

Aguas termales asociadas a fallas geológicas en la costa ecuatoriana.

Hot springs associated with geological faults on the Ecuadorian coast.

Jaime Duque¹, Tito Velez²

¹ *1Dirección de Transferencia Tecnológica e Incubación, Instituto de Investigación Geológico y Energético, De las Malvas E15-142 y De los Perales, Quito-Ecuador. jaime.duque@geoenergia.gob.ec*

² *Dirección de Innovación, Instituto de Investigación Geológico y Energético, De las Malvas E15-142 y De los Perales, Quito-Ecuador. tito.velez@geoenergia.gob.ec*

ISSN: 2661-6998

Fecha de recepción: 13-09-2019

Fecha de aceptación: 22-10-2019

Resumen

Durante los trabajos de mapeo geológico en la hoja de Gualleturo escala 1:100 000, se pudieron reconocer sitios de afloramiento en superficie de aguas termales ubicados en la zona costera ecuatoriana, específicamente, en las localidades de Jesús María y Yanayacu, pertenecientes a las provincias de Guayas y Cañar respectivamente. En Ecuador la presencia de aguas termales en estos sitios no es muy común, ya que generalmente podemos observar aguas termales relacionadas a zonas donde existe volcanismo activo, donde las aguas termales alcanzan altas temperaturas ($> 50\text{ }^{\circ}\text{C}$). Las aguas termales de Jesús María y Yanayacu presentan características físico-químicas que se pueden relacionar con aguas termales de tipo geotermal o telúrico, es decir son infiltradas en el subsuelo descendiendo a grandes profundidades a través de acuíferos o fisuras siendo calentadas por el gradiente de temperatura de la Tierra que aumenta gradualmente hacia la profundidad (Gradiente Geotermal), y luego emergen a superficie con altas temperaturas (a $40\text{-}45\text{ }^{\circ}\text{C}$) por medio de fallas, como es el caso de la Falla Multitud.

La Falla Multitud, pertenece a un sistema de fallas de rumbo andino (NE-SW) que cruzan la estribación occidental de la cordillera occidental (Sistema de Fallas Pallatanga) conformando los contactos tectónicos entre terrenos de origen oceánico que fueron acrecionados a la Placa Continental Sudamericana desde el Cretácico tardío al Eoceno.

Palabras clave: Aguas Termales, Aguas Cloruradas Sódicas, Aguas Sulfatadas Sódicas, Falla Multitud, Origen Geotérmico.

Abstract

During the geological mapping work on the Gualleturo 1: 100 000 scale sheet, surface outcrops of hot springs located in the Ecuadorian coastal area were recognized, specifically in Jesús María and Yanayacu towns, belonging to the Guayas and Cañar provinces. A presence of hot springs at these sites is not common, because they are typically located in active volcanism area, where hot springs reach high temperatures ($> 50\text{ }^{\circ}\text{C}$). The hot springs of Jesús María and Yanayacu have physical-chemical characteristics that can be related to geothermal or telluric hot springs types, revealing that, they are infiltrated into the subsoil, descending to great depths through aquifers or fissures and getting heat from the temperature gradient of the Earth (Geothermal Gradient). The hot waters finally emerges on the surface (at $40\text{-}45\text{ }^{\circ}\text{C}$) along faults such as the Multitud Fault.

The Multitud Fault belongs to a fault system of Andean course (NE-SW) that cross the western foothills of the Cordillera Occidental (Pallatanga Fault System), forming the tectonic contacts with oceanic terraine that were accreted to the South American Continental Plate from the late Cretaceous to the Eocene.

Keyword: Hot Springs, Sodium Chlorinated Waters, Sodium Sulphated Waters, Geothermal Origin, Multitud Faul.

1. INTRODUCCIÓN

Los sectores de Jesús María y Yanayacu se encuentran ubicados al Suroccidente del Ecuador, específicamente en la estribación occidental de la cordillera occidental, a pocas centenas de metros de la planicie costera (Fig. 1). Estos dos sectores se encuentran aproximadamente a 31 Km de distancia entre sí y están alineados estructuralmente con el mismo rumbo (NE-SW), localizados a altitudes de 210 y 260 m.s.n.m. respectivamente. La expresión morfotectónica de este sector está reflejada por la dirección de las estructuras (fallas) y las unidades geológicas aquí mapeadas, siendo rocas que constituyen parte del basamento de la cordillera occidental. La geología está compuesta por rocas de piso oceánico de edad cretácica acrecionadas al continente como la Unidad Pallatanga y rocas sedimentarias de tipo turbidítico de edad eocénica del grupo Angamarca, que descansan en contacto discordante y que también están en contacto tectónico por medio de la Falla Multitud, a través de la cual han ascendido y emplazado cuerpos intrusivos de composición granodirítica presentes en ambos sectores. La actividad más reciente de la Falla Multitud ha permitido movimientos dextrales y cizallamiento en las rocas de basamento e intrusivas

presentes, esto pudo haber favorecido el fracturamiento en las rocas y la acumulación de aguas subterráneas. Este hecho se evidencia por la presencia de aguas termales en estos sectores, donde sus temperaturas, entre 40-45°C, sugiere que provienen de una profundidad considerable debido al gradiente geotermal, lo que demuestra además la actual actividad y profundidad de esta falla.

En el presente estudio se analiza el origen geológico de las aguas termales presentes en los sectores de Jesús María y Yanayacu, a partir de las características geológicas observadas durante los trabajos de mapeo realizados por el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE - exINIGEMM) [1] y a través de la investigación de las características físico-químicas de las aguas, obtenidas a través de estudios realizados en estos sectores [18].

2. MARCO GEOLÓGICO

En el suroeste del Ecuador, entre la zona de planicie costera y la cordillera occidental, el basamento está conformado por rocas de origen oceánico. Hacia el occidente, en la planicie costera, subyace a sedimentos cuaternarios, la Formación Piñón, conformada por rocas de corteza oceánica que constituyen el basamento de la costa ecuatoriana [2]. Desde la planicie costera (al Oeste) hacia la estribación occidental (al Este), La Cordillera Occidental presenta cinturones de rocas de origen oceánico que corresponden a La Unidad Pallatanga y Formación Macuchi, que acrecieron contra la margen de la placa Sudamericana desde el Cretácico tardío y el Eoceno respectivamente [3]: Las rocas de La Unidad Pallatanga pueden ser vistas también tectónicamente cubiertas e intercaladas con turbiditas del Maestrichtiano de la Unidad Yunguilla y, de igual manera, las rocas de la Formación Macuchi se encuentran en contacto tectónico con un cinturón deformado de turbiditas más jóvenes de edad Paleoceno-Eoceno del Grupo Angamarca. Más hacia el Este estas rocas de basamento oceánico están en contacto tectónico con rocas metamórficas posiblemente relacionadas con La Unidad Guasuntos del Terreno Guamote [4]. Sobre las rocas de basamento mencionadas, en la parte más alta de la Cordillera Occidental, afloran en contacto discordante las secuencias volcánicas y volcano-sedimentarias Eocénicas-Oligocénicas del Grupo Saraguro.

2.1 Geología Local

Las unidades geológicas presentes en el área de estudio son la Unidad Pallatanga formando un cinturón casi continuo a lo largo de las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental, limitada hacia el Oeste en contacto tectónico con rocas del Grupo Angamarca a lo largo de la Falla Multitud [4]. Estas rocas son difíciles de identificar en este sector, debido a la afectación por el intrusivo y la actividad deformante de las fallas (Fig. 2).

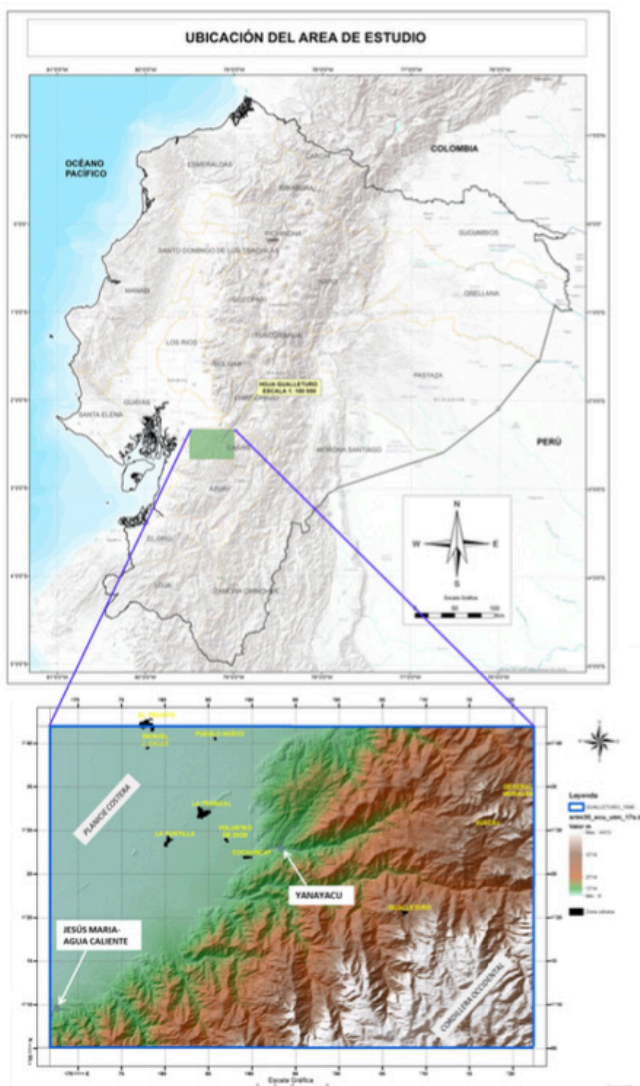


Figura 1: Ubicación del área de estudio, al Sur occidente de Cordillera Occidental Ecuatoriana. Provincias de Cañar y Guayas.

Durante los trabajos de mapeo realizados por el Instituto de Investigación Geológica y Energético (IIGE - exINIGEMM) [1] se pudieron reconocer estos contactos tectónicos, en donde la Falla Multitud estructuralmente presenta un componente dextral (F: 310/65), siendo el límite entre los sedimentos turbidíticos de la unidad El Aromo (Grupo Angamarca) y los basaltos de piso oceánico de la Unidad Pallatanga. Este contacto tectónico es posible observarlo en el sector San Pablo-Río Blanco (Imagen 1), en donde las rocas dentro de la zona de falla se presentan altamente cizalladas, tomando una textura esquistosa en el caso de los sedimentos turbidíticos y con presencia de clivaje en el caso de los basaltos.

En el sector Yanayacu (UTM: 693 238E; 9 728 062N), a lo largo de esta falla, se encuentra un cuerpo intrusivo de composición granodiorítica emplazado en la zona de contacto entre las rocas sedimentarias del Grupo Angamarca y los basaltos de la Unidad Pallatanga, los cuales se hallan afectados por tectonismo y por dicha intrusión, lo cual es evidente a varias decenas de metros desde este punto. En este sector, junto al Río Bulubulu, en la cota de 260 m.s.n.m. existen las emanaciones de aguas termales, sitio que se encuentra alineado a la Falla Multitud, en lo que se constituye en una vía natural de surgencia de las aguas termales. Aunque se conoce también que los contactos geológicos entre rocas intrusivas y sedimentarias son también vías preferentes por las que circulan y emergen las aguas termales [6], este caso sería menos probable debido a que las emanaciones de aguas termales no se encuentran en el pleno contacto, sino más bien, a varias decenas de metros dentro del intrusivo según lo observado en campo, lo cual se encuentra representado en la interpretación geológica (Fig. 3).

Debido a las características litológicas y estructurales del sector de Yanayacu se puede pensar que la recarga inicial de las aguas estaría dada a partir de las grietas, fisuras y fallas en la superficie, a través de los afluentes principales como el Río Bulubulu (Fig. 3). Se descartaría un nivel acuífero que se conecte con esta zona, ya que como se mencionó, existen cinturones tectónicos de roca ígnea las cuales no tienen porosidad original y están limitados por las fallas.

En el sector Aguas Calientes (Jesús María), siguiendo el rumbo de la falla hacia el Sur Oeste (UTM: 667 473E; 9 709 571N), el panorama geológico no es muy diferente, donde las rocas sedimentarias del Grupo Angamarca se encuentran afectadas por el intrusivo y por tectonismo, aunque aquí las emanaciones de aguas termales se encuentran distantes de la Falla Multitud debido a que están alineadas a una falla antitética de rumbo WNW-ESE que se deriva de la falla principal. La intrusión granodiorítica en este sector presenta mineralización de sulfuros y polimetálicos en vetas por lo que es de suponer que dicha mineralización en este sector tenga influencia en el contenido geoquímico de las aguas termales que aquí emergen. Las emanaciones de aguas termales están en la cota de 210 m.s.n.m. y se encuentran junto al Río Tixai, alineado a la falla Antitética a distancia de 3.5 Km de la Falla Multitud. Es posible que las aguas termales en este sector se relacionen también al contacto litológico entre el intrusivo y las rocas sedimentarias del Grupo Angamarca, debido a que la estructura que controla (falla antitética de rumbo) parece estar desplazando al intrusivo también. (Fig. 4).

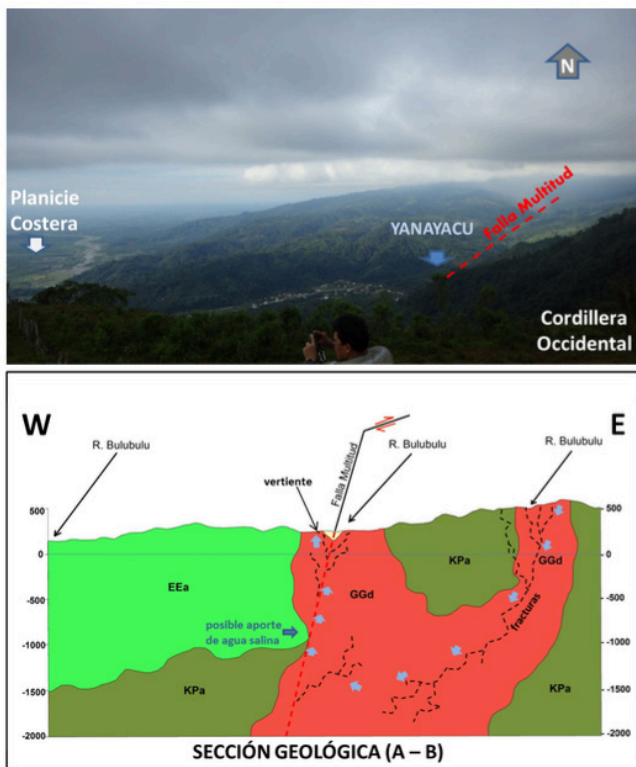


Figura 3: Vista del Sector Yanayacu - Sección Geológica de la surgencia de aguas termales en Yanayacu.

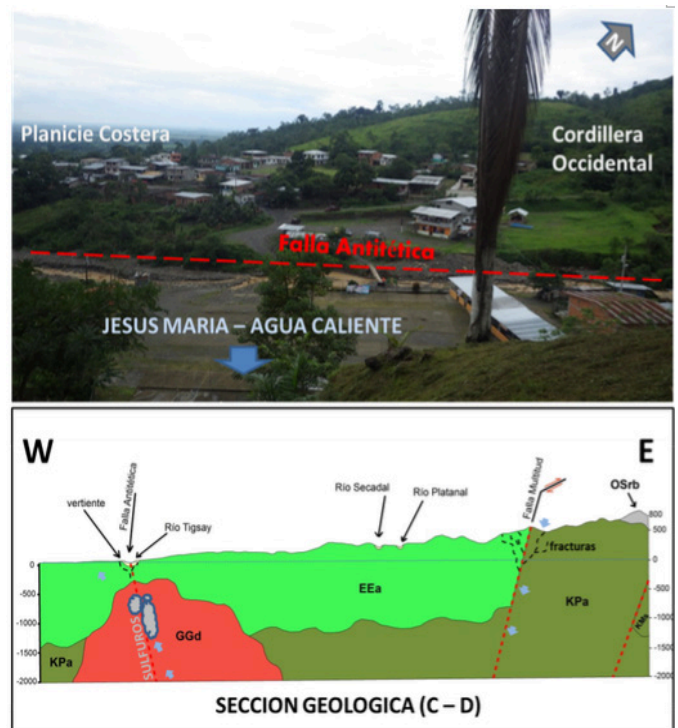


Figura 4: Vista del Sector Jesús María-Agua Caliente - Sección Geológica de la surgencia de aguas termales en Jesús María-Agua Caliente.

Al igual que en el sector de Yanayacu, en el sector de Jesús María - Agua Caliente, la recarga inicial de las aguas estaría dada a partir de las grietas, fisuras y fallas en la superficie, alimentado por afluentes principales como los ríos Platanal, Secadal y Tigsay a su paso por la Falla Multitud (Fig. 4). Se descartaría también un nivel acuífero que se conecte con esta zona, por las mismas razones, la existencia de cinturones tectónicos de roca ígnea las cuales no tienen porosidad original y están limitados por las fallas.

3. Fundamentos Teóricos de las aguas termales

3.1 Origen Geológico.

Las aguas termales emergen del subsuelo presentando dos características principales: han sido calentadas ($>5^{\circ}\text{C}$ que la temperatura superficial) y presentan composición mineral mayor con respecto a las aguas superficiales y minerales no termales. Estas características se deben a que procesos geológicos han intervenido en estas. Un agua termal puede haber tenido una o varias fuentes probables como: agua meteórica (más común), agua de mar, agua connata (común en cuencas sedimentarias) y/o agua magmática [7]. Los procesos geológicos que dan origen al calentamiento y mineralización de las aguas termales son: geotérmicos (gradiente geotérmico - variación de temperatura que aumenta con la profundidad en la corteza terrestre) y magmáticos / volcánicos, siendo sus características las siguientes:

Geotérmicas: Llamadas de infiltración o telúricas. Estas aguas son generalmente de origen meteórico que se infiltran en el suelo descendiendo por gravedad hacia las capas más profundas del subsuelo a través de acuíferos o fisuras, elevando su temperatura durante su circulación subterránea [6]. Estas aguas pueden ascender posteriormente hasta la superficie a través de las fisuras, fracturas y fallas en las rocas. Las características físico-químicas de estas aguas vienen dadas de los terrenos de donde provienen, por ello su contenido geoquímico y su temperatura son muy variables [8]. No obstante, sus temperaturas rara vez llegan a los 50°C [6].

Magmáticas: Estas aguas tienen una relación directa con los volcanes y cámaras magmáticas [6]. Tienen un caudal periódico, rítmico y constante, siendo asimismo constantes, su temperatura y su composición [6]. Además del calentamiento de aguas infiltradas en áreas de emisión volcánica y/o magmáticas, estas aguas surgen de la cristalización de los magmas, consolidación de lavas y de vapor de agua de origen volcánico, acompañados de gases como el anhídrido carbónico (CO_2), nitrógeno (N), sulfhídrico (SH_2), fluorhídrico (HF), etc. liberando constituyentes volátiles que pueden escaparse en forma de fumarolas, compuestas esencialmente de hidrógeno y vapor de agua [8]. Las temperaturas de estas aguas son superiores a 50°C . En estas aguas son comunes los elementos característicos de emanaciones metálicas, tales como: boro, arsénico, fosforo, bromo, cobre, nitrógeno entre otros. [6]

Las aguas termales pueden presentar diferentes temperaturas. Con respecto a la temperatura, estas aguas se pueden clasificar en: fuentes frías (menos de 20°C), fuentes hipotermas o poco frías ($20\text{-}30^{\circ}\text{C}$), fuentes mesotermas o calientes ($30\text{-}40^{\circ}\text{C}$), fuentes hipertermas ($>45^{\circ}\text{C}$) [8].

3.2 Constituyentes

Con respecto a su composición mineral, las aguas termales tienen sustancias disueltas en estado iónico, de los cuales los llamados macroelementos (Aniones: Cl^- , $(\text{SO}_4)^{2-}$, $(\text{HCO}_3)^-$ y Cationes: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) siempre van a estar presentes, en concentraciones comprendidas entre 1 y 1000 ppm y varían dependiendo de fenómenos físicos y químicos y, de las condiciones locales de origen y transporte de estas aguas, las cuales determinarán la evolución química del agua subterránea [9]. Otros elementos constituyentes llamados secundarios (Aniones: $(\text{CO}_3)^{2-}$, $(\text{NO}_3)^-$ y F^- y Cationes: $\text{Fe}^{2+,3+}$, Sr^{2+} y K^+), generalmente se presentan en concentraciones entre 0.01 y 10 ppm. Los elementos menores y los elementos traza se presentan generalmente concentraciones entre 0.0001 y 0.1 ppm [10].

Las concentraciones de los macroelementos y demás elementos son por lo general más altas que en aguas subterráneas no termales, debido a la interacción agua-roca [11].

3.3 Clasificación Geoquímica

Las aguas termales adquieren su composición química mediante un proceso complejo, donde intervienen factores de tipo químico-físico, geológico, hidrogeológico, geomorfológico, pedológico, climático, antrópico y otros [12]. De esta manera el criterio de clasificación puede ser asumido de diversos puntos de vista, pero la clasificación geoquímica está basada principalmente en el contenido de macroelementos presentes en el agua, tomando el nombre del anión y el catión predominante.

Aguas Cloruradas

Es un tipo muy común en los sistemas geotermas. Su origen puede ser muy profundo de aguas fósiles o capas de sal en rocas sedimentarias muy antiguas o formarse de las reacciones entre HCl magmático y los minerales formadores de roca [13]. Su tendencia es un pH neutro. Predomina el ion cloruro acompañado de cationes sodio y potasio, también existe calcio que usualmente es bajo pero variable, dependiendo de su origen puede contener sílice, boro, una significativa pero variable cantidad de sulfatos, bicarbonatos y cantidades mínimas de flúor, amoníaco, arsénico, litio, rubidio y gases disueltos como dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno [14].

Aguas Sulfatadas

Es un tipo asociado generalmente a sistemas geotermas volcánicos. [15]. En casos especiales (no volcánicos) estas aguas están asociadas a interacción de fluidos con rocas que contengan sulfuro

nativo o través de litologías que contengan secuencias sulfato-soportes (ej. Evaporitas) [14]. Dentro de los sistemas geotermales volcánicos, los orígenes de las aguas sulfatadas pueden presentarse cuando el vapor por debajo de los 400° sube desde el agua subterránea de alta temperatura y se condensa en las aguas superficiales en donde sulfuro de hidrógeno del vapor es subsecuentemente oxidado a sulfato en la zona vadosa (región del subsuelo por encima del nivel freático). También se originan cuando se produce absorción y condensación de vapor y gases de la pluma ascendente tomando contacto con aguas subterráneas, acuíferos colgados, agua meteórica de infiltración somera, o lagos volcánicos (aguas sulfatadas vapor calentadas) [16]. Su tendencia es un pH ácido en superficie por HCl y/o HSO_4 , pero a altas temperaturas estas aguas son casi neutras, ya que la acidez está dada por el HSO_4 que se disocia bajo esas condiciones [17]. En estos ambientes predomina el ion sulfato acompañado de vapor separado y gases no condensables como dióxido de carbono, metano, amoníaco, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, nitrógeno. Debido a su naturaleza generalmente superficial, su significado geoquímico usualmente indica origen superficial.

Aguas Bicarbonatadas

Este tipo de aguas puede aparecer tanto en los sistemas geotermales con actividad volcánica y en zonas sísmicamente activas sin volcanismo [17]. Su origen en sistemas geotermales volcánicos se debe cuando el CO_2 es el principal gas contenido en el vapor donde son originadas, ya sea por la disolución del dióxido de carbono o por la condensación de vapor geotérmico en aguas subterráneas libre de oxígeno relativamente profunda (aguas bicarbonatadas vapor calentadas) [14]. Su origen no volcánico procede de la penetración de las aguas en niveles de rocas sedimentarias con una alta proporción de calcáreas. Tienen una mineralización y alcalinidad más baja que las anteriores [6]. Su tendencia es un pH un poco ácido, debido a la disociación de H_2CO_3 , que, a pesar de ser un ácido débil, convierte los feldespatos y arcillas, generando soluciones acuosas neutras, las cuales son ricas típicamente en sodio y bicarbonato, particularmente a temperatura media-alta [14]. Predomina el ion bicarbonato acompañado de cationes sodio y potasio relacionado con fenómenos volcánicos y catión calcio relacionado a procesos geotermales en rocas sedimentarias [6].

Otros Tipos de Aguas Termale

A más de la clasificación geoquímica basada en el contenido de macroelementos presentes, existen otros tipos de clasificaciones para aguas termale tomando en cuenta elementos específicos o procesos que expliquen su origen como: salmueras (de origen volcánico y sedimentario), aguas ferruginosas, aguas radiactivas, aguas sulfuradas y aguas carbogaseosas [6].

4. Metodología y Resultados.

Una vez recopilada la información geológica, geográfica y complementaria obtenida en campo, acerca de los sitios de emersión de las aguas termale, se plotearon los puntos de

ubicación con sus respectivas coordenadas en un sistema de información geográfica (ArcMap v10.6.1), para determinar su ubicación con respecto a la información geológica y estructural existente.

Se realizó la búsqueda y recopilación de información acerca de análisis geoquímicos realizados en los sectores de Jesús María y Yanayacu, con el fin de conocer las características y propiedades fisico-químicas de las aguas. Se pudo obtener información de distintas fuentes, la misma que fue correlacionable; pero, debido a la cantidad de información necesaria para el análisis de las características, composición y origen geológico de estas aguas, se decidió trabajar con datos obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología (INAMHI) del año 2012[18], los mismos que presentan un balance iónico de las aguas, además de las propiedades físicas, como pH, temperatura, entre otras. (Fig. 5 y Fig. 6).

En base a los datos obtenidos se consultaron los métodos para Caracterización Hidrogeoquímica, de los cuales se seleccionaron: el diagrama de Tickell y diagrama triangular (Giggenbach, 1998) [10], debido a que los datos geoquímicos que se obtuvieron son de fácil aplicación a estos métodos y además permiten realizar un análisis e interpretación simplificada de las características geoquímicas de las aguas hidrotermales. El diagrama de Tickell permite visualizar la naturaleza iónica predominante en las aguas y poder determinar el nombre en base a su anión (HCO_3 , SO_4 , $\text{Cl}+\text{NO}_3$) y catión ($\text{Na}+\text{K}$, Ca , Mg) predominante. El diagrama triangular (Giggenbach, 1998) permite interpretar los procesos que ha sufrido el fluido geotermal a partir del anión o macroelemento predominante (HCO_3 , SO_4 , Cl), ya que debido a sus interrelaciones permite conocer el posible origen de estas aguas, pudiendo ser: Aguas Volcánicas, Aguas Periféricas y Aguas Calentadas por Vapor.

A través de los resultados obtenidos en el diagrama de la Figura 8 se puede apreciar a primera vista que los componentes de las muestras de Yanayacu y Jesús María-Agua Caliente difieren en la composición y origen, lo que podría indicar que ocurren dos fenómenos geotermale diferentes en la formación y/o evolución de éstas.

Para el vértice correspondiente a la muestra de Yanayacu se obtuvo que la composición predominante es de aguas cloruradas sódicas (Fig. 5 y Fig. 7A). Esto podría indicar que estas aguas son de gran profundidad relacionada a sales incorporadas de aguas fósiles o de niveles salinos de rocas sedimentarias, hecho que también se relaciona con su temperatura (44.10 °C). Su leve tendencia al anión HCO_3 a composición de aguas periféricas sugiere que posiblemente en estas aguas ocurren fenómenos de mezcla de fluidos del reservorio con acuíferos secundarios. Su pH con tendencia más alcalina que ácida probablemente descarta cualquier origen magmático de estas aguas, ya que además no muestra valores significativos de SO_4 y otros elementos. (Fig. 5).

BALANCE IONICO				
ANION	mg/l	CATION	mg/l	OTRAS DETERMINACIONES
CO3H-	32,00	Na+	79,81	Parámetros
CO3=	32,0	K+	0,76	
SO4=	20,1	Ca++	3,20	CE (µs/cm)
Cl-	195,22	Mg++	6,7	DUREZA (mg/l)
NO3-	0,14	NH4+	0,289	TEMPERAT (°C)
NO2	<0,05	Fe=	<0,5	
PO4=	<0,5			
OTRAS DETERMINACIONES				
Turbidez	0	Cobre	<0,25	
Color	4	Cromo	<1	
Alcalinidad	64	Plomo	<1	
STD	313,795	SiO2	42,5	
CO2	0,03	Mn	<0,05	
OBSERVACIONES:				
TIPO DE AGUA				
CLORURADA SODICA				
HIPERTERMAL				
AUTOR: N. BURBANO G.				

Figura5: Análisis físico-químico de las aguas de Yanayacu. Fuente: INAMHI, 2012.

Para el vértice correspondiente a la muestra de Agua Caliente-Jesús María se obtuvo que la composición predominante es de aguas sulfatadas sódicas (Fig. 6 y Fig. 7B). Esto sugiere que estas aguas son de gran profundidad, lo cual también está relacionado con su temperatura (41.50 °C). Su posición en el diagrama indica que podría tener un origen relacionado a aguas volcánicas o a aguas vapor-calentadas por procesos volcánicos. Sin embargo, su composición sulfatada podría deberse más bien a la interacción de fluidos con la roca que contiene importante presencia de sulfuros, lo cual fue corroborado por observaciones en el campo. Esto podría también estar relacionado con su pH ligeramente alcalino (Fig. 6).

BALANCE IONICO				
ANION	mg/l	CATION	mg/l	OTRAS DETERMINACIONES
CO3H-	20,00	Na+	51,89	Parámetros
CO3=	20,0	K+	0,78	
SO4=	140,9	Ca++	6,30	CE (µs/cm)
Cl-	19,85	Mg++	9,6	DUREZA (mg/l)
NO3-	0,20	NH4+	0,317	TEMPERAT (°C)
NO2	<0,05	Fe=	<0,5	
PO4=	<0,5			
OTRAS DETERMINACIONES				
Turbidez	0	Cobre	<0,25	
Color	3	Cromo	<1	
Alcalinidad	40	Plomo	<1	
STD	268,505	SiO2	67,66	
CO2	0,02	Mn	<0,05	
OBSERVACIONES:				
TIPO DE AGUA				
SULFATADA SODICA				
HIPERTERMAL				
AUTOR: N. BURBANO G.				

Figura6: Análisis físico-químico de las aguas de Jesús María – Agua Caliente. Fuente: INAMHI, 2012.

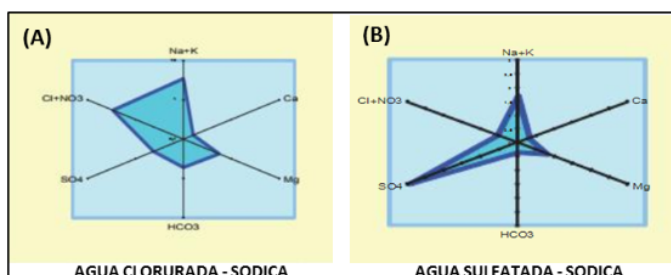


Figura 7: Diagrama de Tickell (Na+K, Ca, Mg, HCO3, SO4, Cl+NO3) (A) Aplicado a las aguas de Jesús María (B) Aplicado a las aguas de Yanayacu. Modificado de INAMHI, 2012.

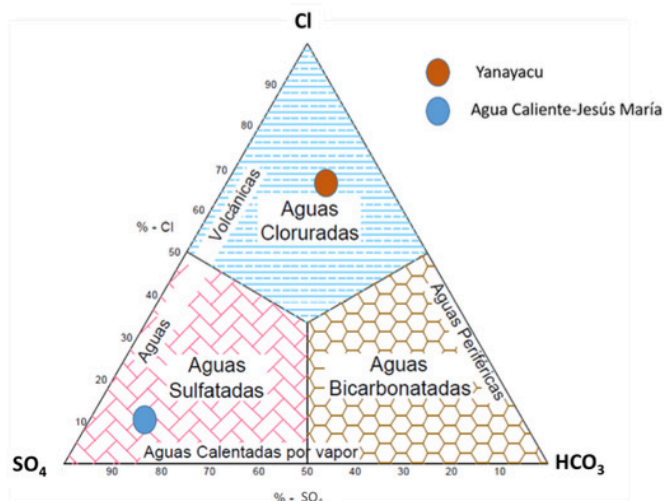


Figura 8: Diagrama Triangular (Giggenbach, 1998) Cl-SO4-HCO3 aplicado a las aguas de Jesús María-Agua Caliente y Yanayacu.

5. Conclusiones

La Tectónica activa presente en los sectores de Agua Caliente-Jesús María y Yanayacu, por medio de la falla Multitud, tiene influencia en la surgencia a superficie de aguas termales.

Desde el punto de vista de origen geológico, las aguas termales de los sectores de Jesús María-Agua Caliente y Yanayacu podrían pertenecer a sistemas de tipo geotermal, es decir que son calentadas por el gradiente de temperatura de la Tierra que aumenta gradualmente hacia la profundidad (Gradiente Geotermal).

El punto de agua termal en el sector de Yanayacu es considerado un tipo de agua clorurada sódica. Estas se podrían interpretar como aguas termales profundas (aguas maduras) de origen sedimentario con mezcla de aguas periféricas (Fig. 8), debido a que presenta un pH levemente alcalino (pH 9.5) y una temperatura de descarga de 44° en promedio, con tendencia a agua Hipertermal.

El punto de agua termal en el sector de Jesús María-Agua Caliente es considerado un tipo de agua sulfatada sódica. Se podría interpretar que pertenecen a aguas termales profundas relacionadas a una fuerte interacción agua-roca, provocando la oxidación de los sulfuros presentes en la roca, que puede enriquecer el contenido de SO4 en el agua (Fig. 8), ya que además, debido a que su pH es levemente alcalino (pH 9.6) no se lo podría relacionar con sulfatos de origen magmático. También su temperatura de descarga de 41.5° en promedio, con tendencia a agua Hipertermal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IIGE, “Memoria técnica de la hoja geológica Centro Gualleturo” Preliminar, Instituto de Investigación Geológica y Energético, Quito, 2018.
- [2] P. Reyes, & Michaud F, “Mapa Geológico de la Margen Costera Ecuatoriana”, escala 1: 500 000, EP PetroEcuador – IRD (Eds), Quito, Ecuador.
- [3] R. A. Hughes, & Pilatasig, L. F. “Cretaceous and Tertiary Terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador”. *Tectonophysics*, 29-48, 2002.
- [4] P. Dunkley, & A. Gaibor, “Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 2° and 3° S”. CODIGEM – British Geological Survey Publication, Quito, Ecuador, 17, 110p, 1997
- [5] C. R. Bristow, & R. Hoffsetter, “Amerique Latine”, Sous la direction de Robert Hoffstetter, Paris. Fascicule 5 a 2. Union Internationale des Sciences Geologiques. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 1977
- [6] J. I. Pinuaga, “Infraestructura Hidrotermal”. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 3-9p, 2010.
- [7] A. J. Ellis, & W. A. J. Mahon, “Natural hydrothermal systems and experimental hot water/rock interactions”. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volumen 28, pp. 1323-1357, 1964.
- [8] G. Castany, "Tratado Práctico de las Aguas Subterráneas". Ed. Omega, Barcelona, 1971.
- [9] L. Barra, “Hidrogeoquímica”. Universidad Católica de Chile, Capítulo 14, pp. 757, 2010.
- [10] E. Quinche & S. Velastegui, “Comparación Genética entre las Aguas Termales de Baños de Cuenca y Baños de Agua Santa”. Tesis Univ. Central del Ecuador, pp. 111-116, 127, 2014.
- [11] D. Chandrasekharam, & J. Bundschuh, “Low Enthalpy Geothermal Resources for Power Generation”.s.l.:Taylor & Francis., 2008.
- [12] J.R. Fagundo, “Evolución química y relaciones empíricas en aguas naturales”. Efecto de los factores geológicos, hidrogeológicos y ambientales. Hidrogeología, Granada, 1990b.
- [13] W. F. Giggenbach, “Chemical techniques in geothermal exploration”. En: *Application of geochemistry in geothermal reservoir development*. UNITAR, Roma, pp. 119-144, 1991.
- [14] M. Pacheco & L. Viera “Metodología Geoquímica Aplicada a Fluidos Geotermales” Dipl. Tesis Univ. Universidad de El Salvador, pp. 5, 31, 2015.
- [15] A. H. Truesdell, “Effects of physical process on geothermal fluids”. En: *Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development*. UNITAR/UNDP Centre of Small Energy Resources, Roma, pp. 71-92, 1991.
- [16] R. Celis, “Caracterización Geoquímica del Sistema Geothermal Termas de Puyehue – Aguas Calientes, Región de Los Lagos, Chile”. Tesis Univ. Universidad de Chile, pp. 34-38, 2012.
- [17] S. Arnórsson et al., “Fluid-Fluid Interactions in geothermal systems”. *Reviews in mineralogy & geochemistry*, Volumen 65, Iceland, pp. 259-312, 2007.
- [18] INAMHI, “Aguas Termominerales en el Ecuador” Subproceso de Estudios e Investigaciones Hidrológicas de la Dirección de Gestión de Hidrología, pp. 24, 49, 2013.