

# Petromineralogía y alteración hidrotermal de la Veta Limoncillo Sur del Morro Solar, Lima, Perú

## Petromineralogy and hydrothermal alteration of the Limoncillo Vein South of Morro Solar, Lima, Peru

Ángelo Aníbal Baldoce da Dionisio <sup>1,a</sup>, Franco Anderson Quispe Vidal <sup>1,b</sup>,  
Wilson Humberto López Abanto <sup>1,c</sup>

Recibido: 01/07/2020 - Aprobado: 30/10/2020 - Publicado: 30/11/2020

### RESUMEN

El presente trabajo de investigación consiste de análisis petromineralógicos y de espectrometría infrarroja para determinar la mineralización y alteraciones hidrotermales en la veta Limoncillo. Esta estructura se halla emplazada en las cuarzoarenitas del Miembro Marcavilca del Morro Solar en Lima, y está asociada a un dique y a una falla sinistral de dirección N-S. El mineral de interés económico está representado por oro nativo diseminado sobre el cuarzo hidrotermal de la veta y, en mayor concentración, en las cuarzoarenitas adyacentes a la Veta Limoncillo. Utilizando la espectrometría infrarroja fue posible determinar dos tipos de alteración hidrotermal: 1) Alteración argílica representada por la asociación mineralógica de caolinita, illita-smectita e illita potásica, los cuales sugieren una temperatura de formación entre 150° y 200°C y un pH moderadamente ácido, con tendencia a neutralizarse; y 2) alteración sub-propilítica evidenciada únicamente por la especie mineral chabasita, la cual, es típica de temperaturas entre 100° y 150°C y un pH neutro a alcalino.

Finalmente, las asociaciones de minerales de alteración reflejan una variación en el pH del fluido (moderadamente ácido a neutro-alcalino), y un rango de temperaturas de 200°C a 61°C, lo cual, indica que la Veta Limoncillo es parte de un sistema de vetas epitermales.

**Palabras clave:** Veta limoncillo; petromineralogía; espectrometría infrarroja; oro nativo; alteración hidrotermal.

### ABSTRACT

This research work consists of petromineralogical analysis and infrared spectrometry to determine mineralization and hydrothermal alterations in the Limoncillo vein. This structure is located in the quartz-arenites of the Marcavilca Member of the Morro Solar in Lima and is associated with a dike and a sinistral fault of N-S direction. The mineral of economic interest is represented by native gold scattered on the hydrothermal quartz of the vein and, in greater concentration, on the quartz arenites adjacent to the Limoncillo Vein. Using infrared spectrometry it was possible to determine two types of hydrothermal alteration: 1) Argillic alteration represented by the mineralogical association of kaolinite, illite-smectite and potassium illite, which suggest a formation temperature between 150 ° and 200 ° C and a pH moderately acid, with a tendency to neutralize; and 2) sub-propylitic alteration evidenced only by the Chabasite mineral species, which is typical of temperatures between 100 ° and 150 ° C and a neutral to alkaline pH.

Finally, the association of alteration minerals reflects a variation on the pH fluid (which is moderately acidic to neutral-alkaline), and allow define the temperature range of 200°C to 61°C, which indicates that the Limoncillo vein would be part of a system of epithermal veins.

**Keywords:** Limoncillo vein; petromineralogic; infrared spectrometry; native gold; hydrothermal alteration.

1 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, E.P Ingeniería Geológica. Av. Venezuela s/n Cuadra 34 Ciudad Universitaria, Lima, Perú.

a Autor para correspondencia: [anghelo.baldoce da@unmsm.edu.pe](mailto:anghelo.baldoce da@unmsm.edu.pe) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4630-5040>

b E-mail: [franco.quispe@unmsm.edu.pe](mailto:franco.quispe@unmsm.edu.pe) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7456-9983>

c E-mail: [wilsonlopezgeo@gmail.com](mailto:wilsonlopezgeo@gmail.com)

## I. INTRODUCCIÓN

El promontorio rocoso del Morro Solar (Figura 1), está ubicado en el distrito de Chorrillos al Sur de Lima Metropolitana, y expone ampliamente una secuencia siliciclástica de facies mareales atribuida al intervalo Valanginiano – Hauteriviano (Jacay, 2005) (Jacay et al., 2015), la cual, está constituida por las formaciones Salto del Fraile, La Herradura y Marcavilca del Grupo Morro Solar (Fernández, 1958) y (Aleman et al., 2006) (Figura 2). El Grupo Morro Solar ha sido ampliamente estudiado en cuanto a su sedimentología (Moulin, 1988, Peña, D.; Bados, R.; Jacay, J.; Moreno, I. y Rodríguez, 2002, López et al., 2002), estratigrafía (Fernández, 1958 y (Aleman et al., 2006), paleontología (Lisson, 1904; Mamani et al., 2010; Chacaltana et al., 2006; Rosselló, C.; Romero, M.; López, W.; Aquino, 2013 y Alleman Haeghebaert, 2015) y en su geología estructural (Ayala et al., 2014); (Ayala Carazas, 2019).

Broggi J. A. (1932) y Fernández (1958). Estos dos últimos autores reportaron leyes de oro (12 g/t y 5.6 g/t respectivamente) en cateos y labores informales en las vetas de cuarzo en la caleta de la playa La Chira y en los alrededores de las ruinas de Armatambo. Sin embargo, no hay más estudios al detalle de índole mineralógica e hidrotermal en el área de estudio que nos permitan conocer la génesis de este proceso. De esta manera, nuestro principal objetivo es aportar información relacionada a las asociaciones mineralógicas y actividad hidrotermal en este sector del Morro Solar.

El presente estudio inicia con el análisis de la veta Limoncillo, ubicada en el lado sur del Morro Solar, precisamente en el paso La Araña, aproximadamente a cien metros del paso que permite el ingreso a la playa La Chira (Figura 1). Se describen los parámetros petrográficos

y mineralógicos del Miembro Marcavilca y el dique Limoncillo; así como, la mineralización presente en la veta. El cartografiado geológico de la veta Limoncillo pone en evidencia aspectos sobre su geología estructural, y finalmente, los análisis de espectrometría infrarroja permitieron elaborar un esquema sobre las alteraciones hidrotermales presentes en la veta Limoncillo.

## II. MÉTODO

El presente trabajo se realizó en las siguientes tres etapas:

**Gabinete 1.** Recopilación bibliográfica sobre la estratigrafía, geología estructural y geología económica del Morro Solar; interpretación de imágenes satelitales y determinación de rutas de accesibilidad a la zona de estudio.

**Campo.** 1) Primera campaña: Recopilación de datos estructurales y reconocimiento de la estratigrafía y litología en los alrededores de la veta Limoncillo. 2) Segunda campaña: Cartografiado geológico de la veta y recolección de muestras de la veta, dique y roca caja.

**Gabinete 2.** Digitalización del cartografiado geológico de la veta e interpretación estructural y descripción macroscópica de la mineralogía de las muestras recolectadas.

**Gabinete 3 (Laboratorio).** Análisis de espectrometría infrarroja de 12 muestras representativas de la Veta Limoncillo obteniendo un total de 148 resultados acerca de su mineralogía. El espectrómetro de campo utilizado fue un TerraSpec Halo, mientras el análisis petromineralógico se dio por medios macroscópicos y microscópicos, tanto de la veta Limoncillo y de la roca caja respectivamente.

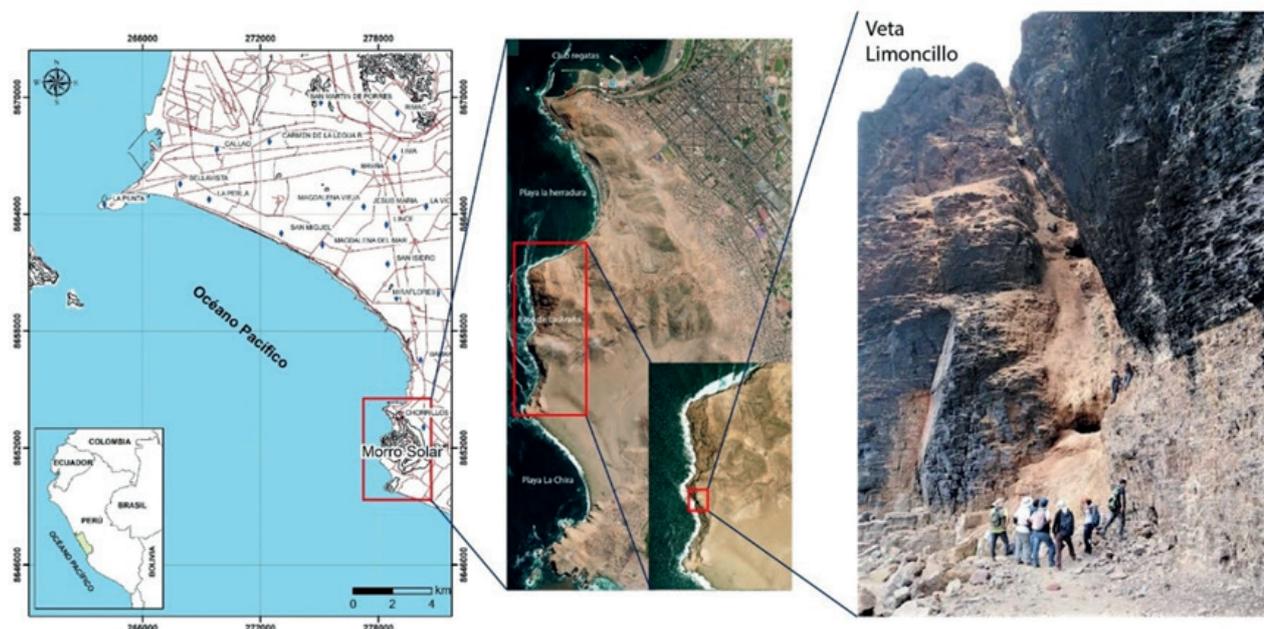


Figura 1. Mapa de ubicación de la veta Limoncillo. Los polígonos rojos delimitan la zona de estudio.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Estudios petromineralógicos

##### 3.1.1 Miembro Marcavilca

El Miembro Marcavilca es la unidad litoestratigráfica intermedia de la Formación Marcavilca, la cual, estratigráficamente, corresponde al Hauteriviano en el Cretácico inferior (Jacay et al., 2015), (Figura 2).

Litológicamente, esta unidad está compuesta por cuarzoarenitas (Folk, 1968); (Pettijohn, 1975) gris claras de granulometría fina a media, con buena selección. Visto al microscopio petrográfico, la roca muestra una predominancia mineralógica de granos cuarzo que, en su mayoría, presentan extinción ondulante. Las formas de los granos son subangulares a subredondeadas y se disponen formando un empaquetamiento tangente-completo con una buena selección o sorting.

En la Figura 3, A y B corresponden a microfotografías en donde se observa que la muestra es cortada por una venilla de carbonatos que exhiben colores de interferencia de alto orden, así como, un relleno intersticial de arcillas y algunos bordes suturados entre los granos de cuarzo. C, D, E y F; muestran fracturas rellenas por plagioclasas euhedrales formas tabulares, rellenos intersticiales de caolinita y escasos minerales opacos.

Las plagioclasas se encuentran parcialmente alteradas a illita/esmectita y corresponden a la intrusión adyacente a estas areniscas.

##### 3.1.2 Dique Limoncillo

El dique Limoncillo corresponde a un cuerpo ígneo que se dispone cortando a las areniscas del miembro Marcavilca a través de un fallamiento sinistral con vergencia al oeste con dirección N-S. En el afloramiento la roca se expone moderadamente alterada debido a la acción de los fluidos hidrotermales, encontrándose parcialmente reemplazada por arcillas.

En las observaciones al microscopio petrográfico (Figura 4), el dique Limoncillo es una andesita de textura microlítica compuesta por microlitos de plagioclasas de composición An50 (andesinas) en su mayoría moderadamente alteradas a arcillas. Los cristales de mayor tamaño de color blanco corresponden a cuarzo de origen hidrotermal y los minerales opacos de formas cuadradas y pentagonales son piritas (7% de abundancia por estimación visual).

##### 3.1.3 Veta Limoncillo

Esta estructura mineralizada, que posee una dirección promedio de N358° y buzamiento promedio 70°NE, se encuentra emplazada entre las cuarzoarenitas del Miembro Marcavilca y el dique Limoncillo a través de una falla sinistral con dirección aproximada N-S.

El oro nativo es la especie mineral que representa la mena de esta estructura. Este mineral se dispone de manera libre diseminado en el cuarzo hidrotermal y, en muy pocos casos, sobre hematita en pseudomorfismos de piritoedros y cubos de pirita. Sin embargo, su mayor concentración se da en las cuarzoarenitas del Miembro Marcavilca adyacentes a la veta (Figura 5). Las propiedades ópticas particulares de este mineral, entre ellas el brillo metálico muy intenso y su destacado color amarillo fuerte, permiten reconocer al oro nativo entre las demás especies minerales.

En cuanto a la ganga, se tiene dos tipos de cuarzo. El primero, un cuarzo cristalizado en formas bipiramidales con un tamaño máximo de 5 mm que se encuentra parcialmente cubierto por óxidos y que presenta bases hexagonales con zonación concéntrica alternándose entre traslúcido y débilmente traslúcidos. El segundo tipo corresponde a un cuarzo predominantemente lechoso que se exhibe a manera de agregados cristalizados bipiramidales. También existen escasas piritas masivas diseminadas, relictos de formas piritoédricas de este mismo mineral ya alterados a hematita y limonita (pseudomorfismo), y grandes oquedades rellenas por hidróxidos de hierro y pequeños cristales de cuarzo (Figura 6).

| Era              | Periodo - época - edad | m.a      | (m)          | Litología    | Grupo       | Formación    | Miembro     |
|------------------|------------------------|----------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| Mesozoico        | Cretácico              | inferior | Hauteriviano | 600          | Morro Solar | Marcavilca   | La Chira    |
|                  |                        |          |              | 500          |             |              | Marcavilca  |
|                  |                        |          |              | 400          |             |              | Morro Solar |
|                  |                        |          | 136          | La Herradura |             | La Herradura |             |
|                  |                        |          | 140          |              |             | La Virgen    |             |
| Salto del Fraile |                        |          |              |              |             |              |             |

Figura 2. Columna estratigráfica esquemática del Grupo Morro Solar. Obsérvese la disposición estratigráfica del Miembro Marcavilca dentro de la Formación Marcavilca de edad Hauteriviano. Tomado de Aleman et al. (2006) y (Jacay et al., 2015)

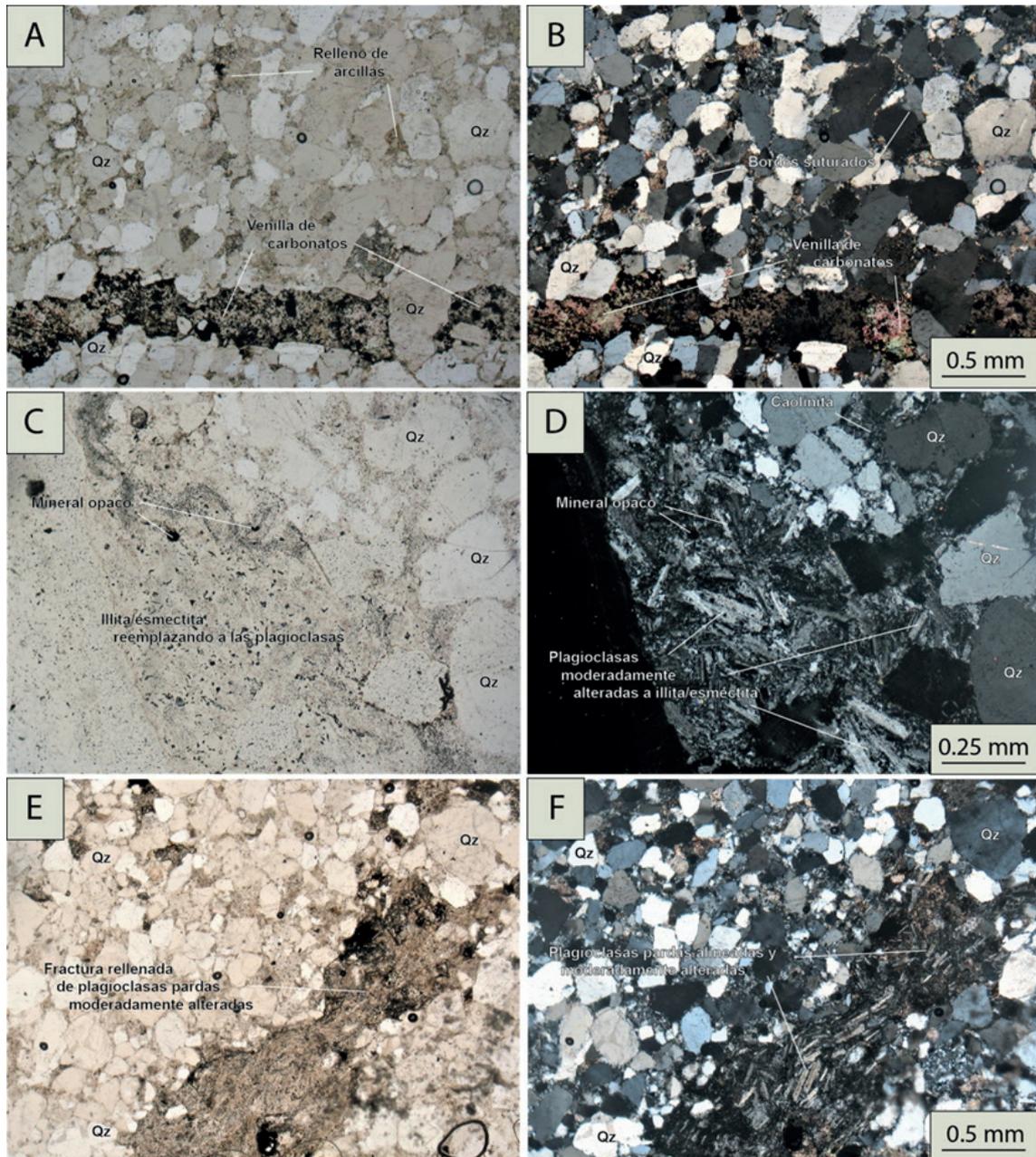


Figura 3. Imágenes microscópicas de las secciones delgadas correspondientes al Miembro Marcavilca. A-F. Textura clástica con empaquetamiento tangente-completo constituida mayoritariamente por granos de cuarzo subangulares a subredondeados.

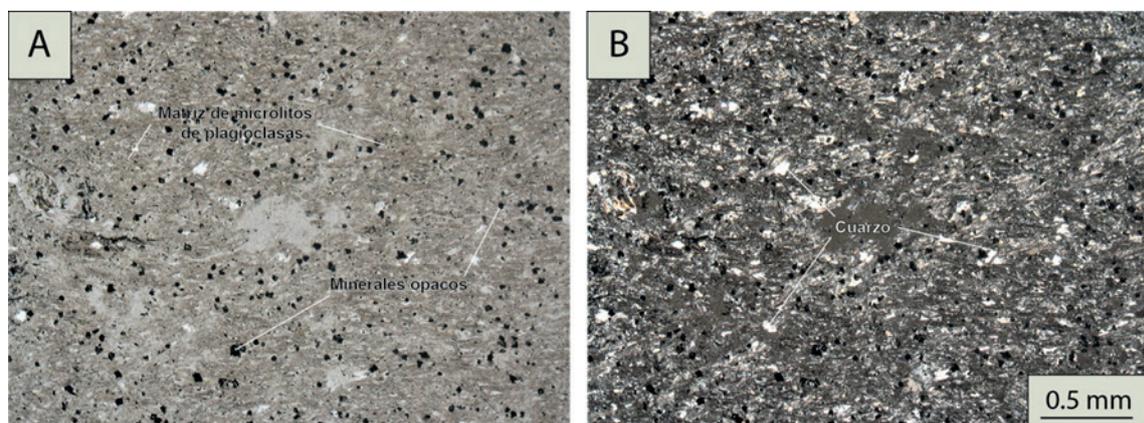
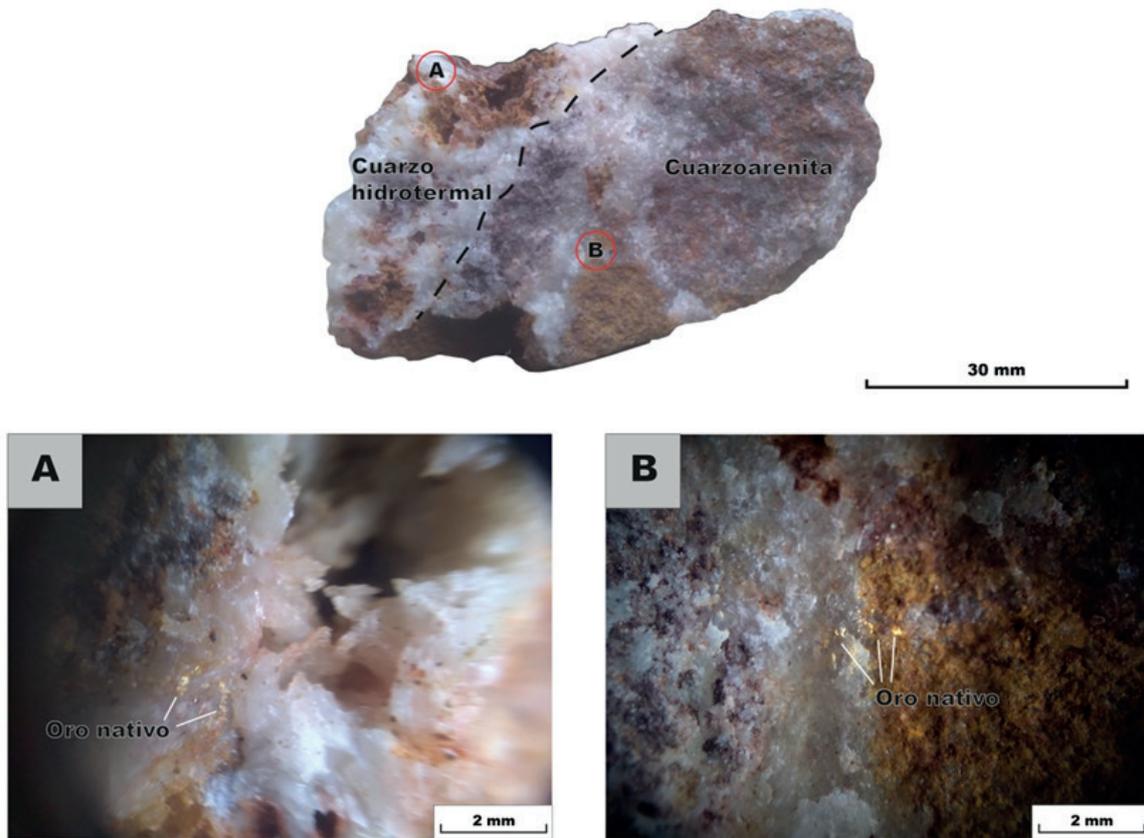


Figura 4. Imágenes microscópicas de las secciones delgadas correspondientes al dique Limoncillo.

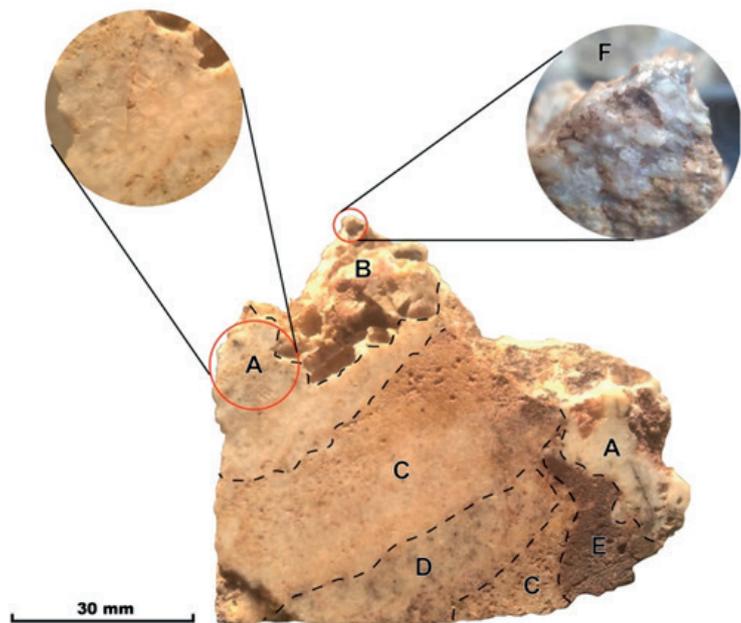


**Figura 5.** La muestra de mano de la parte superior corresponde a la muestra M12 (véase la figura 8). En ella se evidencia que el oro nativo ha precipitado tanto en las cuarzoarenitas del Miembro Marcavilca y en el cuarzo hidrotermal. A y B corresponde a imágenes estereoscópicas en donde se observa el oro nativo con su correspondiente señalización en la muestra de mano.

## Muestra 8

Petromineralogía y alteración hidrotermal de la veta Limoncillo-Zona Sur del Morro Solar, Lima, Perú  
Estudios: Sección pulida y sección doblemente pulida.

- A: Bases hexagonales y cortes longitudinales de cuarzo con zonación oscilatoria (alternancias entre cuarzo lechoso y traslúcido)
- B: Oquedades producto de la lixiviación de pirita, con algunos relictos de hidroxidos de Fe reemplazado cristales piritoédricos de pirita.
- C: Pequeños cristales de cuarzo lechoso en una matriz silíceica con oquedades milimétricas de diferentes tamaños de lixiviación de sulfuros.
- D: Arenisca cuarzosa débilmente silicificada con relleno intersticial de hematita e hidroxidos de Fe.
- E: Franja de Hematita e hidroxidos de Fe y oquedades milimétricas de lixiviación de sulfuros.
- F: Cuarzo hidrotermal traslúcido de formas bipiramidales.



**Figura 6.** Descripción mineralógica macroscópica de la muestra 8. Véase su disposición en la veta Limoncillo en la figura 8.

### 3.2. Geología estructural

#### 3.2.1 Veta Limoncillo

Esta veta presenta una geometría en forma de cuña (Figura 7), siendo aguda en la base y ancha en la parte superior. Esta característica indica que este cuerpo mineralizado se emplazó a partir de un reactivamiento de la falla preexistente que había dado paso al dique, lo cual, generó un mayor daño en la parte superior ofreciendo mayor espacio al fluido hidrotermal para su posterior precipitación.

El cartografiado geológico realizado en la labor principal de la veta en la cota 15 m.s.n.m (Figura 8), revela que la veta tiene una longitud aproximada de 64 m y presenta una variación de espesores generada por los cambios de rumbo de la falla a lo largo de su recorrido. Tomando como base el modelo cinemático de McKinstry (1948) y Woodcock & Fischer (1986) se determina que la falla posee una cinemática sinistral y que los sectores de mayor espesor corresponderían a dúplex extensionales (Figura 9).

### 3.3. Estudios de espectrometría infrarroja

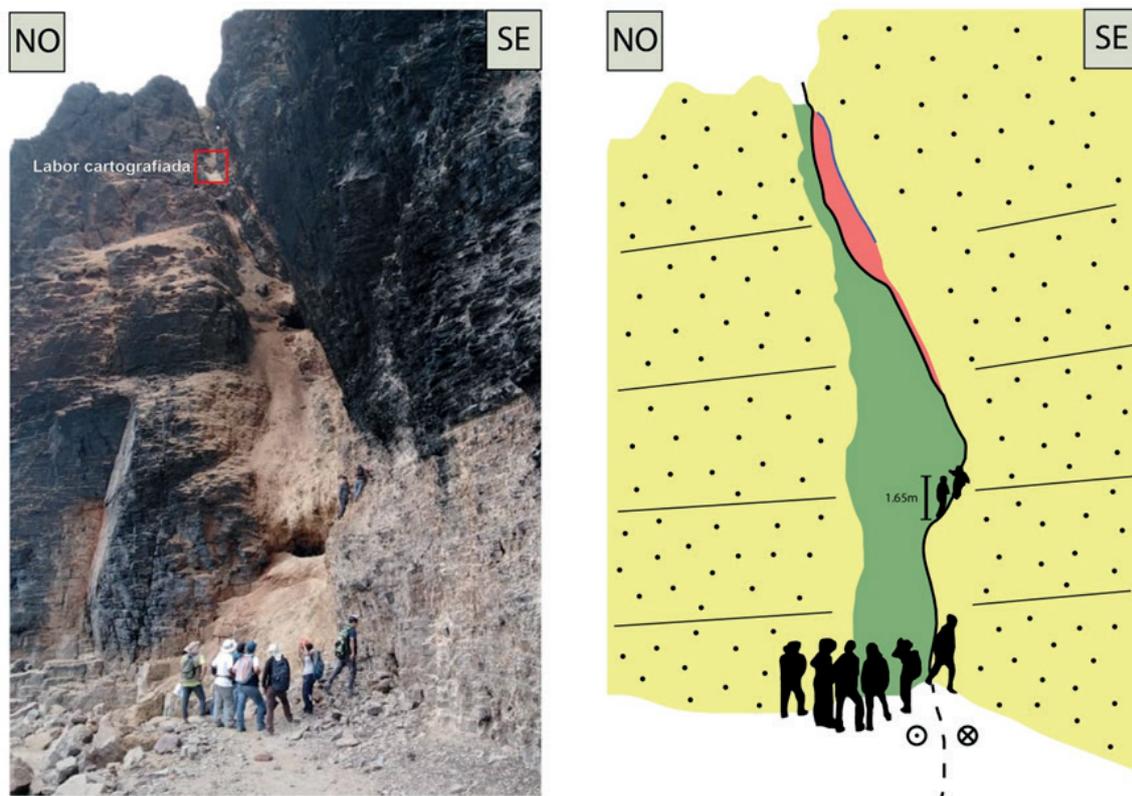
#### 3.3.1 Alteración hidrotermal

El esquema de alteraciones hidrotermales fue diseñado en base a la información de la mineralogía de alteración obtenida con el TerraSpec Halo (Tabla 1). Estas especies

minerales proporcionaron rangos de temperaturas y pH (Tabla 2), información que nos fue útil para interpretar consistentemente el ambiente hidrotermal que correspondería a la génesis de la veta Limoncillo. Se identificaron dos alteraciones hidrotermales.

La alteración argílica en la veta Limoncillo presenta la asociación mineralógica caolinita wx (muy cristalizada), illita-esmectita e illita potásica. La illita potásica es estable a temperaturas mayores que la caolinita, aproximadamente 200° a 300°C. Sin embargo, según Thompson et al., 1996, la illita puede presentarse intercalada con esmectita a manera de illita a menos de unos 200°C, y finalmente sobreponerse sobre la illita pre-existente. En base a esta mineralogía se estableció un rango de temperatura de 150°-200°C con un pH predominantemente ácido que paulatinamente se va neutralizando (pH 3-5). La halloysita, polimorfo de la caolinita, reporta temperaturas entre los 61°-100°C (Joussein, E.; Petit, S.; Churchman, J.; Theng, B.; Right, D. y Delvaux, 2005) y su menor abundancia con respecto a su polimorfo indica que su origen se debe por alteración supérgena a temperaturas muy bajas. Además, según Bauluz Lázaro, 2015, la abundancia relativa de halloysita con respecto a la caolinita decrece con el aumento de la actividad hidrotermal.

La alteración sub-propilítica corresponde a temperaturas bajas y pH predominantemente neutro a alcalino siendo principalmente evidenciado por un grupo



**Figura 7.** Fotografía del afloramiento que corresponde a la veta limoncillo y a la derecha se observa un esquema de la fotografía. Amarillo: cuarzoarenitas, verde: dique Limoncillo, rojo: veta Limoncillo, azul: arenisca mineralizada, línea negra: Falla y su desplazamiento está expresado con la simbología de entrada y salida.

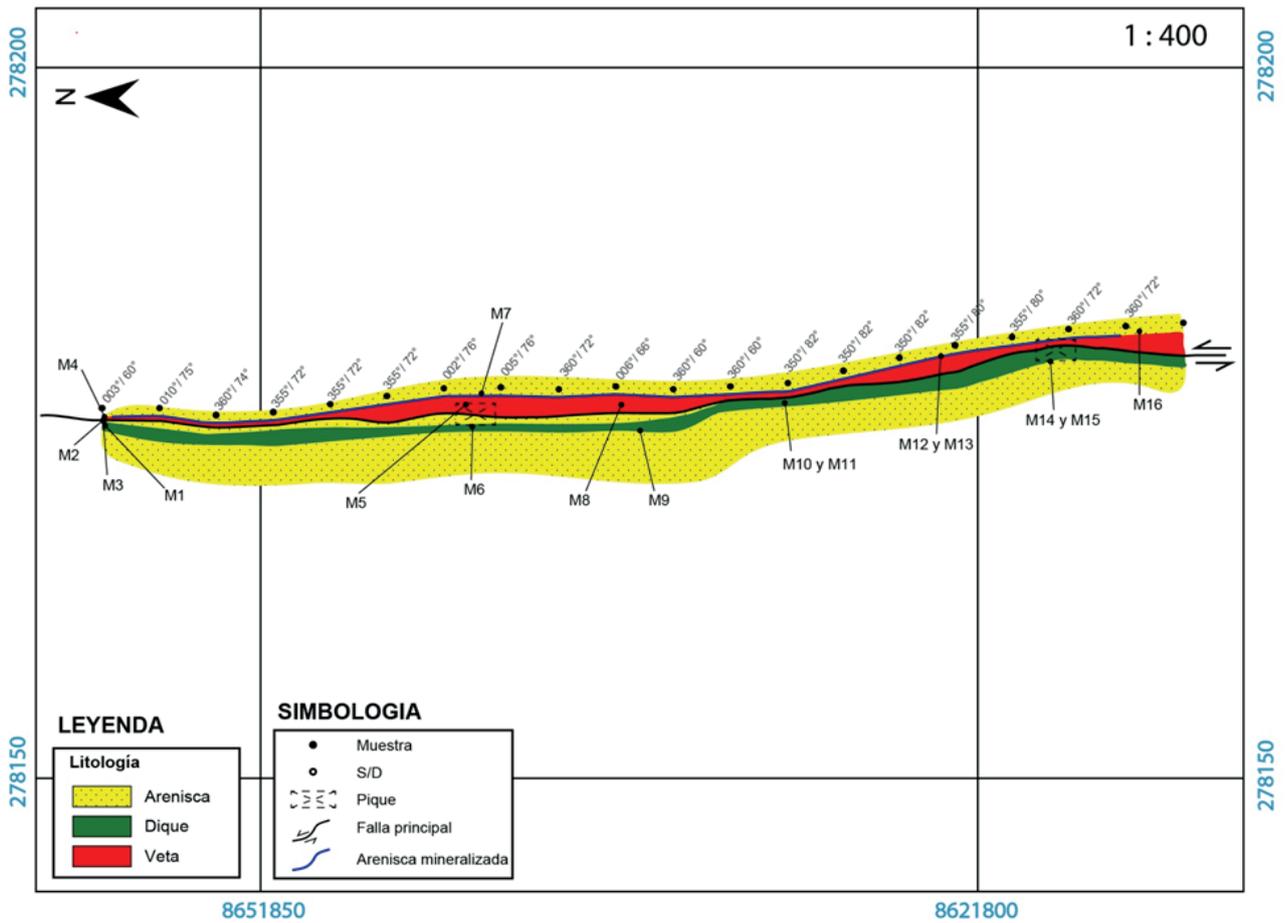


Figura 8. Cartografiado geológico de la veta Limoncillo de la labor indicada en la figura 2. Cota 15 m.s.n.m. En esta labor la veta Limoncillo tiene una longitud de 64 m. Se indica rumbos/buzamientos (S/D), muestra y falla de cinemática sinistral a escala 1:400.

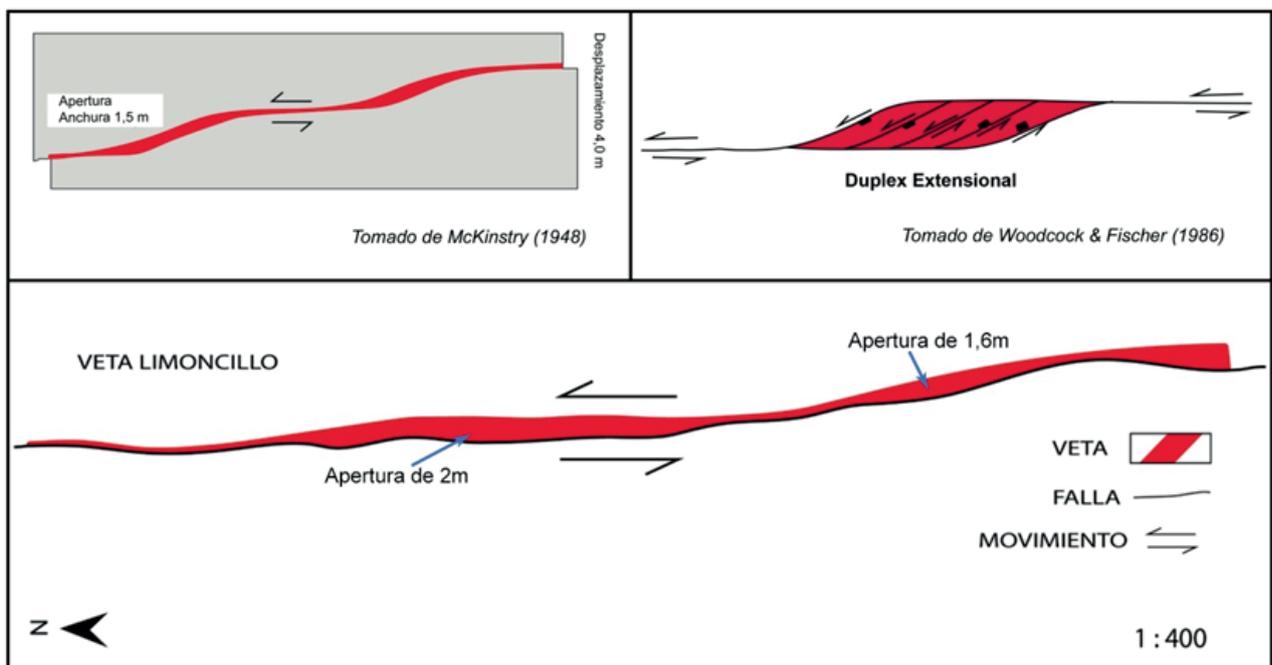


Figura 9. Esquema de estructural de la veta Limoncillo. Nótese las variaciones en el espesor de la veta como resultado de los cambios en el rumbo de la falla de cinemática sinistral. Las aperturas corresponden a dúplex extensionales. Tomado de McKinstry (1948); tomado de Woodcock & Fischer (1986) modificado por los autores (2019).

de zeolitas de origen hidrotermal. En el caso de la veta Limoncillo, la chabasita es la única especie mineral que representa esta alteración hidrotermal indicando un rango de temperatura entre 100°-150°C (Bish David L. & Ming Douglas W., 2001) con un pH neutro a ligeramente alcalino.

**IV. DISCUSIONES**

**4.1. Roca caja y Roca huésped**

Los análisis petrográficos realizados en las cuarzoarenitas del Miembro Marcavilca adyacentes a la veta Limoncillo indican que esta roca posee un buen sorting, es decir, una buena homogeneidad en el tamaño de los granos; y una cantidad moderada de fracturas rellenas con carbonatos y plagioclasas. Estas dos principales características indican que estas areniscas poseen una buena permeabilidad primaria y secundaria, lo cual, favoreció el emplazamiento del oro nativo sobre esta roca en un ancho de 15 cm. Por lo tanto, el Miembro Marcavilca corresponde a una roca caja y roca huésped.

Por otro lado, se considera al dique Limoncillo como roca caja por estar en contacto con la veta Limoncillo y haber sido afectado por la alteración hidrotermal.

**4.2. Mineralización económica**

Si bien las leyes de oro obtenidas por Broggi J. A. (1932) y Fernández (1958), (12 g/t y 5.6 g/t respectivamente) son altas, es necesario realizar estudios estructurales y mineralógicos que abarquen todas las vetas de cuarzo y oro del Morro Solar. De esta manera se podrá afirmar si existe un potencial económico en cuanto a la mineralización en la zona de estudio, considerando la coyuntura financiera actual.

**4.3. Alteración hidrotermal**

En base a las alteraciones hidrotermales identificadas (argílica intermedia y subpropilítica), se observa una variación del pH del fluido (moderadamente ácido a neutro), y un rango de temperatura promedio entre 200°C a 61°C, lo cual, en base al cuadro de minerales de alteración de (Corbett & Leach, 1998) (Figura 10), se determina que la veta está asociado a un sistema de vetas epitermales.

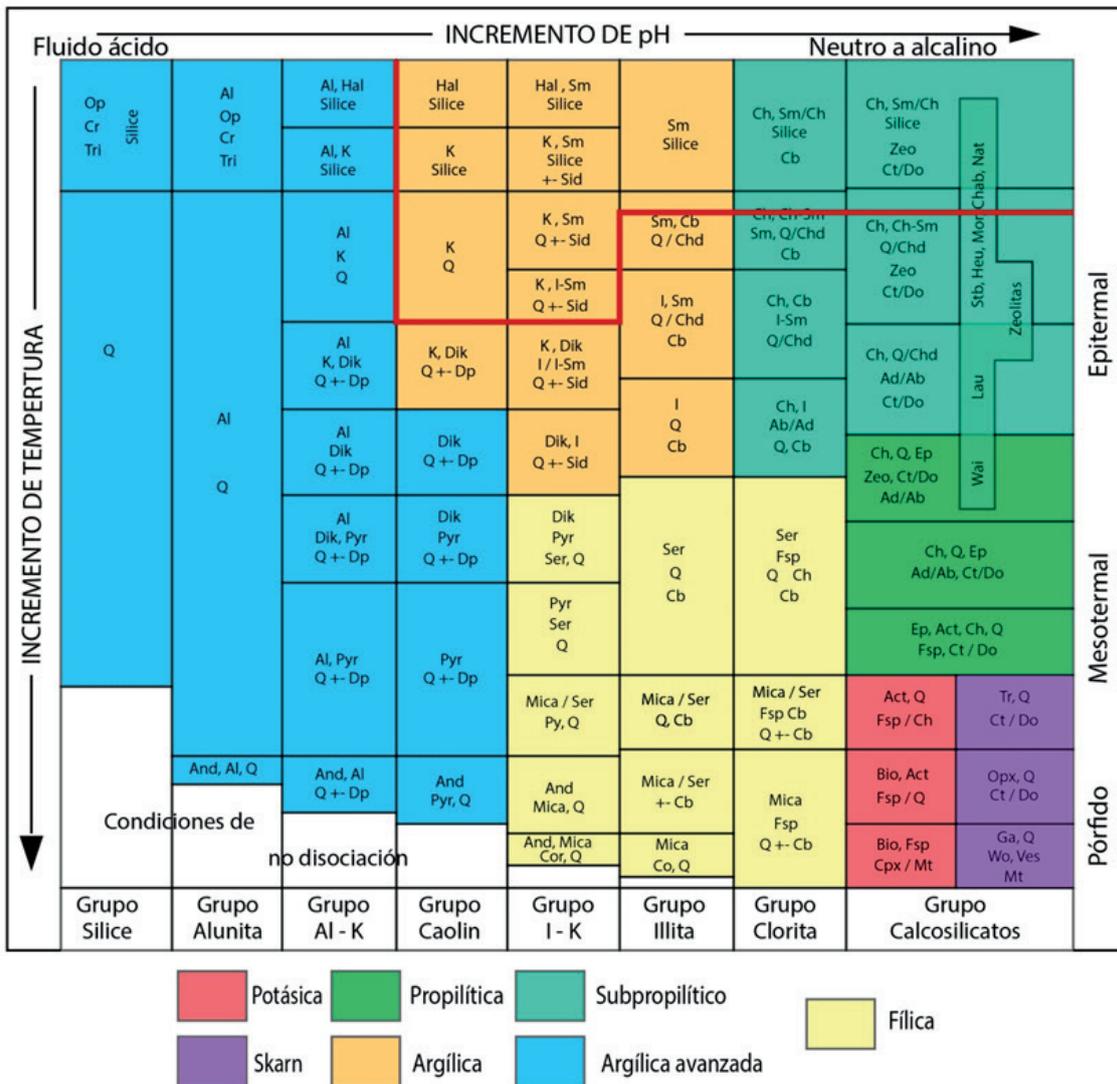


Figura 10. Minerales de alteración común en un sistema hidrotermal, tomado de Corbett & Leach (1998). El polígono amarillo encierra las asociaciones mineralógicas identificadas y las condiciones de temperatura y pH del estudio.

## V. CONCLUSIONES

Las observaciones petrográficas de las cuarzoarenitas del Miembro Marcavilca evidencian que esta unidad posee buena porosidad y permeabilidad primaria y secundaria. Por esta razón el Miembro Marcavilca representa un nivel favorable para mineralización de oro nativo.

La mineralización económica es representada solamente por oro nativo visible diseminado en el cuarzo hidrotermal y, en mayor concentración, en un ancho de 15 cm de las cuarzoarenitas adyacente a la veta.

La espectrometría infrarroja fue útil para determinar las especies minerales arcillosas no diferenciables a simple vista y su abundancia semicuantitativa de estas en las muestras. Con la información obtenida se generó una tabla de minerales y cantidad de mineral para, posteriormente, dar prioridad a los minerales de alteración y tener una idea de su origen y/o condiciones de formación (T° y pH) que indican estos minerales. De esta manera se identificaron dos alteraciones hidrotermales. 1) argílica o argílica intermedia y 2) subpropilítica.

En base a las alteraciones hidrotermales identificadas, se observa una variación del pH del fluido (moderadamente ácido a neutro), un rango de temperatura promedio entre 200°C a 61°C y se determinó que la veta está asociado a un sistema de vetas epitermales.

Abreviaturas de minerales: Ab: Albita; Act: Actinolita; Ad: Adularia; Al: Alunita; And: Andalucita; Bio: Biotita; Cb: Carbonatos (Ca, Mg, Mn, Fe); Ch: Cloritas; Chab: Chabasita; Chd: Calcedonia; Ch-Sm: Cloritas-esmectita; Cor: Corindón; Cpx: Clinopiroxeno; Cr: Cristoblitita; Ct: Calcita; Do: Dolomita; Dik: Dickita; Dp: Diaspora; Ep: Epidota; Fsp: Feldespatos; Ga: Granates; Hal: Halloysita; Heu: Heulandita; I: Illita; I-Sm: Illita-esmectita; K: Caolinita; Lau: Laumontita; Mt: Magnetita; Mor: Mordenita; Nat: Natrolita; Op: Sílice opalino; Pyr: Pirofilita; Q: Cuarzo; Ser: Sericita; Sid: Siderita; Sm: Esmectita; Stb: Estibina; Tr: Tremolita; Tri: Tridimita; Ves: Vesubianita; Wai: Wairakita; Wo: Wollastonita; Zeo: Zeolita.

## VI. AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar un agradecimiento al ing. Paul Vargas (Lima) por habernos apoyado a realizar los análisis de espectrometría infrarroja en su laboratorio de la empresa REFLEX; al ing. Andrés Yparraguirre (UNMSM, Lima) por el apoyo en los estudios petrominerográficos en el laboratorio de la empresa F.A Ingenieros; a la ing. Janeth Quiñones (UNMSM, Lima) por habernos permitido el uso de los microscopios petrográficos del laboratorio de microscopía de la escuela de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos; a la ing. Maritza Campián (UNMSM, Lima) por el apoyo en la revisión de las muestras de la veta Limoncillo; al ing. Carlos Toledo (Lima) e PhD. Aldo Alván (UNMSM, Lima) por sus recomendaciones en la redacción del texto y finalmente a todos nuestros compañeros estudiantes que nos apoyaron en las campañas de campo.

## VII. REFERENCIAS

- Aleman, A., Benavides, V., & León, W. (2006). *Excursión Geológica "Estratigrafía, Sedimentología y Evolución Tectónica del Área de Lima."* [https://www.gpgservicesec.com/download/peru/Guia-de-Campo-Excursion-Geologia-LIMA\\_PERU-2006.pdf](https://www.gpgservicesec.com/download/peru/Guia-de-Campo-Excursion-Geologia-LIMA_PERU-2006.pdf)
- Alleman Haeghebaert, V. (2015). *Clave de identificación de las especies de Ammonoidea del Grupo Morro Solar, Valanginiano-Hauteriviano de Lima, Perú.* <http://v-beta.urp.edu.pe/pdf/id/10651/n/no-110-alleman-2014-clave-ammonoidea-morro-solar-lima.-res.-ext.-xviicongr.-per.-geolo-pp.-4-pp.pdf>
- Ayala Carazas, L. A. (2019). *Influencia de la tectónica del Antearco peruano en el mecanismo de deformación del Morro Solar mediante el análisis estructural.* Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica Vol. 22 Núm. 43 (2019). <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/iigeo.v22i43.16699>
- Ayala, L., Cuipa, E., & Gutierrez, N. (2014). Cartografiado e interpretación estructural del sector norte del Morro Solar, departamento de Lima, Perú. *XVII Congreso Peruano de Geología, November, 7–11.* <https://doi.org/10.13140/2.1.4907.4247>
- Bauluz Lázaro, B. (2015). Halloysite and kaolinite: two clay minerals with geological and technological importance. *Revista de La Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza, 70, 7–38.* [https://www.researchgate.net/publication/290190661\\_HALLOYSITE\\_AND\\_KAOLINITE\\_TWO\\_CLAY\\_MINERALS\\_WITH\\_GEOLOGICAL\\_AND\\_TECHNOLOGICAL\\_IMPORTANCE](https://www.researchgate.net/publication/290190661_HALLOYSITE_AND_KAOLINITE_TWO_CLAY_MINERALS_WITH_GEOLOGICAL_AND_TECHNOLOGICAL_IMPORTANCE)
- Bish David L. & Ming Douglas W. (2001). *Natural Zeolites Occurrence, Properties, Applications.* De Gruyter. <https://doi.org/https://doi.org/10.1515/9781501509117>
- Broggi J. A. (1932). *A propósito de unos Piritos de Limonita del Morro Solar.* Boletín de La Sociedad Geológica Del Perú, (5). <https://www.sgp.org.pe/category/bibliovirtual/?result=3552>
- Chacaltana, C., Romero, D., Hovikoski, J., Jaimes, F., & Prado, H. N. del. (2006). ICNOFACIES EN LA BASE DE LA FORMACIÓN MARCAVILCA: ASOCIACIONES ICNOLITOLÓGICAS Y ANÁLISIS PALEOAMBIENTAL. *Resúmenes XIII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos Sociedad Geológica Del Perú, 603–606.* <https://es.calameo.com/read/000820129d87107c4613a>
- Corbett, G. J., & Leach, T. M. (1998). *Southwest Pacific Rim gold-copper systems: structure, alteration, and mineralization.* Society of Economic Geologists. <https://doi.org/https://doi.org/10.5382/SP.06>
- Fernández, J. (1958). *Geología del Morro Solar-Lima.* Boletín de La Sociedad Geológica Del Perú, (33). <https://www.sgp.org.pe/category/bibliovirtual/?result=3848>
- Folk, R. (1968). Petrology of Sedimentary Rocks. In D. M. Hemphill's (Ed.), *University Station.* <https://doi.org/10.1017/cbo9780511626487>
- Jacay, J. (2005). ANÁLISIS DE LA SEDIMENTACIÓN DEL SISTEMA CRETÁCEO DE LOS ANDES DEL PERÚ CENTRAL. *Revista Del Instituto de Investigación de La*

- Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 8(15), 49–59. [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bivirtualdata/publicaciones/geologia/Vol8\\_N15/a08.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bivirtualdata/publicaciones/geologia/Vol8_N15/a08.pdf)
- Jacay, J., Apaza, P., Bedia, C., Calizaya, L., Lopez, W., Mamani, Y., Romero, M., & Rossello, C. (2015). Desarrollo de secuencias volcánicas y de plataforma del mesozoico de la paleomargen andina del Perú central. *XIV Congreso Geológico Chileno*, 711–713.
- Joussein, E.; Petit, S.; Churchman, J.; Theng, B.; Right, D. y Delvaux, B. (2005). *Halloysite clay minerals – a review*. *Clay Minerals*, 40. <https://doi.org/https://doi.org/10.1180/0009855054040180>
- Lisson, C. (1904). *Los Tigillites del Salto del Fraile y algunas Sonneratia del Morro Solar (Amazon Web)*. Cuerpo de Ingenieros de Minas Del Perú, n. 17. <https://www.amazon.es/Boletín-Cuerpo-Ingenieros-Classic-Reprint/dp/0282767207>
- López, W., Jacay, J., Rojas, L., Ayala, L., Rosselló, C., & Romero, M. (2015). SEDIMENTOLÓGICO E ICNOLÓGICO DEL MIEMBRO MARCAVILCA ( FORMACIÓN MARCAVILCA – MORRO SOLAR , LIMA ): IMPLICANCIAS PALEOAMBIENTALES. *XIV Congreso Geológico Chileno*. [https://www.researchgate.net/publication/313903651\\_Sedimentologia\\_e\\_icnologia\\_del\\_Miembro\\_Marcavilca\\_Formacion\\_Marcavilca\\_-\\_Morro\\_Solar\\_Lima\\_Implicancias\\_paleoambientales](https://www.researchgate.net/publication/313903651_Sedimentologia_e_icnologia_del_Miembro_Marcavilca_Formacion_Marcavilca_-_Morro_Solar_Lima_Implicancias_paleoambientales)
- Mamani, M., Wörner, G., & Sempere, T. (2010). Geochemical variations in igneous rocks of the Central Andean orocline (13°S to 18°S): Tracing crustal thickening and magma generation through time and space. *Bulletin of the Geological Society of America*, 122(1–2), 162–182. <https://doi.org/10.1130/B26538.1>
- McKinstry, H. E. (1948). Mining Geology 1. *Nature*, 74(1925), 520–521. <https://doi.org/10.1038/074520a0>
- Moulin, N. (1988). *Facies y ambiente sedimentarios de la Formación Salto del Fraile (Cretáceo inferior de Lima-Perú)*. *Bol. Soc. Geol. Del Perú*, 78. <https://www.sgp.org.pe/category/bibliovirtual/?result=4256>
- Peña, D.; Bados, R.; Jacay, J.; Moreno, I. y Rodríguez, B. (2002). *Análisis Sedimentológico de la Formación Salto del Fraile (Grupo Morro Solar), Costa del Perú Central*. *Boletín de La Sociedad Geológica Del Perú*, 93. <https://www.sgp.org.pe/category/bibliovirtual/?result=4385>
- Pettijohn, F. J. (1975). *Sedimentary Rocks*. Scientific Research Publishing. [https://www.scrip.org/\(S\(351jmbntvnsjtlaaadkposzje\)\)/reference/References.aspx?ReferenceID=1343506](https://www.scrip.org/(S(351jmbntvnsjtlaaadkposzje))/reference/References.aspx?ReferenceID=1343506)
- Rosselló, C.; Romero, M.; López, W.; Aquino, V. (2013). *Fauna AMMONOIDEA del Miembro La Virgen (Formación La Herradura-Gpo. Morro Solar): Implicancias paleoambientales*. Libro de Resúmenes: I Simposio Internacional Paleontología Del Perú. INGEMMET. [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/INGEMMET\\_1c057dc96f481d00e38e31527f26bfd9](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/INGEMMET_1c057dc96f481d00e38e31527f26bfd9)
- Thompson, A. J. B., Thompson, J. F. H., Allen, R. L., Barrett, T. J., Browne, P. R. L., Clemson, J. E., Dunne, K. P. E., Ettliger, A. D., Gibson, H. L., Groat, L. A., Hannington, M. D., Hawke, M. M., Jowett, E. C., Lang, J. R., Leitch, C. H. B., Lentz, D. R., Macdonald, A. J., McLeod, M., Martin, R. F., ... Zeigler, J. F. (1996). Atlas of Alteration: A Field and Petrographic Guide to Hydrothermal Alteration Minerals. In *Geological Association of Canada* (p. 119). <https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=36433>
- Woodcock, N. H., & Fischer, M. (1986). Strike-slip duplexes. *Journal of Structural Geology*, 8(7), 725–735. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(86\)90021-0](https://doi.org/10.1016/0191-8141(86)90021-0)