



Tectónica salina e hidrocarburos como guías de exploración de yacimientos MVT: Zn-Pb en los Andes del Perú central

J. Fiestas¹, R. Berrospi², D. Leach³, T.P.A. Sempere⁴

¹ Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Tupac Amaru 210, Rímac, Lima, Peru. (jimfiestasz@gmail.com)

² Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Tupac Amaru 210, Rímac, Lima, Peru (rberrospir81@gmail.com)

³ Colorado School of Mines, Golden, CO, USA (dleach5100@me.com)

⁴ Consultant and Exploration Manager, Andes C&P, Lima, Peru (thierrysempere@icloud.com)

Abstract

Exploration for MVT Zn-Pb deposits in Peru is focused on carbonate rocks of the Pucará Group (Upper Triassic-Early Jurassic, >1 km-thick), that hosts the San Vicente, Bongará, Florida Canyon and Shalipayco ore deposits. A thick evaporite unit, the Pareni Formation, originally overlays the red beds of the Mitu Group, and underlays the Pucará Group. The Mitu-Parení-Pucará succession accumulated during the evolution of backarc rift, starting in the Middle Triassic. Halokinesis of the Pareni evaporites began in the Early Jurassic and produced in the Andes of central Peru locally intense deformation of the overlying Pucará strata. The occurrence of the San Blas salt dome and the presence of hydrocarbons in the area provide a geological environment adequate for the formation of MVT deposits, as shown in different MVT deposits around the world, such as Jinding (China), Bou Jaber (Tunisia), and Reocín (Spain).

Keywords: Halokinesis, evaporites, limestones, MVT: Zn-Pb, hydrocarbons, Pucará Group, Pareni Formation.

1. Introducción

La exploración de yacimientos MVT de Zn-Pb en el Perú está enfocada en el Grupo Pucará (Triásico Superior–Jurásico Inferior, >1 km de espesor), compuesto en su mayor parte por carbonatos, que albergan los yacimientos San Vicente, Bongará, Cañón Florida y Shalipayco. Subyacente al Grupo Pucará y sobreyacente al Grupo Mitu (capas rojas) existió originalmente una gruesa unidad evaporítica, la Formación Pareni; esta sucesión Mitu–Pareni–Pucará corresponde al desarrollo de un *rift* a partir del Triásico Medio. Se estima que la halocinesis de las evaporitas Pareni se inició en el Jurásico Inferior en los Andes del Perú central, produciendo intensas deformaciones locales en el Grupo Pucará. La presencia del domo salino de San Blas, junto a la presencia de hidrocarburos hallados en la zona, proporcionan

condiciones adecuadas para la formación de yacimientos MVT, en un ambiente geológico similar al de depósitos MVT estudiados en otras partes del mundo, como Jinding (China), Bou Jaber (Túnez), y Reocín (España).

La tectónica salina se refiere a la deformación que involucra cuerpos de sal que consisten de halita y otros minerales evaporíticos. Este tipo de tectónica se caracteriza por deformar solo los niveles superiores a la unidad evaporítica original. La tectónica salina presenta un gran interés para la exploración petrolera, porque muchas de las grandes provincias de hidrocarburos del mundo se encuentran en cuencas salinas (por ejemplo, Golfo de México, Golfo Pérsico, Mar del Norte, margen de Angola-Gabón, margen de Brasil, y Cuenca Precaspiana). Asimismo, estudios y observaciones de campo de algunos depósitos de tipo MVT en distintas partes del mundo sugieren que la relación

entre minerales metálicos y evaporitas o estructuras por tectónica salina es más común de lo que se reconocía anteriormente (Leach et al., 2010, 2017; Leach, 2014). Más aún por la especial relación entre algunos diapiros y depósitos de Zn-Pb emplazados en sedimentos peridiapíricos y en franjas de rocas constituidas por carbonatos y sulfatos en la zona de contacto de los diapiros, conocidas como cap rock laterales (Perona, 2016).

En nuestra área de estudio (*Figura 1*) ubicada en los Andes del Perú central, aflora el domo salino de San Blas, que junto a evidencias directas e indirectas documentadas al este de la Cordillera Oriental y en la faja Subandina de afloramientos diapíricos (Sempere & Cotrina, 2018), la cuenca evaporítica pudo extenderse hacia el oeste de esta faja. Nuestro estudio tiene por objetivo caracterizar la halocinesis jurásica de la sal triásica en los estratos superiores a esta, específicamente en los carbonatos del Grupo Pucará, no identificada previamente (*Figura 2*). Para ello, deformaciones irregulares, disarmonías y complejidades estructurales bien expuestas, se usan como evidencias indirectas de halocinesis.

2. Evolución Geológica

2.1. Estratigrafía y evolución de la cuenca

La evolución geológica en el centro y norte del Perú (~130 Ma–240 Ma) puede resumirse en el transecto regional presentado en la *Figura 3*. El periodo de interés comenzó con el inicio del desarrollo generalizado de un *rift* de trasarco hace 240 Ma y continuó hasta hace ~130 Ma. La deformación extensional fue inicialmente dramática (Grupo Mitu), generando áreas deprimidas que fueron invadidas por el agua de mar, en las que se depositaron varios centenares de metros de sal (Fm Pareni, Triásico Superior, Sempere y Cotrina, 2018), documentada en secciones sísmicas y domos salinos aflorantes desde la frontera con Ecuador hasta ~12°S (*Figura 1*). Este nivel evaporítico fue superpuesto por el Grupo Pucará que por lo general tiene un espesor de 0,5-2,5 km.

2.2. Tectónica salina

La tectónica salina al este de la Cordillera Oriental entre ~4°S y ~12°S está documentada, entre otras evidencias, por numerosos domos salinos aflorantes y por información sísmica (Sempere & Cotrina, 2018), y, como es propio para halocinesis, afecta solamente a los niveles sobreyacentes al nivel de sal de la Formación Pareni.

En nuestra zona de estudio las evidencias de tectónica salina las encontramos en intensas deformaciones observadas en el Grupo Pucará en medio de niveles no deformados del mismo. Ese es el caso del domo salino de San Blas (*Figura 4*), así como de otros sectores cercanos a este (*Figura 5*; Berrospi et al., 2018). El contraste entre la gran cantidad de deformaciones presentes en estratos del Pucará y las pocas deformaciones observables en el infrayacente Grupo Mitu es sintomático de tectónica salina causada por una unidad evaporítica originalmente ubicada entre ellos.

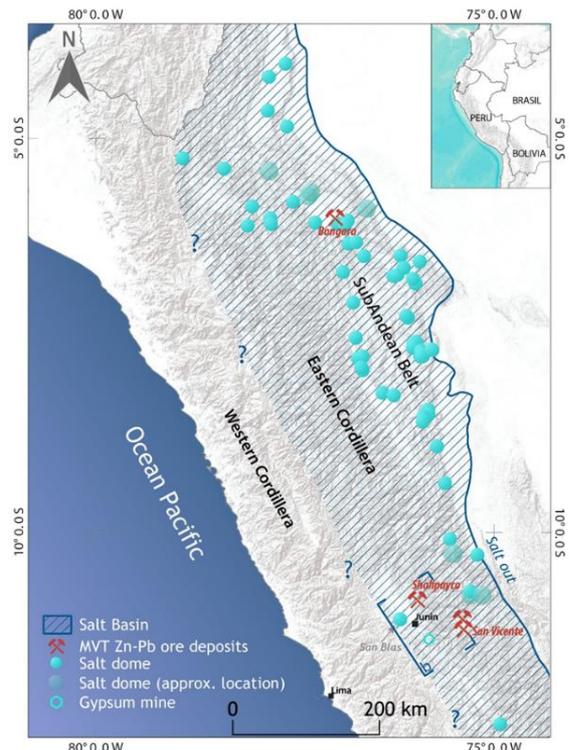


Figura 1. Mapa de afloramientos de los domos salinos conocidos. Modificado de Sempere & Cotrina (2018).

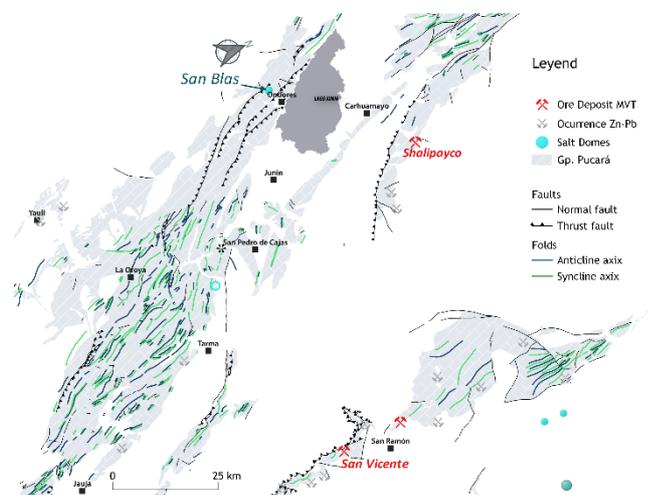


Figura 2. Afloramientos del Grupo Pucará en los Andes del Perú central, y datos estructurales relevantes.

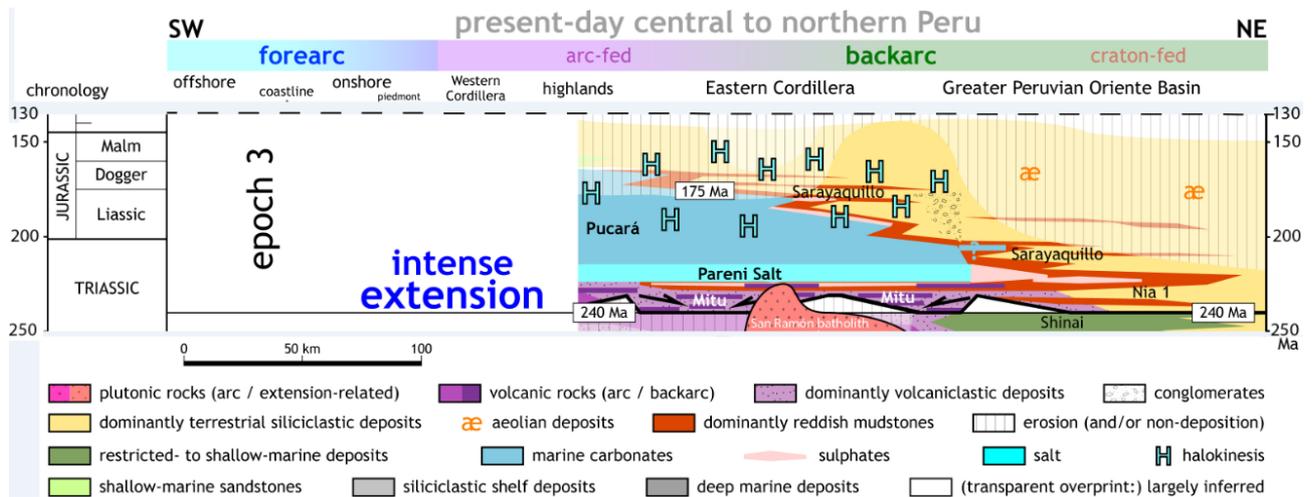


Figura 3. Transecto estratigráfico generalizado y sintético del centro y norte del Perú (~8-11 °S) desde 240 Ma hasta ~130 Ma. Modificado de Sempere & Cotrina, 2018.



Figura 4. Dos vistas alrededor del domo salino de San Blas (a: sector norte; b: sector SSE). Las flechas apuntan a estructuras anómalas en el Grupo Pucará.

La halocinesis se inició en el Jurásico Inferior (Sempere y Cotrina, 2018), durante la depositación de los niveles superiores del Grupo Pucará, como lo indican deformaciones plásticas observadas en rocas carbonatadas (Figura 6), así como grandes variaciones de grosor del Grupo Pucará, que reflejan diferencias de subsidencia.

3. Condiciones adecuadas para yacimientos tipo MVT

Estructuras por tectónica salina, así como rocas carbonatadas e hidrocarburos (Figura 7; Berrospi et al., 2018) reconocidos en el área, crearon condiciones adecuadas para la formación de yacimientos MVT, como se verifica en distintos yacimientos a nivel mundial, como Jinding (China), Bou Jaber (Túnez), Reocín (España) (Leach et al., 2017; Perona, 2016).

En el Perú, importantes yacimientos MVT (por ejemplo, San Vicente, Shalipayco, Bongará)

presentan características estructurales sugestivas de tectónica salina: las deformaciones inusuales y complejas asociadas, y las brechas de tipo *float breccia* características de la mina San Vicente (Figura 8), fueron probablemente producidas por halocinesis.



Figura 5. Intensas deformaciones anómalas (flechas blancas) en el Grupo Pucará, en contraste con su continuación tabular hacia el este, observadas a ~5 km al SO de San Pedro de Cajas.



Figura 6. Sucesión tabular del Cretáceo (K), por encima de una intensa deformación plástica (ver flechas blancas) de los carbonatos del Pucará, al SE de La Oroya.

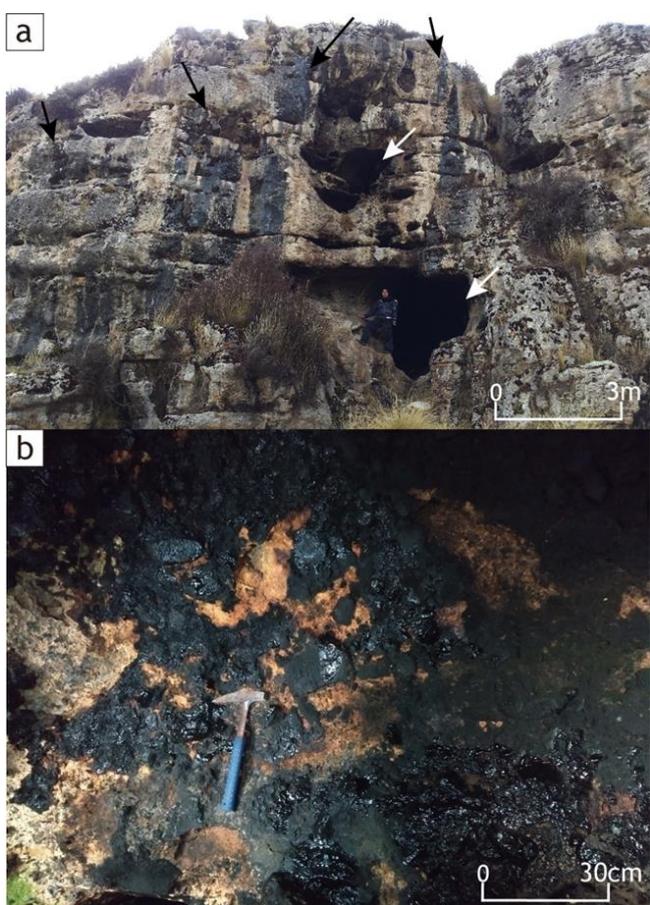


Figura 7. a) Brechas de calizas del Grupo Pucará. Las flechas negras apuntan a descargas de hidrocarburos en el afloramiento. Las flechas blancas indican cuevas. b) Paredes de cuevas impregnadas de bitumen.

4. Conclusiones

La tectónica salina presente en la faja subandina tiene continuidad en nuestra zona de estudio, en los Andes del Perú central.

Las rocas carbonatadas del Grupo Pucará, junto a la presencia de hidrocarburos y a la tectónica salina presente en la zona de estudio, proporcionan características geológicas, estructurales y químicas adecuadas para la

formación de yacimientos MVT de Zn-Pb, lo cual genera nuevos criterios de exploración para yacimientos de este tipo en los Andes del Perú central, pudiendo extrapolarse a toda la cuenca salina mediante mayores estudios.

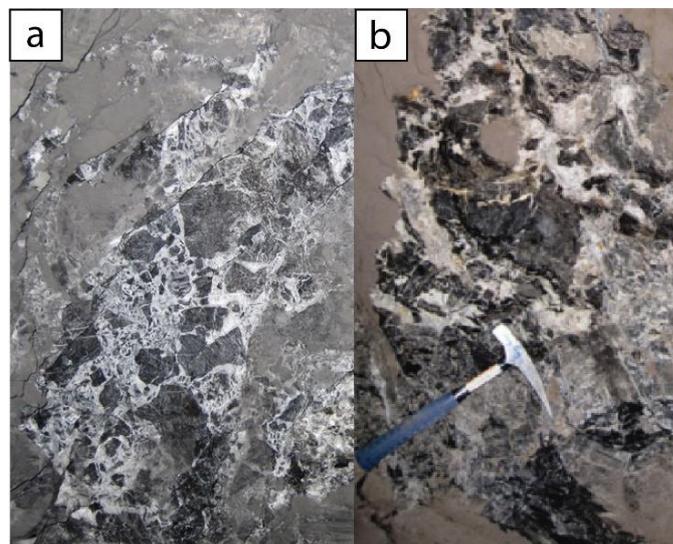


Figura 8. Texturas de float breccia de la mina San Vicente (a) y Jinding (b) (Tomado de Leach et al., 2017. Clastos flotantes de dolomías sobre una matriz de cristales euhedrales de carbonatos (dolomita y/o calcita). Se relaciona con estructuras de evaporitas desvanecidas y halocinesis.

Referencias

- Berrosipi, R., Fiestas, J., Alvarado, A., Leach, D.L., Sempere, T.P.A. 2018. Role of Jurassic salt tectonics in the structural shaping of MVT Pb-Zn deposits and hydrocarbon traps in Peru, and implications for exploration. SEG 2018 conference, Keystone, Colorado, USA, abstract #SP2.06
- Leach, D.L., 2014, Evaporites and Mississippi Valley-type Zn-Pb-Ag deposits: An evolving perspective: Acta Geologica Sinica (English Edition), v. 88, supp. 2, p. 174–175.
- Leach, D.L., Bradley, D.C., Huston, D. Pisarevsky, S.A., Taylor, R.D., Gardoll, S.J., 2010, Sediment-hosted lead-zinc deposits in Earth history: Economic Geology, v. 105, p. 593–625.
- Leach, D.L., Song, Y.C., Hou, Z.Q., 2017, The world-class Jinding Zn-Pb deposit: Ore formation in an evaporite dome, Lanping basin, Yunnan China: Mineralium Deposita, v. 52, p. 281–296, doi: 10.1007/s00126-016-0668-6.
- Perona, J., 2016, Mineralizaciones asociadas a los diapiros de Murguía y Orduña (Cuenca Vasco-Cantábrica): Ph.D. tesis, Bellaterra, España, Universidad Autónoma de Barcelona, 7 p.

Sempere, T.P.A., Cotrina, J. 2018. An overlooked giant salt basin in Peru. Ingepet, 9th, Lima, paper GEO-EX-TS-10-N, 18 p.

