



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

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

Dominios geotectónicos en los campos geotérmicos promisorios de Borateras, Crucero y Chancos

Carlos Ruiz Castillo^{1,2}, Diego Arestegui Choquecahua^{1,2}, Hugo Taipe Cano^{1,2},
Diana Pajuelo Aparicio^{1,2}

RESUMEN

Se analizaron tres campos geotérmicos promisorios del Perú: Borateras, Crucero y Chancos, ubicados en el límite entre Tacna y Puno, Moquegua y Huaraz, respectivamente. La geología de Borateras se pueden distinguir diferentes unidades litoestratigráficas como el Grupo Barroso y la Formación Capillune donde se encuentran las principales fuentes termales; Crucero está cubierto principalmente por depósitos aluviales y en la base de estos se tiene a la Formación Senca. Y Chancos está conformado principalmente por el Grupo Goyllarisquizga con las Formaciones Santa, Carhuaz y Chimú. El objetivo de estudio es contrastar el escenario tectónico de cada área para finalmente poder determinar el tipo de ambiente geológico geotermal que se tiene en cada uno.

PALABRAS CLAVE: dominio geotectónico, ambiente geotermal, campos geotérmicos promisorios

ABSTRACT

Three promising geothermal fields in Peru were analyzed: Borateras, Crucero and Chancos, located on the border between Tacna and Puno, Moquegua and Huaraz, respectively. The geology of Borateras can be distinguished different lithostratigraphic units such as the Barroso Group and the Capillune Formation where the main hot springs are located; Crucero is covered mainly by alluvial deposits and at the base of these is the Senca Formation. And Chancos is mainly made up of the Goyllarisquizga Group with the Santa, Carhuaz and Chimu Formations. The objective of the study is to contrast the tectonic scenario of each area to finally be able to determine the type of geothermal geological environment that exists in each one.

KEY WORDS: Geotectonic domain, geothermal environment, promising geothermal fields

DESARROLLO DEL RESUMEN

UBICACIÓN

El Campo Geotermal de Borateras se encuentra ubicado dentro de los departamentos de Tacna y Puno (provincia Tarata, distritos Susapaya y Ticaco) y Puno (provincia El Collao, distritos Santa Rosa y Capazo). El Campo Geotermal de Crucero está ubicado en el distrito de Carumas, provincia de Mariscal Nieto, región de Moquegua. Mientras que el Campo Geotermal de Chancos está ubicada en la provincia de Huaraz, departamento de Áncash, a 3 km del distrito Marcará.

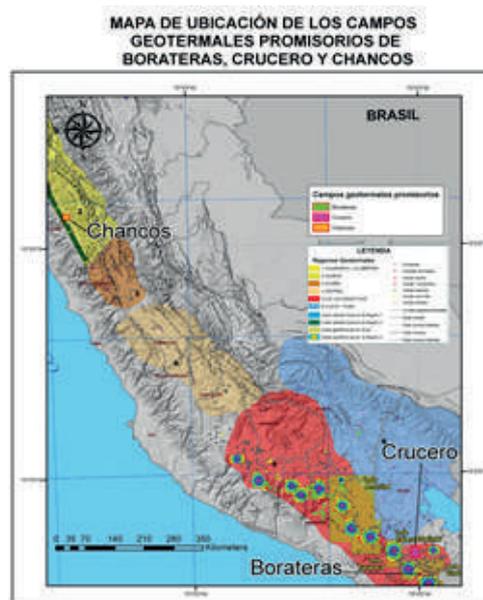


Figure 1. Mapa de ubicación de los campos promisorios. Modificado de INGEMMET (2020).

CONTEXTO GEOLÓGICO

• BORATERAS

La geología del Campo Geotermal de Borateras se caracteriza por presentar diferentes sistemas volcánicos con orientación NO-SE que son del Mioceno superior hasta el Plioceno y que cubren aproximadamente el 90% de toda el área junto a sus depósitos volcánicos, además de estar conformado principalmente por el grupo Barroso y la formación Capillune. Los depósitos de edad cuaternario cubren los terrenos volcánicos. (Vargas et al., 2012)

• CRUCERO

La geología del Campo Geotermal de Crucero se caracteriza por presentar formaciones volcánicas del Cenozoico y depósitos clásticos del Cuaternario, cubriendo gran parte del área por relleno aluvial (Bona y Coviello, 2016). Según los mapas geológicos (Galdós y Ticona, 2000) se observa que la Formación Senca, del Plioceno, es la base del relleno aluvial en algunos lugares en el fondo de este valle.

También se encuentra el complejo volcánico Cacachara (contiene dos tipos de lavas), el complejo volcánico Ichujasi, constituido por lavas andesíticas porfiríticas y el complejo volcánico Millijahuni, constituida por andesitas, dacitas porfiríticas y abundantes flujos de lava andesíticos porfiríticos (Galdós y Ticona, 2000).

• CHANCOS

Chancos está dentro del Grupo Goyllarisquiza que se distribuye como una franja de orientación similar a la Cordillera de los Andes, litológicamente está constituida por una secuencia de areniscas blancas de grano medio a grueso, en la zona de estudio se presentan las formaciones, Santa, Carhuaz y Chimú (pertenecientes al Grupo Goyllarisquiza). En la parte noreste encontramos la Superunidad Cohup (Granodiorita, tonalita). Otras unidades litoestratigráficas cerca al área de estudio son: Fm. Lloclla, Fm. Yungay y Centros Volcánicos de Huicnoc. Respecto a depósitos del Cuaternario, podemos encontrar depósitos coluviales, aluviales y fluviales. (Wilson, 1995)

CONTEXTO TECTÓNICO

BORATERAS: El contexto tectónico está representado principalmente por la presencia de lineamientos con tendencia NO-SE. Esta misma orientación la tienen los centros volcánicos cercanos a Borateras, así como sus respectivos lineamientos estructurales y la falla geológica regional que se infiere llegaría a existir a lo largo del río Maure.

También hay lineamientos con orientaciones N- S y NE-SO, esta última orientación es importante debido a que es la causante de las fuentes termales en la quebrada Putina, y estos estarían relacionados con el flujo geotermal proveniente de un sistema profundo dando origen al sistema geotermal de Borateras. (Vargas et al., 2012). Estos datos van a tener gran relación a los lineamientos analizados en el presente trabajo.

CRUCERO: En la zona existen varios manantiales termales al interior de una cuenca tectónica controlada por un importante sistema de fallamiento regional. Se distinguen dos sistemas de fallas y fracturas regionales: sistema de dirección andina NO-SE, NNO-SSE y ONO- ESE, y sistema en dirección NNE-SSO y NE- SO; ambos afectan rocas del Oligoceno y Mioceno (Cruz, et al., 2014). Localmente, se observan fallas activas o recientes de dirección NE-SO; el emplazamiento de materiales volcánicos estaría relacionado a fracturas profundas de orientación ONO-ESE, algunas reconocidas en la zona de Calacoa y San Cristóbal (Mariño, 2002).

Por lo tanto, se considera que el sistema hidrotermal de Crucero esté controlado, principalmente por circulación profunda de fluidos a lo largo de fallas (Bona y Coviello, 2016).

CHANCOS: El contexto estructural está caracterizado principalmente por lineamientos con rumbo noroeste-sureste, causantes de la formación de cuencas sedimentarias y la tectónica Andina. Por otro lado, en menor extensión, también existen grandes fallas transversales de rumbo suroeste-noreste (rumbo antiandino) que controlan la ubicación de sistemas hidrotermales del Mesozoico y Terciario (Vidal y Noble, 1994).

• ANÁLISIS DE LOS LINEAMIENTOS DE CADA ÁREA

El análisis se basó en la elaboración de mapas de lineamientos mediante el método Hillshade y también se elaboró el diagrama de rosetas.

GEOQUÍMICA

Borateras: Según el diagrama ternario de Giggenbach (1988), se tienen tres tipos de aguas en la zona: 1) aguas cloruradas, tales como Putina Chico A y B, Pozo Pampa Borateras, fuente al lado del río Maure, que indican que son provenientes de reservorios profundos, 2) aguas cloruradas-bicarbonatadas como la fuente termal de Calachaca y por último 3) el agua sulfatada, tal como Putina Grande que se originó por la mezcla de gases calientes

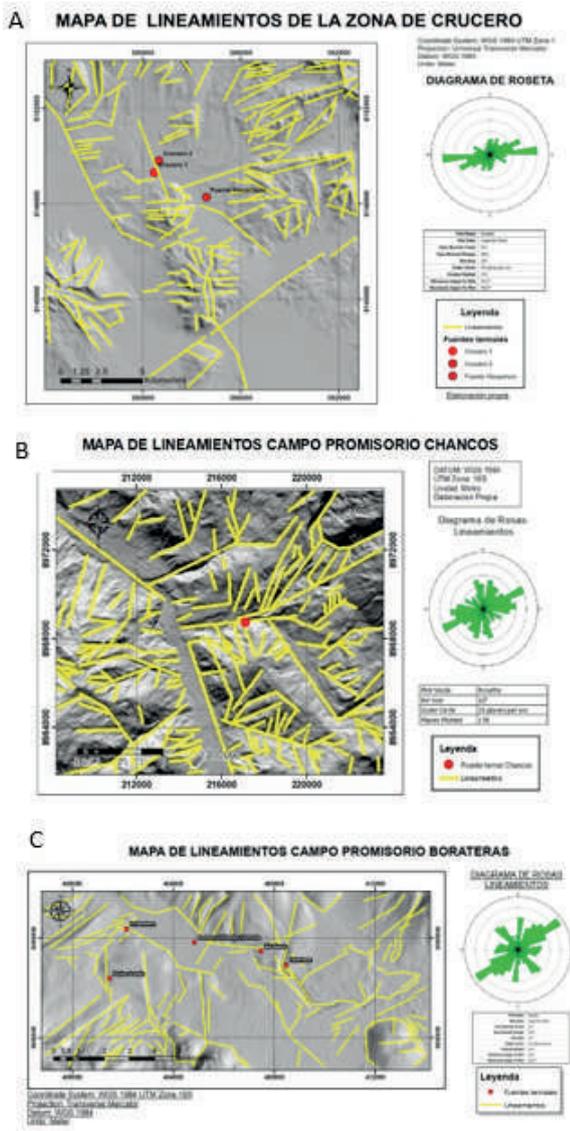


Fig. 1. Mapa de lineamientos y gráfico de rosetas de los campos promisorios de Crucero (A), de Chancos (B) y de Borateras (C)

o vapores con aguas superficiales. Según el diagrama de Langelier y de Piper, la mayoría de las aguas de las fuentes termales de Borateras pertenecen a aguas cloruradas sódicas o alcalinas. (Vargas et al., 2012)

Crucero: Los manantiales descargan aguas cloruradas y están asociados con extensos depósitos de sinter silíce (Bona y Coviello, 2016). Las aguas de la zona geotermal de Crucero se localizan sobre la región de aguas maduras (según el diagrama ternario), debido a su alto contenido del ion cloruro, característico de aguas geotermales que provienen de reservorios clorurados profundos. El alto contenido de Cl en las aguas de las fuentes termales se debería al agua salina atrapada en las rocas sedimentarias que se mezclan con el fluido geotérmico (Cruz et al., 2014).

Chancos: Según el boletín “Aguas Minerales del Perú (Zapata, 1973)” se realizó un análisis de donde se clasificó como “Aguas Cloruradas-Sódicas” o “Grupo 3”, esto de acuerdo con sus bases radicales (cloro y sodio), se puede especular que son aguas poco profundas, diluidas por aguas subterráneas bicarbonatadas con un pH de 7.5. Las aguas son termales y los baños de vapor están en una cueva artificial.

METODOLOGÍA

Se desarrolló un análisis bibliográfico con recopilación de información obtenida de boletines de estudio del INGEMMET para los campos promisorios de Borateras, Crucero y Chancos, además de una base de fuentes del IGA, International Geothermal Association, para poder entender los diferentes ambientes geotermales y cómo la configuración tectónica influye en estos estudios. Finalmente se procesaron imágenes DEM de Alospalsar, eligiendo el producto High Terrain Corrected y trabajadas en el software Global Mapper para trazar lineamientos que nos permitan entender cómo se dieron los principales esfuerzos y la relación que tienen estos con los ya antes interpretados en las cartas geológicas y la relación con sus respectivos ambientes geotermales.

RESULTADOS

Con el análisis geológico, estructural y satelital se determinaron en primer lugar las orientaciones de los lineamientos en los respectivos campos promisorios de Chancos, Crucero y Borateras que correspondían a diferentes zonas geotermales, y con la base del IGA se pudo correlacionar estos datos.

De esta manera se tiene que los campos geotermales de Borateras y Crucero están

CAMPO PROMISORIO	FUENTES TERMALES	Na mg/L	K mg/L	Li mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Fe mg/L	Al mg/L	Cl mg/L	SO4 mg/L	HCO3 mg/L	F mg/L	B mg/L	As mg/L	SiO2 mg/L
Borateras	Putina Grande	-	-	-	-	-	-	-	0.38	47.60	21	-	-	-	127
	Putina Chico A	1310	91	12	68.0	0.48	0	0	2150	71.9	86	2	95	15	255
	Putina Chico B	1020	96.3	-	44.4	2.84	-	-	1630	70.3	93	-	73	9.4	233
	Calachaca	253	29.5	-	36.8	17	-	-	350	37.1	224	-	17	1.9	133
	Pozo Pampa Borateras	643	77.2	4.3	40.1	9.17	0	0	981	73.3	128	0.5	43	5.6	176
	Fuente al lado del río Maure	592	68.1	-	45.2	13	-	-	874	66.3	184	-	40	4.8	169
	Villachullani	-	-	-	-	-	-	-	0.88	-	-	-	-	-	0
Crucero	Río Maure	-	-	-	-	-	-	-	510	-	-	-	-	2.3	-
	Viscachani	1262	140	14	68.0	5	-	-	2146	20.0	128	-	44	-	174
Chancos	Crucero 9	4311	391	42	141.0	24	-	-	7092	69.0	569	-	131	-	231
	Crucero	4600	455	36	167.0	30	-	-	7068	85.0	622	-	92	26	263
	Chancos "La Cueva"	4089	141	18	639.9	76.1	0.9	28	6782.39	421.56	1496	-	-	-	-

Fig. 3. Resultados de la composición química de las fuentes termales de los campos geotérmicos promisorios de Crucero, Chancos y de Borateras. Recuperado de Vargas, V., et al. (2012), Cruz, et al. (2014) y de Zapata Valle, R. (1973).

relacionados a flujo de calor tipo convección, mientras que Chancos está dominado por flujo de calor tipo conductivo.

Según la clasificación del IGA podemos relacionar lo siguiente, que Borateras pertenece a la zona magmática por intrusión reciente (CV1a), Crucero a la zona geotermal dominada por extensión (CV2), mientras que Chancos pertenece a tipo de Cinturón Orogénico (CD2).

CONCLUSIONES

Se determinó que hay dos dominios geotectónicos debido al estudio de tres terrenos diferentes según su escenario tectónico, geoquímica de aguas de fuentes termales y geología que generan campos geotermales promisorios (Borateras, Chancos y Crucero).

Mientras Borateras y Crucero pertenecen a una zona geotermal dominada por flujo de calor convectivo, Chancos está dominada por uno conductivo.

CONTRIBUCIONES TÉCNICAS O CIENTÍFICAS

Este trabajo da a conocer una posible interpretación sobre el análisis de los campos promisorios de Chancos, Borateras y Crucero para poder explicar cuáles son las zonas geotérmicas de cada uno. De esta manera se da a conocer las condiciones que determinaron la dinámica interna para una futura exploración geotermal con mayor detalle en la zona más potencial, ya que se conoce que Perú cuenta con gran potencial geotermal para producir energía.

REFERENCIAS

- Bona, P., & Coviello, M. (2016). Valoración y gobernanza de los proyectos geotérmicos en América del Sur: una propuesta metodológica. Cruz, V., Vargas, V. & Cacya, L. (2014) - Caracterización y evaluación del potencial geotérmico de la región Moquegua. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 58, 155 p., 2 mapas
- Galdos Huaco, J., & Ticona Turpo, P. (2000). Memoria explicativa de la revisión geológica del cuadrángulo de Huaitire (34-v)[Escala 1: 50 000].
- Hervey, C., Beardsmore, G., Moeck, I., Ruter, H., & Bauer, S. (2014). Best practices guide for geothermal exploration.
- Wilson, J. J., Reyes Rivera, L., & Garayar, J. (1995). -Geología de los cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari. Hojas: 17-h,

17-i, 18-h, 18-i, 19-h, y 19-i-[Boletín A 60].

- Moeck, I. S. (2014). Catalog of geothermal play types based on geologic controls. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 867-882.
- Steinmuller, K., & Huamani Huacan, A. (1999). Aguas termales y minerales en el Centro del Perú. Lima: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
- Vargas, V., Cruz, V., Antayhua, Y., Rivera, M., & Chirif, H. (2012). Estudio Geotérmico del Campo Borateras. INGEMMET. Boletín, (47).
- Zapata Valle, R. (1973). Aguas Minerales del Perú. Lima: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico