



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: www.sgp.org.pe ISSN 0079-1091

Enfoque geomecánico de la ocurrencia de cuerpos intrusivos comprendidos entre los sectores de Michiquillay & El Punre y su relación de emplazamiento dentro de las formaciones geológicas del cretácico Cajamarca, Perú

K. Heras¹ & V. Rivasplata²

¹Ingeniero Geólogo.(kristian_282@hotmail.com)

²Consultor en Geología Estructural y Exploraciones.(vrivasplata@srk.com.pe)

RESUMEN

El área de estudio está ubicada a 25 Km al Este de la ciudad de Cajamarca, comprendido entre el sector de Michiquillay y El Punre, en los distritos de la Encañada y Sorochuco. El sector alberga importantes depósitos tipo pórfido de Cu-Mo como El Galeno y Michiquillay (Davies, 2002; Rivera 2008) y una serie de cuerpos intrusivos de composición diorítica a dacítica (Reyes, L. 1980), las cuales están emplazadas en las formaciones geológicas del cretácico inferior; motivo por el cual este estudio pretende caracterizar a dichas formaciones geológicas en el aspecto geomecánico de su comportamiento y determinar la relación directa que existe entre la resistencia a la compresión uniaxial de las formaciones geológicas versus la geometría de emplazamiento de los cuerpos magmáticos, mostrando una columna estratigráfica que relaciona a la secuencia Cretácica con datos promedios de la resistencia a la compresión uniaxial (MPa) con la composición litológica de las formaciones geológicas.

ABSTRACT

The study area is located 25 km east of the city of Cajamarca, between the sector of Michiquillay and El Punre, in the districts of Encañada and Sorochuco. The sector houses important Cu-Mo porphyry deposits such as El Galeno and Michiquil-

lay (Davies, 2002, Rivera 2008) and a series of intrusive bodies of dioritic to dacitic composition (Reyes, L. 1980), which are located in the formations geologic of the lower Cretaceous; This is the reason why this study aims to characterize these geological formations in the geomechanical aspect of their behavior and determine the direct relationship between the resistance to uniaxial compression of the geological formations versus the geometry of the location of the magmatic bodies, showing a column stratigraphic that relates to the Cretaceous sequence with average data of uniaxial compressive strength (MPa) with the lithological composition of geological formations.

Keywords: Geomechanics, Michiquillay

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El marco geológico regional evidencia un basamento de edad permo-triásica representado por el Grupo Mitu, la cual descansa de manera discordante sobre filitas del Complejo del Marañón, a su vez esta se encuentra infrayace con ligera discordancia a las calizas del Grupo Pucará de edad Jurásica. En el sector Oeste afloran las lutitas negras y laminares de la Fm. Chicama sobre las cuales descansa fuerte discordancia la secuencia del gran delta del Goyllar (Cobbing, J. Et al. 1981) mostrando en la parte inferior a las formaciones siliciclásticas del Chimú, Santa, Carhuaz, Fariat e Inca (Reyes, L. 1980); y, sobreyaciendo de

manera concordante ocurren las formaciones de la plataforma carbonatada del cretácico superior (Cobbing, J. Et al. 1981) constituidas por las formaciones: Chúlec, Pariatambo, Quilquiñán-Mujarrún, Cajamarca y Celendín (Reyes, L. 1980). En el tope de la secuencia cronoestratigráfica del área se aprecia una extensa y potente pila volcánica y volcanoclástica, las cuales fueron emitidas por diversos centros eruptivos a partir el Eoceno inferior al Mioceno superior las cuales constituyen parte de la Cordillera Occidental del Norte del Perú (Navarro, P. Et al. 2010), además de una serie de cuerpos intrusivos asociados a un fallamiento inverso y de cizalla.

GEOLOGÍA DEL ÁREA ESTUDIADA

El área de estudio está definida por cuatro vértices (Ver figura 1) en el cual se ubica el stock mineralizado de Michiquillay y una serie de cuerpos ígneos intrusivos cuyas composiciones varían de diorita a cuarzdiorita; y, se encuentran temporalmente cortando a las secuencias cretácicas que van desde la Fm. Chimú hasta la Fm. Inca (Figura 2).

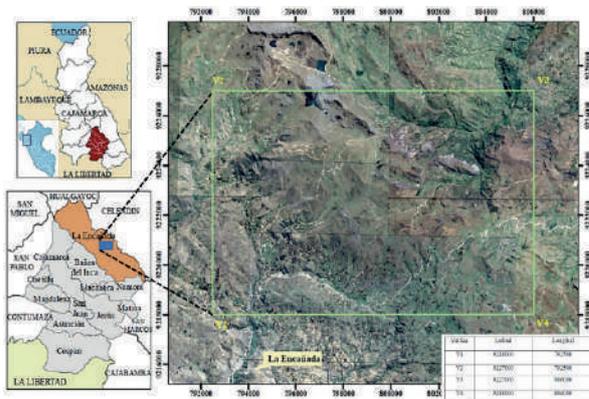


Figura 1. Ubicación.

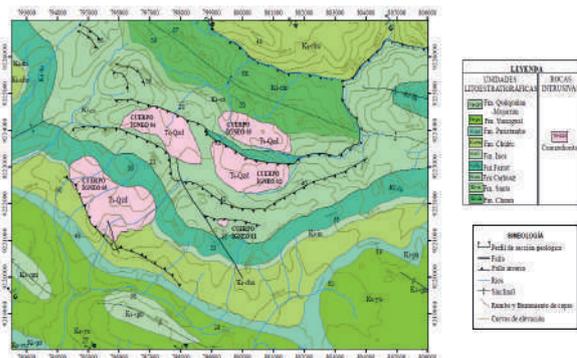


Figura 2. Mapa geológico del área estudiada.

ESTRATIGRAFÍA

Formación Chimú:

La Formación Chimú, aflora yaciendo mayormente en forma concordante, sobre la Formación Chicama (lo más probable es que exista una discordancia paralela) e infrayaciendo con igual carácter a la Formación Santa. (Benavides 1956). Localmente la Formación Chimú se encuentra aflorando en la zona del Sector Punre (Noroeste de la zona de estudio) en contacto con un stock de composición diorítico. Litológicamente está constituida por areniscas cuarzosas compactas de tonalidades grises blanquecinas (Fotografía 2).



Fotografía 1. A la izquierda se observan los estratos de areniscas compactas de la formación Chimú y a la derecha el pórfido cuarzdiorita. Este contacto se observa en la entrada al sector el Punre.

Formación Santa:

La Formación Santa sobreyace a la Formación Chimú e infrayace a la Formación Carhuáz, en ambos casos con discordancia paralela (Benavides, 1956). Litológicamente la Formación Santa consiste en una intercalación de lutitas, calizas margosas y areniscas gris oscuras. Sus afloramientos no son observables ya que se hallan completamente cubiertos por suelos, sin embargo en la zona cercana a la Falla Punre se puede inferir la ubicación de esta formación que sobreyace a estratos de la Formación Chimú (Fotografía 2).

Formación Carhuaz

La Formación Carhuáz yace con suave discordancia sobre la Formación Santa e infrayace concordantemente a la Formación Farrat (Benavides, 1956). Localmente la Formación Carhuáz se encuentra ampliamente distribuida en la zona de estudio, sus afloramientos son observables principalmente en los sectores de Quinuamayo y Micuypampa. Litológicamente esta formación consta de unas alternancias de areniscas rojizas

intercaladas con lutitas grises de origen fluviodeltaico bien estratificadas en capas delgadas y medianas (Fotografía 2), se pueden observar paleocanales característicos en esta formación.



Fotografía 2. Contactos entre las formaciones Chimú, Santa y Carhuaz observado desde el cruce de la carretera Punre-Michiquillay.

Formación Farrat:

La Formación Farrat representa el nivel superior de la parte clástica del Cretácico inferior, esta formación suprayace con aparente concordancia a la Formación Carhuaz y subyace con la misma relación a la Formación Inca (Benavides 1956). Localmente la Formación Farrat está conformada por afloramientos resistentes a la erosión y conformando escarpas y altas cumbres alargadas en la zona de Michiquillay y Quinuamayo. Litológicamente consta de areniscas blanquecinas de grano medio a grueso.

Formación Inca:

La formación Inca infrayace concordantemente a la Formación Chúlec y suprayace con la misma relación a la formación Farrat, con un aparente paso transicional. En diversas zonas de Cajamarca se ha observado que gradualmente se intercalan areniscas calcáreas con lutitas ferruginosas, dando en superficie un matiz rojizo, con evidente acción de limonitización (Benavides, 1956). En la zona de estudio sus afloramientos no son observables ya que se hallan completamente cubiertos por suelos.

Formación Chúlec:

Esta formación suprayace concordantemente a la Formación Inca e infrayace con la misma relación a la Formación Pariatambo (Benavides, 1956). Localmente la formación Chúlec se observa en la zona de Michiquillay y Quinuamayo Bajo, principalmente aflorando en los ríos Chulluamayo y Quinuamayo. Litológicamente, consta de una secuencia bastante fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, la que por intemperismo adquieren un color crema-amarillento.

Formación Pariatambo:

La formación Pariatambo yace concordantemente con la Formación Chúlec e infrayace, con suave discordancia a la Formación Yumagual (Benavides 1956). Litológicamente consiste de una alternancia de lutitas con estratos delgados de calizas bituminosas negruzcas (Figura 30), las calizas presentan nódulos silíceos y un olor fétido característico al fracturarlas. En la zona de estudio esta formación se observa ampliamente en los tramos iniciales de la carretera La Encañada-Celendín (Fotografía 4).



Fotografía 4. Estratos delgados de la Formación Pariatambo constituidos por calizas bituminosas nodulares intercalados con lutitas grises, observados en tramo inicial de corte la carretera La Encañada-Celendín.

Formación Yumagual:

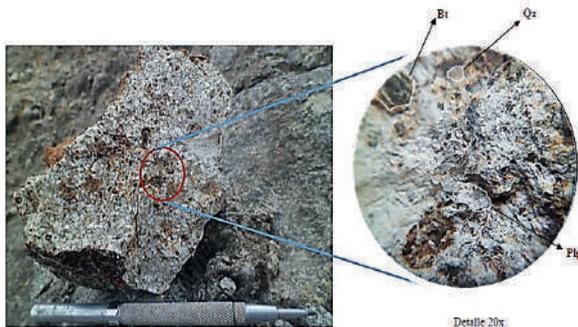
La formación Yumagual suprayace con leve discordancia a la formación Pariatambo e infrayace con aparente concordancia a la formación Mujarrun y Grupo Quilquiñam indiviso (Benavides 1956). Localmente esta formación se observa ampliamente expuesta en los tramos de la carretera Encañada-Celendín (SE de la zona de estudio). Litológicamente la Formación Yumagual consiste en una secuencia de calizas y margas gris parduzcas en bancos consistentes más o menos uniformes, intercalados con escasos niveles de lutitas grises.

ROCAS ÍGNEAS

Cuarzodiorita 1:

Este cuerpo ígneo fue identificado en un tramo inicial de la carretera Quinuamayo- Punre, se encuentra en contacto con la Formación Carhuaz, la roca presenta una textura porfirítica y se encuentra fuertemente meteorizada. La roca aflorante es de color gris blanquecina, de textura porfirítica, principalmente compuesta por cristales de plagioclasa (50%), menor contenido cuarzo (10%) y escaso feldespato potásico (5%), se observa

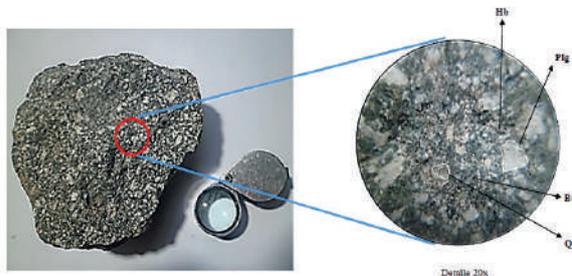
también la presencia de biotita hexagonal. El detalle de la siguiente imagen tomada con ayuda de una lupa permite diferenciar el tono blanquecino de las plagioclasas, el tono claro transparente del cuarzo y también los cristales de biotita.



Fotografía 5. A la izquierda se observa la muestra de mano del cuerpo ígneo plutónico 01. A la derecha la vista de la muestra a detalle 20x en la que se identifica la presencia de Plagioclasa (Plg), Cuarzo (Qz) y Biotita (Bt).

Cuarzodiorita 2:

Este cuerpo ígneo fue identificado en el tramo inicial de la carretera Punre-Michiquillay, presenta textura porfírica y evidente desarrollo de diaclasamiento catafilar. La roca en el cuerpo ígneo plutónico es de color gris, de textura porfídica compuesta principalmente por fenocristales de plagioclasa (45%), menor cantidad de cuarzo (10%) y escasos de feldespato potásico (5%). Se observan además minerales ferromagnesianos como biotita y hornblenda. El detalle de la imagen tomada con ayuda de una lupa permite diferenciar el tono blanquecino de las plagioclasas (Plg), el tono claro trasparente del cuarzo (Qz), los prismas oscuros de la hornblenda (Hb) y las micas de la biotita (Bt).



Fotografía 6. A la izquierda se observa la muestra de mano del cuerpo ígneo plutónico 04. A la derecha la vista de la muestra a detalle 20x en la que se identifica la presencia de Plagioclasa (Plg), Cuarzo (Qz), Biotita (Bt) y Hornblenda (Hb).

PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Este análisis se realizó en campo empleado un Martillo de Schmidt con el fin de determinar la resistencia a la compresión uniaxial de las rocas en las formaciones que afloran en el área de estudio. Se efectuaron un total de cuatro (4) estaciones de ensayos con el martillo de Schmidt, en la parte inicial, intermedia y final de la secuencia estratigráfica

Esta propiedad resulta importante para analizar el emplazamiento de los cuerpos ígneos ya que como se afirma en el estudio realizado por Piquer (2010) el ascenso de importantes volúmenes de magma aprovechan las zonas de debilidad asociadas a sistemas de fallas, en este caso las rocas que presentan menor resistencia a la compresión uniaxial son aquellas que soportan las menor fuerza máxima antes de fallar y como consecuencia resultan más favorables para el emplazamiento de los cuerpos ígneos.

El ensayo consiste en medir la resistencia al rebote de la superficie de la roca ensayada. La medida del rebote se correlaciona con la resistencia a compresión simple mediante un gráfico debido a Miller (1965) que contempla la densidad de la roca y la orientación del martillo respecto del plano ensayado.

Para la realización del ensayo, en primer lugar, se limpió la zona a ensayar, que debe estar libre de fisuras o grietas, eliminando la pátina de roca meteorizada. A continuación, se aplica el martillo, presionando hasta que salta el muelle; el martillo se colocó perpendicular al plano de ensayo. En función de la dureza o resistencia de la roca, el muelle sufre mayor o menor rebote, valor que queda reflejado en una escala situada al costado del aparato. Se realizó en cada punto de medida 10 percusiones con el martillo, eliminando los 5 valores más bajos y tomando el valor promedio de los restantes.

Una vez promediados los 05 valores de rebote más altos de cada una de las estaciones realizadas en campo, se correlaciono estos valores mediante el ábaco de Miller para obtener la resistencia a la compresión simple en función de la densidad de la roca, la inclinación del martillo y el plano ensayado.

El valor del peso específico a usar en el ábaco de Miller para areniscas y calizas identificadas es de 24 kN/m³.



Fotografías 4A, 4B, 4C, 4D, 4E, 4F, 4G. Cálculo del número de rebote de las formaciones geológicas del Cretáceo con el uso del martillo de Schmidt.

PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Los datos obtenidos en campo con el martillo de Schmidt fueron procesados asumiendo una densidad promedio de las rocas de 24 kN/m³ y empleando el ábaco de Miller (Figura 3) en las cuales se calculó la resistencia a la compresión uniaxial en mega-pascales (Tabla 1).

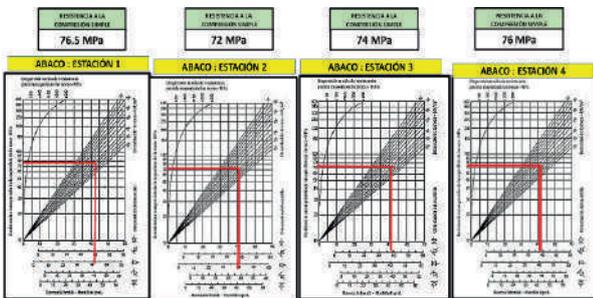


Figura 3. Cálculo de la resistencia a la compresión uniaxial de las formaciones geológicas empleando los datos del martillo de Schmidt en el ábaco de Miller (1965).

Con todos los datos calculados por estación y por formación geológica se procedió a realizar una correlación entre las unidades estratigráficas y su respectiva compresión uniaxial promedio obteniendo una columna estratigráfica (Ver figura

Fm. Chimú		Fm. Carhuaz		Fm. Farrat		Fm. Chulec	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL (MPa)	ESTACIONES	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL (MPa)	ESTACIONES	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL (MPa)	ESTACIONES	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL (MPa)	ESTACIONES
115	115	115	115	78	78	24	24
115	115	115	115	78	78	24	24
115	115	115	115	78	78	24	24
RESISTENCIA PROMEDIO	112.78	RESISTENCIA PROMEDIO	115	RESISTENCIA PROMEDIO	78	RESISTENCIA PROMEDIO	24

Fm. Pariatambo		Fm. Yumagual		Fm. Mujarrum	
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL (MPa)	ESTACIONES	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL (MPa)	ESTACIONES	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAxIAL (MPa)	ESTACIONES
47.5	47.5	76	76	36.5	36.5
48	48	76	76	36	36
48	48	76	76	34.5	34.5
RESISTENCIA PROMEDIO	47.83	RESISTENCIA PROMEDIO	76.33	RESISTENCIA PROMEDIO	35.15

Tabla 1. Datos promedios de la resistencia a la compresión uniaxial de las formaciones geológicas.

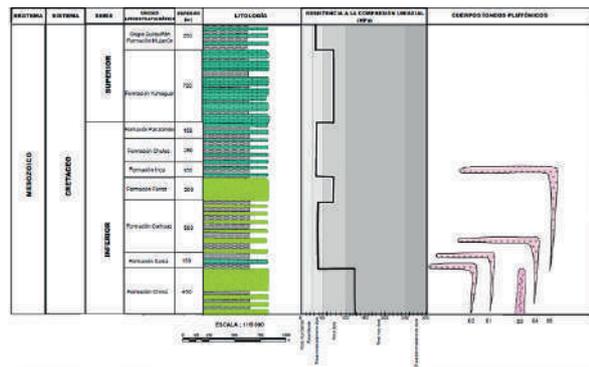


Figura 4. Columna estratigráfica mostrando las características de la resistencia a la compresión uniaxial de las formaciones geológicas.

4) en la que se detalla una de las características geomecánicas de dichas Formaciones geológicas.

Realizando una extrapolación de los datos de compresión uniaxial de las rocas con el contexto geológico observado en campo, se elaboró un plano que caracteriza a cada una de las formaciones geológicas con su respectiva propiedad geomecánica pudiendo observar formaciones de rocas muy duras (Ejm. Fm. Chimú) a moderadamente duras (Ejm. Fm. Chulec).

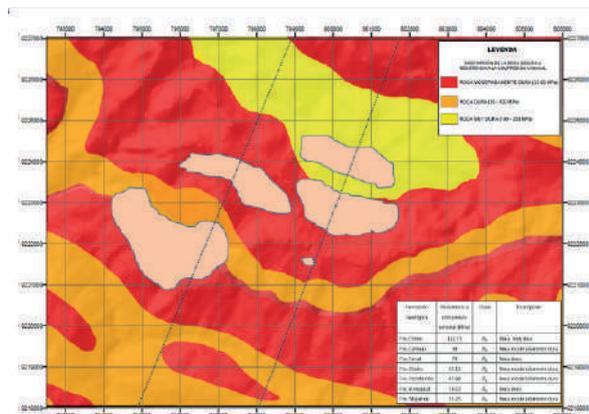


Figura 5. Plano mostrando las características de la resistencia a la compresión uniaxial de las formaciones geológicas.

CONCLUSIONES

- ✓ Realizado el ensayo de compresión uniaxial se concluyó que la formación geológica más resistente identificada en la zona de estudio es la formación Chimú con un valor de 122.75 MPa, seguida por las formaciones Farrat (79 MPa) y Yumagual (74.63 MPa). En contraste las formaciones de menor resistencia son las Pariatambo (47.88), Carhuaz (38 MPa), Chúlec (35.13MPa) y Mujarrún (35.25MPa).
- ✓ Las estructuras de emplazamiento ígneo están ligadas a la resistencia de la roca encajonante, determinándose que el magma durante su ascenso puede cambiar su emplazamiento inicialmente discordante a modo de dique por un emplazamiento concordante a modo de Sill, ya que las unidades geológicas menos resistentes permiten el emplazamiento del magma a través de sus capas débiles constituyendo estructuras cuasi-paralelas a la estratificación.
- ✓ Los cuerpos ígneos plutónicos presentan estructuras de emplazamiento concordante a la roca caja, a modo de Sill, en las formaciones geológicas cuya litología presentan menor resistencia y un comportamiento plástico como las formaciones Santa, Carhuáz, Inca, Chúlec y Mujarrún. En las formaciones cuya roca presenta mayor resistencia, como en las Formaciones Chimú, Farrat y Pariatambo, los cuerpos ígneos constituyen estructuras de emplazamiento discordantes a modo de dique.

RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar en laboratorio ensayos de compresión uniaxial ya que nos permitiría realizar una correlación entre los valores obtenidos en este estudio con los obtenidos con el martillo de Schmidt.
- ✓ Realizar una descripción microscópica de las rocas plutónicas mediante secciones pulidas contribuiría a lograr una mayor exactitud al momento de su clasificación.

BIBLIOGRAFÍA

Benavides, V. (1999) Orogenic evolution of the Peruvian Andes: The Andean Cycle, Society of Economic Geologist, USA, pp 61.

Best, M (2003) Igneous and Metamorphic Petrology, San Francisco-USA, pp 211-225.

Bussell, M (1976) Fracture control of High-lev-

el plutonio contacts in the Coastal batholith of Peru: Proceedings of the geologists association, vol. 87, pp. 237 – 246.

Carenas, M; Ghiner, J; González, J y Pozo, M (2014), Geología, Madrid-España, pp 160-181.

Cruzado, G (2009), Estudio de Geología, Gobierno Regional de Cajamarca, pp 45.

Davies, R (2002) Tectonic, Magmatic and Metallogenic Evolution of the Cajamarca Mining District, Northern Peru, Australia, pp 18, 23,26,56,60,73.

De Vicente, G (2009) Guía ilustrada de los calbagamientos alpinos en el Sistema Central, Madrid-España, pp 5-7.

González, L (2002) Ingeniería Geológica, Madrid-España, pp 130,131, 347,348.

Hollister, V y Sirvas, E (1974) The Michiquillay porphyry copper deposit Mineralium Deposit, USA, pp 261-269.

Huang, W (1968) "Petrología". Unión tipográfica Editorial Hispano Americana, Ciudad de México-México.

Lillo, J y Oyarzun, R (2013) Geología Estructural Aplicada a la Minería y Exploración Minera, Móstoles-España, pp 33-64 .

Llambías, E (2001) Geología de los Cuerpos Ígneos, INSUGEO, Buenos Aires-Argentina, pp 99-139.

Nobre, D., Vidal, C., Perrello, J. y Rodriguez, O. (2004) Space-time relationships of some porphyry Cu-Au, epithermal Au, and other magmatite-related mineral deposits in northern Perú , Society of Economic Geology, Special Publication, N° 11, pp. 313-318.

Piquer, L (2010) El Cenozoico del alto río Teno, Cordillera Principal, Chile Central: estratigrafía, plutonismo y su relación con estructuras profundas, Santiago-Chile, pp 5-10.

Quispe, J (2007) Nuevo Mapa Metalogenético del Perú, Reporte interno del INGEMMET , Lima-Perú, pp 6.

Pardo, F. Y Molnar, P. (1987) Relative motion of the Nazca (Farallón) y South American plate since late Cretaceous time , Tectonic, vol. 6, Massachusetts-USA, pp. 233-248.

Pozo,R (2007) Geología Práctica, Madrid-España, pp 47-53

Reyes, L. (1980) Geología de los Cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba (Boletín Serie A-N°31) Estudio realizado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), pp 21-34.

Rittman, A (1981) Volcanes y su actividad, Stuttgart-Alemania, pp 329.

Rivera, R (2008) Geoquímica Isotópica de Plomo en los Pórfidos Miocénicos del Norte del Perú-Región Cajamarca, Lima-Perú, pp 21-31.

Rivera,R (2007) Características Metalogénicas de los Yacimientos Asociados al Volcanismo Cenozoico en el Norte del Perú, Región Cajamarca, Estudio realizado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Lima-Perú, pp 25-32.

Toselli, A (2009) Elementos Básicos de Petrología Ígnea , Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán-Argentina, pp 91-100.

Wicander, R y Monroe, J (2000) Fundamentos de Geología, Central Michigan University, Michigan U.S.A, pp 70-86.

Wilson, J (1984) Geología del Cuadrángulo de Celendín 14-g (Boletín Serie A-N°318) Estudio realizado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), pp 39-43.