes, la presencia de rocas con textura fanerítica indica una mayor vulnerabilidad a la alteración y fragmentación, lo que contribuye a la inestabilidad del terreno.

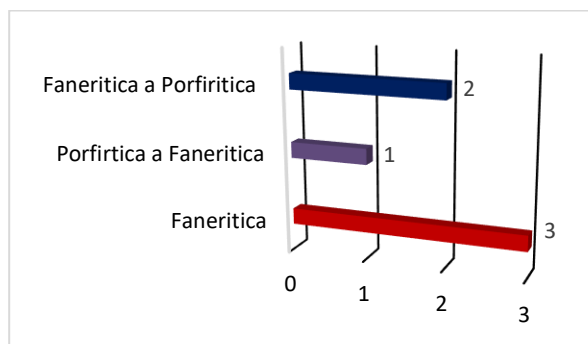


Fig. 17. Textura de rocas

IV. CONCLUSIONES.

La caracterización petrológica de las rocas volcánicas en el deslizamiento de Llushcapampa, Cajamarca-2023 revelan que el 50% de las muestras son rocas andesíticas, el 33.3% traquita de feldespatos y el 16.7% cuarzo latito, evidenciando un notable grado de fracturamiento lo que indica una mala calidad en la roca, generando mayor vulnerabilidad a movimientos gravitacionales y deslizamientos en la zona.

La identificación de alteraciones como argilización y epidotización en las muestras analizadas enfatiza la importancia de considerar los procesos de alteración en la evaluación del riesgo de deslizamientos, ya que estos pueden debilitar aún más la calidad y estabilidad de las rocas.

El análisis de la caracterización petrológica de la zona de deslizamiento confirma su influencia directa en la calidad de la roca, la roca alterada es más vulnerable a la presencia de agua meteórica que se infiltra aprovechando la litología alterada, generándose las superficies de debilidad, lo que a su vez amenaza con dejar sin agua a la ciudad de Cajamarca. Esto resalta la interrelación entre los riesgos geológicos y los impactos socioeconómicos, generando enfoques integrados en la gestión del riesgo.

Se concluye que, la caracterización petrológica de las rocas volcánicas en la zona de deslizamiento de Llushcapampa, Cajamarca, es fundamental para prevenir deslizamientos, proteger la infraestructura y la seguridad de la población. Esto subraya la necesidad de continuar investigando y monitoreando la zona para implementar estrategias efectivas de prevención y mitigación.

REFERENCIAS

[1] I. Alcántara Ayala "Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries," *Geomorphology*, vol. 47, pp. 107-124, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00083-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00083-1). [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X02000831>

[2] E.L. Harp, M.E. Reid, P.J. McKenna y J.A. Michael, "Mapping of hazard from rainfall-triggered landslides in developing countries: examples from Honduras and Micronesia," *Engineering Geology*, vol. 104, pp. 295-311, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.11.010>. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013795208003141>

[3] P. Aleotti y R. Chowdhury "Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives," *Bull Eng Geol Env*, vol. 58, pp. 21-44, Agosto de 1999. <https://doi.org/10.1007/s100640050066>

[4] J. Chacón, C. Irigaray, T. Fernández, et al., "Engineering geology maps: landslides and geographical information systems," *Bull Eng Geol Env*, vol. 65, pp. 341-411, 2006. <https://doi.org/10.1007/s10064-006-0064-z>

[5] M. Vilchez. "Casos históricos de movimientos en masa que causaron grandes daños en Perú," *INGEMMET*, pp. 57-60, 2018.

[6] Municipalidad de Cajamarca. Plan de prevención y Reducción del Riesgo de Desastres ante Peligros de inundación pluvial y movimientos en masa del distrito de Cajamarca 2021-2023," *SIGRID*, 2021. [En línea]. Available: <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/12329>

[7] B.L. Zabala y M. Rosado. "Riesgo Geológico en la región Cajamarca," *INGEMMET*, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, no.

44, pp. 396, 2011. [En línea]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/300>

[8] H. Gómez. "Peligros por deslizamiento en el Sector Llushcapampa. Paraje Llushcapampa, distrito Cajamarca, provincia Cajamarca, región Cajamarca". *INGEMMET*. Informes técnicos no. A6753, pp. 21, Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/810>

[9] Instituto Nacional de Estadística e Informática, "Cajamarca: Compendio Estadístico, 2022", pp. 46, 2022.

[10] A.E. Scheidegger, "Tectonic pre-design of mass movements with examples from the Chinese Himalaya," *Geomorphology*, vol. 26, pp 37-46, Diciembre 1998. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(98\)00050-6](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(98)00050-6). [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X98000506>

[11] Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, "Movimientos en masa en la región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas," *Servicio Nacional de Geología y Minería*, Publicación Geológica Multinacional no. 4, pp. 62, 2007.

[12] F. Salazar, E. Oñate, y R. Morán, "Modelación numérica de deslizamientos de ladera en embalses mediante el Método de Partículas y Elementos Finitos (PFEM)," *RIMNI*, vol. 28, no. 2, pp. 112-123, Abril 2022. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(98\)00050-6](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(98)00050-6). [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X98000506>

[13] A. Carrillo, "Riesgo geotécnico en los Andes peruanos," *Scientia*, 2011.

[14] S.A. Anderson, N. Sitar N., "Analysis of rainfall-induced debris flows," *Revista de Ingeniería Geotécnica*, vol. 121, no.7 pp. 544-552, Julio 1995. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1995\)121:7\(544\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1995)121:7(544))

[15] G. Wang y K. Sassa, "Pore pressure generation and movement of rainfall-induced landslides: effects of grain size and fine particle content," *Engineering Geology*, vol. 69, pp 109-125, Abril 2003. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(02\)00268-5](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(02)00268-5). [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013795202002685>

[16] M. Terlien, "The determination of statistical and deterministic hydrological landslide-triggering thresholds", *Environmental Geology*, vol. 35, pp. 124-130, Agosto 1998. <http://dx.doi.org/10.1007/s002540050299>

[17] G. Crosta, "Regionalization of rainfall threshold: an aid for landslide susceptibility zonation," *Environmental Geology*, vol. 35, pp. 131-145, Agosto 1998. <https://doi.org/10.1007/s002540050300>

[18] G.B. Crosta, P. Frattini, "Distributed modeling of shallow landslides triggered by intense rainfall," *Natural Hazard and Earth System Sciences*, vol. 3, pp. 81-93, Abril 2003. <https://doi.org/10.5194/nhess-3-81-2003>

[19] M.P. Franco y J.C. Gonzalo, "Taller de petrología: enseñanza de la petrología con el microscopio petrográfico", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, vol. 8-1, pp. 38-47, 2000.

[20] E. P. Esparza y J. C. Mayorga, "Estratigrafía y petrografía de la secuencia volcánica Tual-Puruay Traverse Puruay-Llushcapampa (sur de Yanacocha) Cajamarca - Perú", *Rev. Inst. investig. Fac. minas metal cienc. geogr*, vol. 25, no. 49, pp. 11-19, Junio 2022,

[21] S. Chanchaya, Visita de exploración. La Granada, La Libertad, 14 de Septiembre 2022.

[22] R. Le Maitre, *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*, Cambridge University Press, 2002.

[23] A. L. Streckeisen, "To each plutonic rock its proper name," *Earth Science - Reviews* vol. 12, pp 1-33, 1976.

[24] R. Castroviejo, "Fundamentos de Petrografía". *Universidad Politécnica de Madrid*, 1998.

[25] L. Reyes, "Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajambamba. Hojas: 15-f, 15-g, 16-g - [Boletín A 31]," *INGEMMET*, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, no. 31, 67 p, 1980.