

**SGP**
FUNDADA 1924**Boletín de la Sociedad Geológica del Perú**journal homepage: www.sgp.org.pe

ISSN 0079-1091

Potenciales reservorios naturalmente fracturados en la cuenca Salaverry relacionados con el magmatismo Hauteriviano-Barremiano (Formación Pucusana): Nuevas dataciones U-Pb y Ar-Ar

Carlos Llerena, Kiko Valencia, Darwin Romero, y Daniel PeñaSavia Perú S. A., Av. Rivera Navarrete 501, Piso 11, San Isidro, Lima (carlos.llerena@saviaperu.com)

1. Introducción

La cuenca Salaverry es una cuenca de antearco cenozoica (Thornburg & Kulm, 1980) ubicada en el margen continental peruano (Romero et al., 2010). Tiene un relleno sedimentario y volcano-sedimentario de edad Jurásico-Cretácico. La exploración por hidrocarburos en la cuenca Salaverry considera como reservorios convencionales a las secuencias arenosas del Cenozoico, y como potenciales reservorios naturalmente fracturados a las rocas volcánicas del Grupo Puente Piedra (Jurásico superior), las areniscas del Grupo Morro Solar (Valanginiano), las rocas volcánicas del Grupo Casma (Hauteriviano-Albiano-Cenomaniano), y a rocas intrusivas del Mesozoico.

Los reservorios naturalmente fracturados (RNF) forman un buen y creciente porcentaje de las reservas de hidrocarburos en el mundo, aunque éstos son complicados y difíciles de evaluar (Nelson, 2001). Referente a este tipo de reservorios, Llerena (2011) realizó un análisis estructural de la costa central del Perú entre las localidades de Chimbote y Ancón con el objetivo de evaluar los potenciales RNF de la cuenca Salaverry. En dicho estudio se evaluó 20 estaciones de trabajo de campo considerando la variación cronológica y la distribución espacial de las rocas jurásicas y cretácicas que afloran en la costa. El análisis estructural mostró 8 sistemas de fracturas principales, los mismos que fueron interpretados como correspondientes a 4 sistemas conjugados de fracturas originados diacrónicamente. Además se interpretó la dirección y la cronología de los esfuerzos principales que originaron los principales canales de flujo para el potencial RNF en la cuenca

Salaverry. Además se determinó la porosidad de fracturas y permeabilidad en cada estación y los valores fueron extrapolados a condiciones de reservorio con resultados consistentes. Asimismo en aquel estudio se diferenció únicamente tres unidades estratigráficas: las rocas volcánicas del Grupo Puente Piedra, las areniscas del Grupo Morro Solar, las rocas volcánicas del Grupo Casma, y los intrusivos del Batolito de la Costa.

Este estudio presenta recientes dataciones U-Pb y Ar-Ar de rocas intrusivas que afloran en diferentes islas al SO de Huacho, donde se ha podido diferenciar lo que se consideraba como la superunidad Linga del Hauteriviano-Barremiano (Pitcher et al., 1980) y por consiguiente a su equivalente volcánico, la Formación Pucusana. Asimismo se ha identificado intrusivos pertenecientes al Batolito de la Costa. Una vez definidas estas unidades volcánicas e intrusivas, se pudo evaluar el potencial que tienen estas rocas como reservorios naturalmente fracturados (RNF) y la prolongación que tienen hacia la cuenca Salaverry.

2. Marco geológico regional

La zona de estudio se ubica entre las localidades de Huacho y Chancay (Fig. 1). La estratigrafía del área de estudio se muestra en la Figura 2. Las rocas más antiguas se ubican al sur, en el área de Lima, que corresponden a secuencias volcánicas y volcano-sedimentarias del Grupo Puente Piedra del Jurásico superior. Sobreyacen a la unidad anterior areniscas y lutitas del Grupo Morro Solar del Valanginiano: esta unidad, con características

esencialmente sedimentarias, no muestra ninguna evidencia de actividad volcánica contemporánea. Suprayaciendo a esta unidad se tiene las lutitas y calizas de la Formación Pamplona del Valanginiano superior-Hauteriviano y seguidamente las calizas de la Formación Atocongo del Hauteriviano-Barremiano (Fig. 2). Contemporáneamente con la parte superior de la Formación Pamplona y con la Formación Atocongo se observa la restauración del magmatismo en el Hauteriviano-Barremiano (~130-127 Ma): la actividad volcánica lo representa la Formación Pucusana y la intrusiva estaba reconocida al sur de Lima entre Pucusana

y Chincha ("superunidad Linga"), mientras que hacia el norte de Lima no se había definido aún estas unidades. Posteriormente a los depósitos de la Formación Pucusana se tiene los depósitos volcano-sedimentarios del Grupo Casma del Aptiano-Cenomaniano, y finalmente los volcánicos de la Formación Quilmaná del Maastrichtiano. Todas las unidades estratigráficas descritas anteriormente se hallan afectadas por fallas, pliegues y sistemas de fracturas por efecto de los diferentes eventos tectónicos, tanto compresivos como de extensión, producto de la subducción de la placa de Nazca.

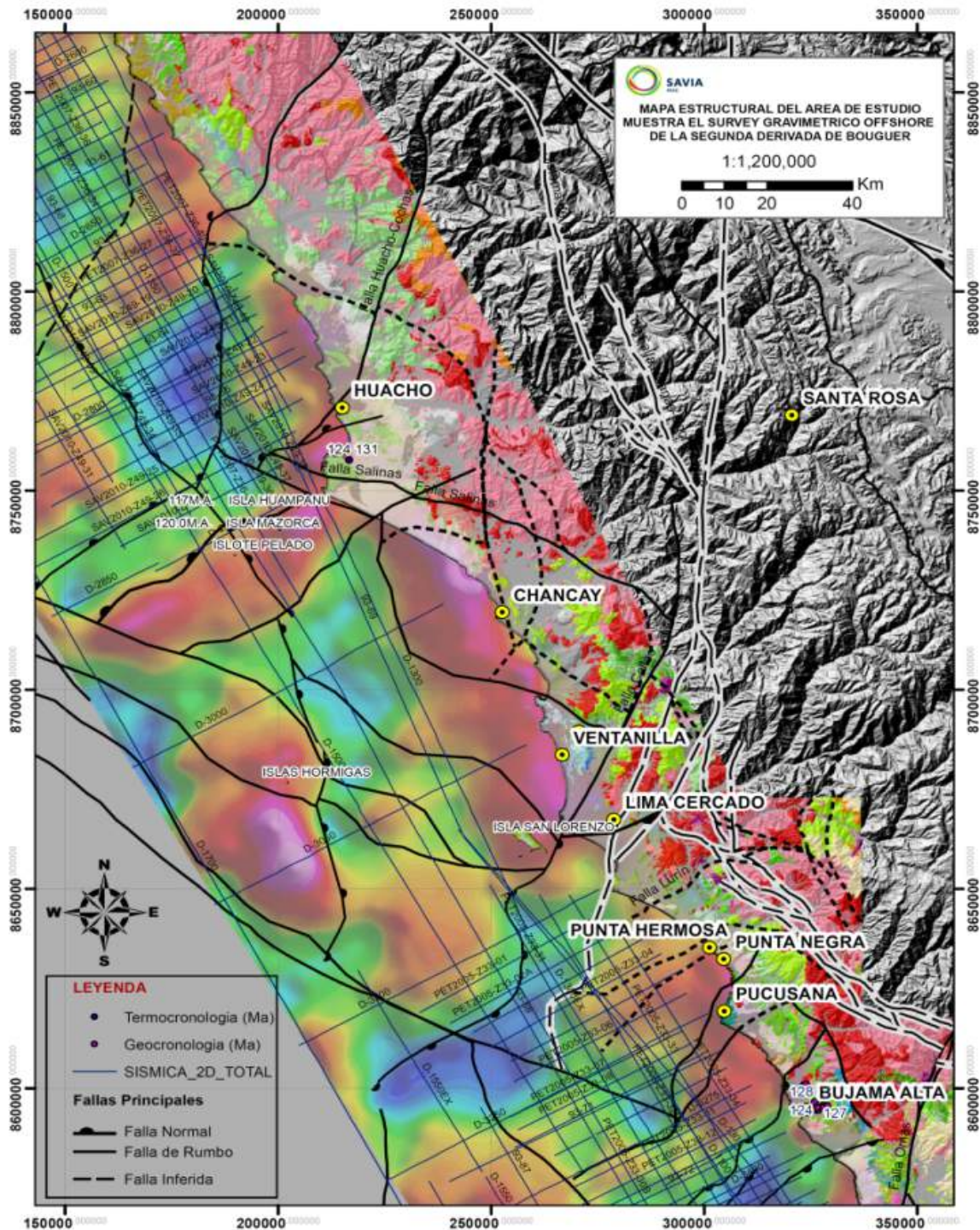


Figura 1. Mapa estructural del área de estudio, incluyendo el mapa de segunda derivada de Bouguer (survey gravimétrico del offshore peruano, 2011).

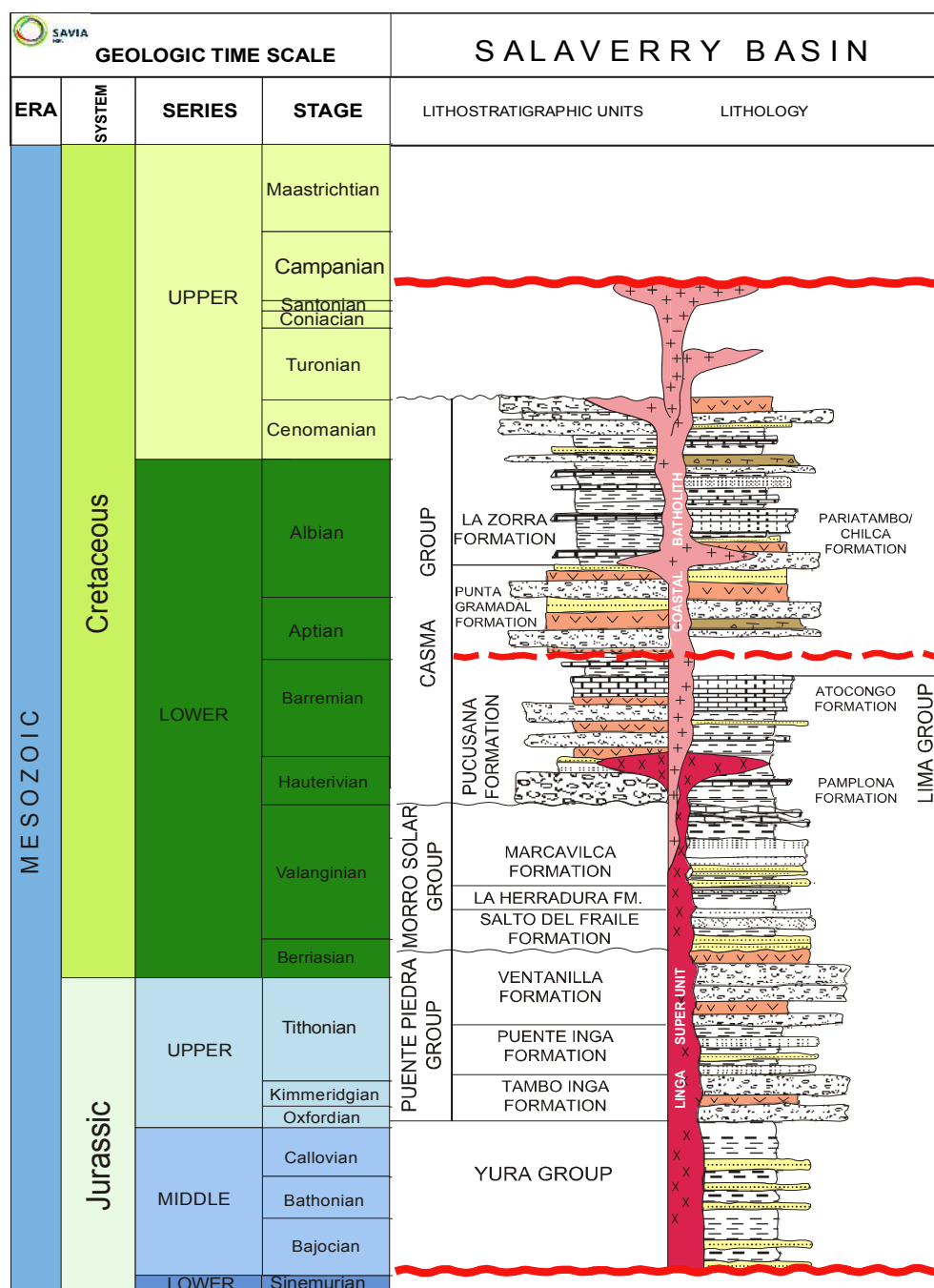


Figura 2. Columna estratigráfica generalizada del área de estudio.

2.1. Magmatismo Hauteriviano-Barremiano

2.1.1. Vulcanismo (Formación Pucusana)

Se consideraba anteriormente que la Formación Pucusana (Bosc, 1963; Salazar & Landa, 1993) sólo afloraba aproximadamente a 60 km al SE de Lima, entre la playa Punta Lobos y el Cerro Quipa. Consiste en una secuencia volcano-sedimentaria de más de 700 m de espesor. No es posible ver su relación con unidades infrayacentes; sin embargo, perforaciones en la mina Raúl-Condostable muestran que la Formación Pucusana sobreyace al Grupo Morro Solar (Alemán et al., 2004).

Esta unidad infrayace concordantemente a una secuencia de tobas líticas de grano fino a medio, interestratificadas con láminas de yeso, calizas limoarcillosas tobáceas y calizas fosilíferas, asumidas a la

Formación Lurín del Valanginiano superior (Alemán et al., 2004) o a la Formación Pamplona del Valanginiano superior-Hauteriviano inferior (Palacios et al., 1992; Salazar & Landa, 1993).

Romero et al. (2005), mediante los resultados de la datación de una lava en Pucusana, concluyeron que la parte superior de la Formación Pamplona es equivalente con la Formación Pucusana y que representaría la transgresión del Hauteriviano-Aptiano descrita por Haq et al. (1987).

Edad de la Formación Pucusana. Una muestra de lava de la Formación Pucusana ha sido datada por el método Ar-Ar sobre plagioclasa (Romero et al., 2005). El análisis de *step heating* dio una edad integrada de 127.3 ± 1.4 Ma., una edad plateau de 127.8 ± 1.3 Ma., y una edad isócrona de 127.1 ± 0.8 Ma.

2.1.2. Intrusivos

Los intrusivos asignados al Hauteriviano-Aptiano (~134-112 Ma), fueron definidos inicialmente como "superunidad Linga". Afloran entre las localidades de Mala y Nazca y consisten de dioritas y granodioritas principalmente. Varias muestras fueron datadas en ~133.8 Ma en promedio por los métodos Ar-Ar y U-Pb.

Asimismo una muestra de Punta Salinas datada por el método de Fisión Track sobre apatito da una edad de 124.0 ± 0.5 Ma. Otro intrusivo cercano datado también mediante trazas de fisión sobre zircones dio una edad de 131.0 ± 0.3 Ma (Wipf, 2006) (Fig. 10). Los trabajos de geología de exploración y campo, realizados por Savia Perú en el *offshore* del Perú central, permitieron realizar un viaje hacia las islas de Huampanu, Loberas y Mazorca para realizar el estudio estructural y un muestreo de rocas de dichas islas.

2.1.2.1. Isla Loberas. Las Islas Loberas se ubican a 30 km al SO de la localidad de Huacho. La visita a esta isla permitió identificar que las rocas presentes consisten en dioritas, afectadas por dos sistemas de fracturas abiertas principales (NO-SE y ENE-OSO) medidos en campo, además de un sistema de fracturas NNE-SSO identificado en la interpretación de imágenes de satélite (Fig. 10). Se recolectó y envió a datar al laboratorio ActLabs la muestra YK-10 (coordenadas: 18L 202323.41 m E, 8742070.27 m S).

Petrografía. Se trata de una diorita alterada y parcialmente recrystalizada. La roca contiene plagioclasas, fenocristales parcialmente fragmentados y recrystalizados

de clinopiroxeno y anfíbol, y una abundancia relativa de magnetita; cuarzos de grano fino intersticial, epidota granular, anfíbol de grano fino granular, y clinopiroxeno, son minerales secundarios. El anfíbol granular y el clinopiroxeno representan fenocristales originales recrystalizados. Algunas de las plagioclasas están parcialmente sericitizadas y otras están parcialmente reemplazadas por arcillas oscuras amorfas. Los minerales datados incluyen plagioclasas, anfíboles y zircones (Fig. 3).

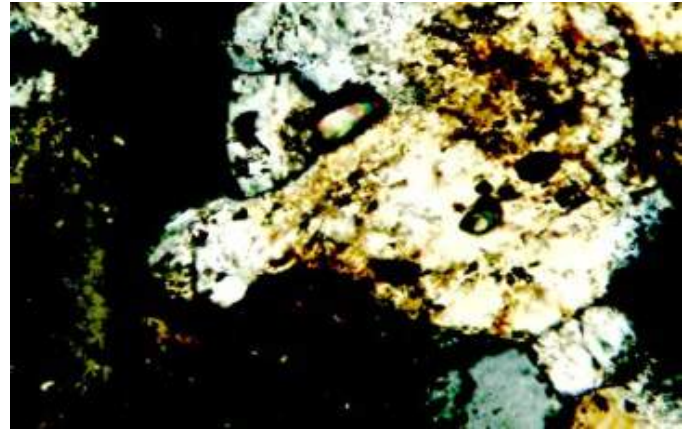


Figura 3. Dos zircones incluidos en cuarzos (40 μm y 20 μm).

Datación. Se usó el método U-Pb sobre zircones, resultando en una edad Concordia de 127.2 ± 1.0 Ma (Fig. 4).

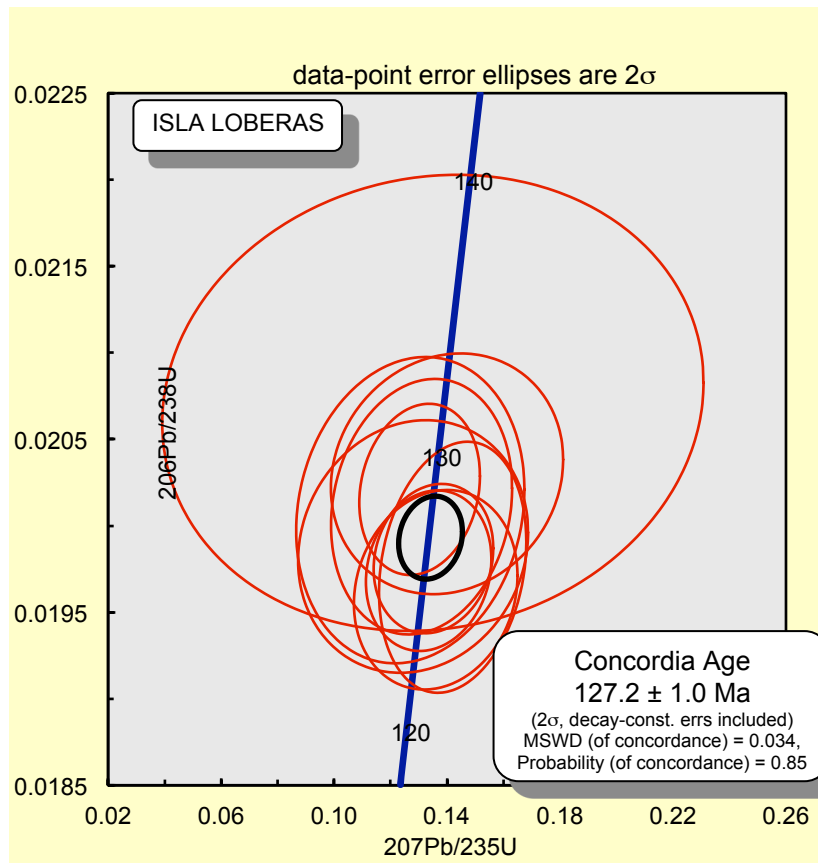


Figura 4. Edad Concordia de la muestra YK-10.

2.1.2.2. Isla Mazorca. La isla Mazorca se ubica a 35 km al SO de la localidad de Huacho. Aquí se pudo identificar gabros y gabro-dioritas afectadas por un sistema principal de fracturas sub-verticales ONO-ESE, y un sistema sub-horizontal NO-SE, medidos en campo, además de dos sistemas de fracturas NO-SE y E-O interpretados de imágenes satelitales (Fig. 10). Se recolectó y envió a datar la muestra YK-7, con coordenadas: 18 L 200432.47 m E, 8740186.34 m S.

Petrografía. Se trata de una diorita o gabro de grano grueso moderadamente oxidado. La plagioclasa es muy sódica para el gabro y el cuarzo muy abundante (a menos que represente una parte fraccionada del gabro). La roca está compuesta predominantemente de plagioclasa (An43-58) y en menor cantidad de anfíbol anhedral. Granos subredondeados de los agregados intersticiales de cuarzo pueden ser granófiro recrystalizado, o inclusiones provenientes de sedimentos. La magnetita es relativamente de grano grueso y se difunde a través de la matriz (Fig. 5).

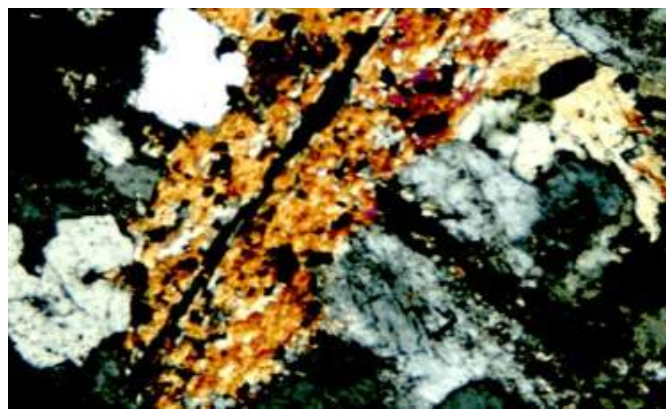


Figura 5. Muestra YK-7 : fenocristales de anfíbol con plagioclasas (gris). X-axis of photo: 1.6 mm.

Datación. La muestra arrojó un espectro de edad con buen comportamiento de los 4 *steps* de plateau sobre feldespatos y plagioclasa, resultando en una edad de 120.0 ± 1.6 Ma (Fig. 6).

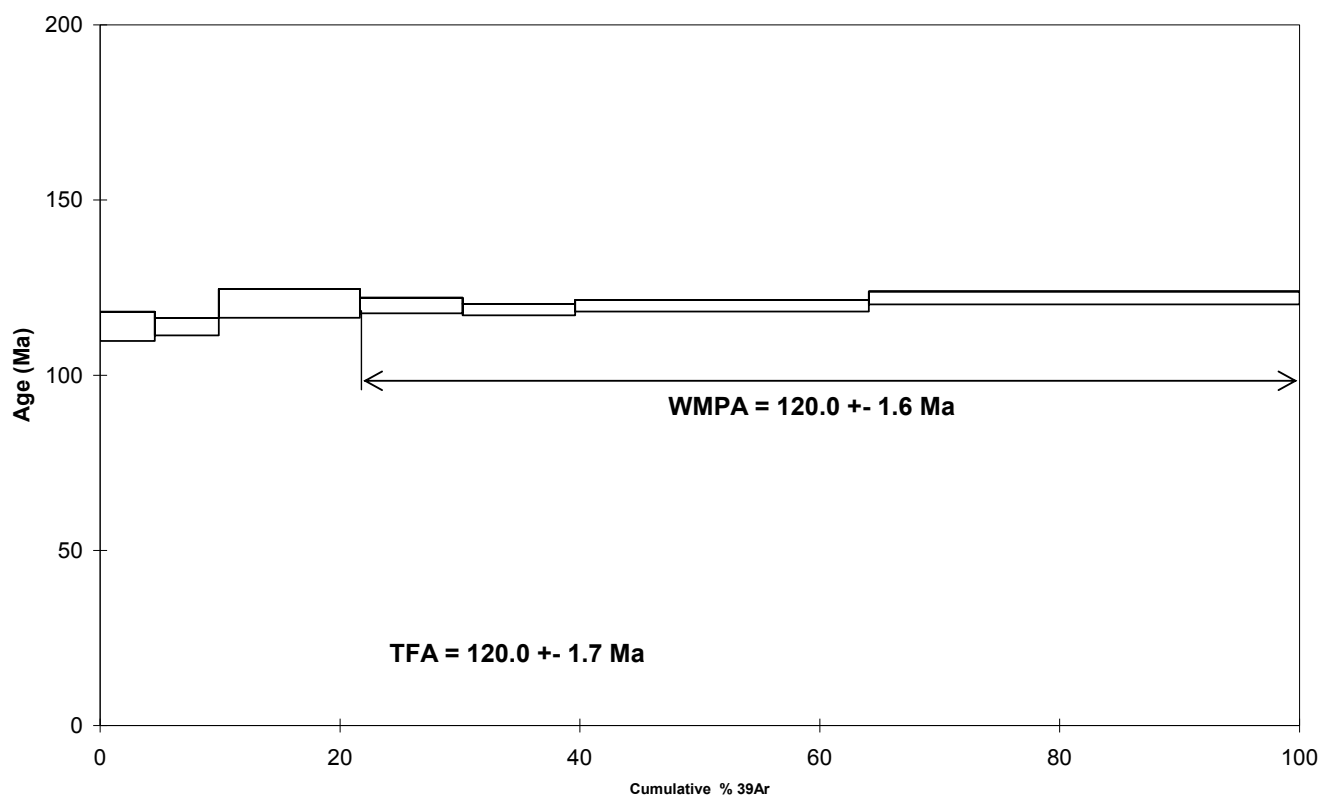


Figura 6. Espectro de edad de la muestra YK-7. Edad plateau : 120.0 ± 1.6 Ma. Edad de fusión total : 120.0 ± 1.7 Ma.

2.2. Magmatismo Aptiano-Cenomaniano

2.2.1. Isla Huampanu

La isla Huampanu se ubica a 25 km al SO de la localidad de Huacho. En esta isla se pudo identificar rocas intrusivas máficas (de tipo gabro-dioritas) afectadas por dos sistemas de fracturas principales NO-SE y NE-SO bien definidos tanto en el campo como en la interpretación de

las imágenes satelitales (Fig. 10). Se ha recolectado y enviado a datar la muestra con YK-11 con coordenadas: 18 L 204727.99 m E, 8745866.17 m S.

Petrografía. Roca moteada, alterada y erosionada. La mineralogía sugiere que se trata de una diorita de grano grueso. La roca está compuesta predominantemente de plagioclasa (composición andesítica), anfíbol, clinopiroxeno, cuarzo, magnetita, y en menor cantidad epidota. Aunque la mayoría de fenocristales de plagioclasa y anfíbol están parcialmente reemplazados por arcillas amorfas, algunos de los cristales relictos se mantuvieron relativamente frescos (Fig. 7).

Datación. Los minerales datados son plagioclasa y anfíbol. La muestra arrojó un espectro de edad con buen comportamiento de los 5 steps de plateau, resultando en una edad de 117.0 ± 2.0 Ma (Fig. 8).

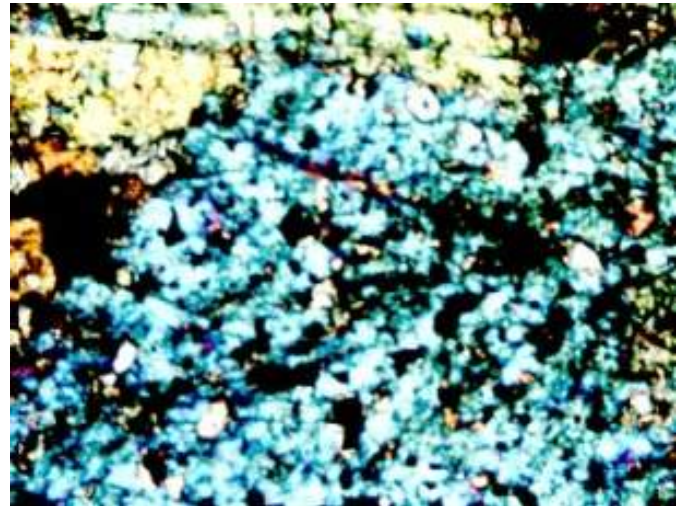


Figura 7. Muestra YK-11. Fenocristales de anfíbol de grano grueso (azul). X-axis of photo: 1.6 mm.

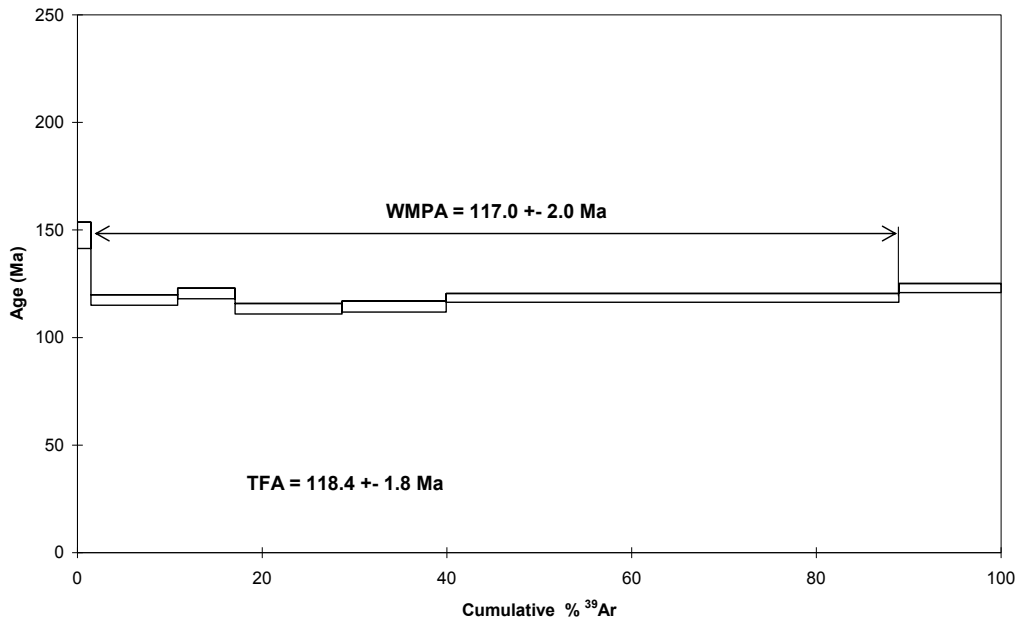


Figura 8. Espectro de edad de la muestra YK-11. Edad plateau : 117.0 ± 2.0 Ma. Edad de fusión total : 118.4 ± 1.8 Ma.

3. Análisis estructural y caracterización de los potenciales RNF

Para efectuar la caracterización de los RNF asociados al magmatismo Hauteriviano-Barremiano se ha realizado primeramente un análisis estructural de los diferentes afloramientos tanto volcánicos (Formación Pucusana) como de intrusivos. Asimismo se ha establecido la configuración estructural del área de estudio (Figs. 1 y 10). De esta manera se ha podido identificar sistemas de fallas NO-SE, NNO-SSE, NNE-SSO y NE-SO (Figs. 1 y 9) que afectan a los potenciales RNF en el área de estudio, los cuales están relacionados con los sistemas de fracturas principales identificados en campo, siendo los sistemas NO-SE, NNO-SSE y NE-SO los posibles canales de flujo del potencial RNF (Fig. 10).

Una de las estaciones de trabajo fue en Punta Salinas donde las medidas fueron realizadas en rocas volcánicas de la Formación Pucusana. Los resultados indican la

existencia de 2 sistemas de fracturas principales, una de dirección NNO-SSE y la otra de dirección NE-SO. Además el tratamiento y análisis de las fracturas medidas indicaron que estas rocas presentan valores de porosidad secundaria (ϕ_f) de 2.53 % y permeabilidades entre 1-5 darcys a condiciones de superficie (Fig. 10).

La interpretación de la línea sísmica 2D 93-69 (Fig. 9) muestra la posible prolongación de la Formación Pucusana hacia la parte sur de cuenca Salaverry. Esta distribución está asociada con los datos de gravimetría y magnetometría que se observan en los mapas estructurales que incluyen el *survey* de la segunda derivada de Bouguer (Fig. 1) y el *survey* de los altos gravimétricos y altos en la susceptibilidad magnética (Fig. 10). Este último *survey* nos muestra las zonas más probables donde se ubicarían intrusivos en el offshore

peruano.

Integrando todos los datos presentes y obtenidos, se puede inferir la ubicación del eje del arco volcánico Pucusuna para el intervalo Hauteriviano-Barremiano (Fig. 10). La línea 93-69 (Fig. 9) muestra la probable presencia del intrusivo que aflora en las Islas mencionadas.

Finalmente, de la visita a las islas Loberas, Mazorca y

Huampanu, las medidas realizadas en las rocas intrusivas indican la existencia de hasta 4 sistemas principales de fracturas. El tratamiento y análisis de las fracturas medidas en las rocas intrusivas indican que estas rocas presentan valores de porosidad (ϕ) entre 2.1 % y 3.1 %, y permeabilidades entre ~2 y ~5 darcys en condiciones de superficie.

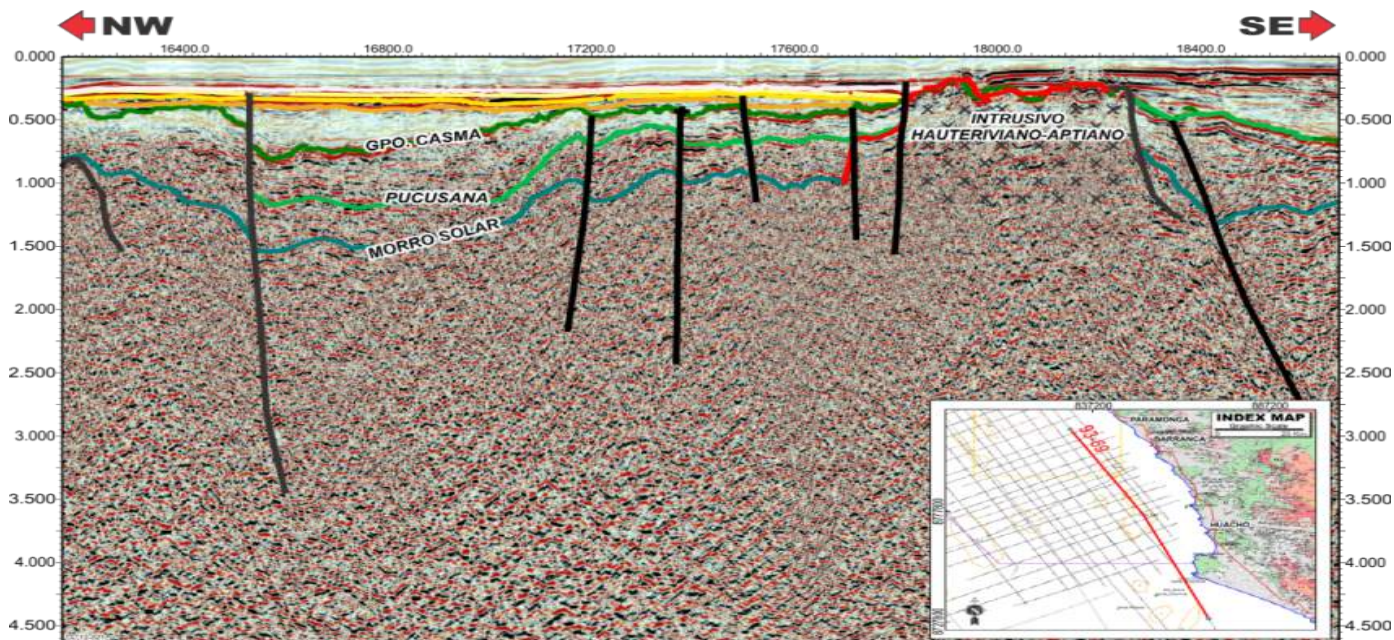


Figura 9. Línea sísmica 2D 93-69, que muestra la posible distribución de la Fm Pucusana y de un intrusivo en el sur de la cuenca Salaverry.

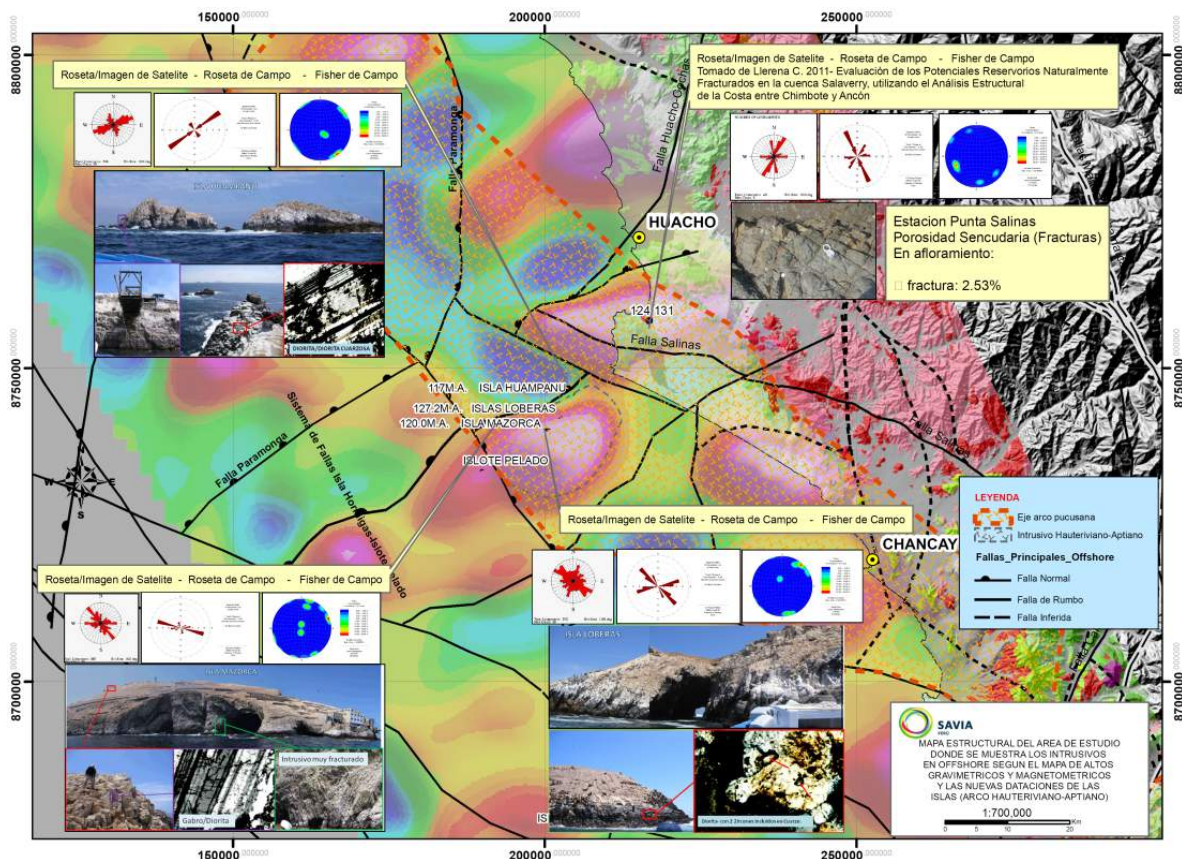


Figura 10. Mapa estructural del área de estudio que muestra la posible distribución del eje del arco volcánico de Pucusana, relacionado al *survey* de altos gravimétricos y altos magnetométricos del offshore del Perú.

4. Conclusiones

Basado en nuevas dataciones por los métodos U-Pb y Ar-Ar), se evidencia la continuidad del arco volcánico de edad Hauteriviano-Barremiano (Formación Pucusana) al norte de Lima. Así mismo las observaciones y medidas de campo, las interpretaciones y las características estructurales del área de estudio muestran que los intrusivos gabro-dioríticos así como las rocas volcánicas andesíticas del Hauteriviano-Barremiano, además de rocas intrusivas del magmatismo Aptiano-Cenomaniano, presentan potenciales características para ser considerados como RNF para la parte sur de la cuenca Salaverry.

Agradecimientos

Agradecemos a Savia Perú por permitirnos presentar el presente trabajo. Asimismo agradecemos a la entidad de Pro-Abonos del Ministerio de Agricultura por permitirnos ingresar a las Islas guaneras de Mazorca, Huampanu y Loberas.

Referencias

- Alemán, A., Benavides, V., León, W. 2004. Excursión geológica: Estratigrafía, Sedimentología y evolución tectónica del área de Lima. Guía de campo, XII Congreso Peruano de Geología INGEMMET, 95 p.
- Romero, D., Rosell, W., De La Cruz, O. 2006. Nueva datación Ar-Ar de la Formación Pucusana como aporte a la interpretación paleogeográfica (Hauteriviano-Albiano inferior) de la Costa del Perú Central. Bol. Soc. Geol. del Perú, v. 100.