

Evaluación Preliminar del Sistema Geotermal de Baños de Cuenca

Investigadores:



Mayo, 2014

Contenido

CAPÍTULO 1: RESUMEN EJECUTIVO	6
1.1 Ubicación y vías de acceso	6
1.2 Clima y vegetación	6
1.3 Orografía e Hidrología	7
CAPÍTULO 2: GEOLOGÍA.....	8
2.1 Introducción	8
2.1.1 Antecedentes y Justificativos	8
2.1.2 Objetivo	9
2.1.3 Metodología y Alcance	9
2.2 Marco Geológico Regional.....	11
2.3 Estratigrafía	13
2.3.1 Basamento Pre-Terciario	15
2.3.2 Rocas Terciarias	16
2.4 Geología Estructural	28
2.4.1 Fallas	28
2.4.2 Curvilíneos y Caldera Quimsacocha.....	30
2.4.3 Análisis Estructural	31
2.5 Manifestaciones Termales y Alteración Hidrotermal.....	31
2.5.1 Manifestaciones Termales.....	31
2.5.2 Alteración Hidrotermal.....	31
2.6 Resumen	32
CAPÍTULO 3: GEOQUÍMICA DE FLUIDOS HIDROTERMALES.....	33
3.1 Introducción	33
3.2 Trabajos anteriores.....	33
3.3 Estudio Actual.....	35
3.3.1 Métodos del campo.....	36
3.4 Interpretación.....	40
3.4.1 Geotermómetros de Agua.....	40

3.4.2	Geotermómetros de Gas	41
3.4.3	Geotermometría Combinada	41
3.4.4	Origen del agua.....	41
3.5	Resumen	43
CAPÍTULO 4: CONSIDERACIONES GEOTERMICAS DE BAÑOS DE CUENCA		44
4.1	Introducción	44
4.2	Consideraciones Geotérmicas	44
4.2.1	Modelo 1.....	44
4.2.2	Modelo 2.....	45
4.2.3	Modelo 3.....	46
4.3	Resumen	46
CAPÍTULO 5: LOGISTICA REPORTE AMBIENTAL Y SOCIAL		48
5.1	Logística y accesos	48
5.2	Consideraciones ambientales y sociales.....	48
5.2.1	Marco legal Ambiental	48
5.2.2	Autoridades ambientales claves en el licenciamiento del proyecto	52
5.2.3	Proceso de licenciamiento ambiental	52
5.2.4	Participación Pública	53
5.2.5	Áreas Protegidas.....	54
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		55
6.1	Conclusiones.....	55
6.2	Recomendaciones	55
BIBLIOGRAFÍA		57

Índice de Figuras

<i>Figura 1 – Mapa de ubicación.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 3 – Valores pluviométricos mensuales de la estación M0427 (Sayausi); período 2005-2013.</i>	<i>7</i>
<i>Figura 4 – Mapa de ubicación nótese la caldera el complejo volcánico Quimsacocha en la parte central y el área de estudio en la parte nororiental.</i>	<i>11</i>
<i>Figura 5 – Área de estudio en recuadro rojo. (a) Entorno geodinámico del Arco Ecuatoriano (Gutscher et al. 1999). (b) Mapa esquemático de zonas geológicas-geomorfológicas del Ecuador. WC: Cordillera Occidental, IV: Valle Interandino, EC: Cordillera Real (Aspden & Litherland 1992; Inguaggiato et al. 2010).</i>	<i>13</i>
<i>Figura 6 – Mapa Geológico del prospecto Baños de Cuenca. Modificado de Dunkley PN, Gaibor A, (1998) y Villiant W., et al (2012).....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 7 – Diagrama tiempo-espacio de las formaciones en el área de Cuenca en un perfil E-W de Steinmann 1997, Hungerbühler et al., 2002.</i>	<i>15</i>
<i>Figura 8 – Columna estratigráfica simplificada de las series Cretácico superior-Pelocénicas del área de Cuenca (Jaillard et al. 2008).</i>	<i>16</i>
<i>Figura 9 – Columnas estratigráficas de las formaciones Miocénicas tardías del área de Cuenca, con edades obtenidas mediante traza fisión en zircones 2σ de error (Steinmann 1997).....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 10 – Mapa estructural y fisiográfico del Ecuador, enmarcado en rojo el área de estudio. Modificado de Winkler et al., 2005.</i>	<i>28</i>
<i>Figura 11 – Mapa de Fallas y Llineamientos.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 12 – Diagramas estructurales para la Fm. Turi (a) y para la Fm. Plancharumi (b).</i>	<i>31</i>
<i>Figura 13 – Variación Isotópica de Carbono en la Naturaleza.....</i>	<i>42</i>

Índice de tablas

<i>Tabla 1 – Ensayos</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 2 – Metodologías usadas en la preparación de envases.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 3 – Metodología usada para recolectar muestras de agua</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 4 – Resumen de Legislación Ambiental Aplicable</i>	<i>49</i>

Índice de fotografías

<i>Fotografía 1 – Fm . Soldados – Sector hacienda William. UTM WGS84 703277 E; 9674185 N. Toba volcánica polimíctica: clástica de grano visible, se puede identificar detritos angulosos y sub-redondeados de diferentes componentes, en una matriz fina limosa silicificada.</i>	<i>17</i>
<i>Fotografía 2 – Fm. Soldados – sector Sustag. UTM WGS84 709531E; 9675788N. Toba lítica silicificada con clastos y cristales milimétricos; presenta fenocristales de cuarzo aislados relleno de vesículas y una alteración propilitica poco desarrollada.</i>	<i>18</i>
<i>Fotografía 3 – Grupo Ayancay – Lutitas rojizas, areniscas y conglomerados. UTM WGS84 720655E; 9667538N.....</i>	<i>19</i>
<i>Fotografía 4 – Vista general de la Fm. Turi; fotografiado en las coordenadas.....</i>	<i>21</i>
<i>Fotografía 5 – Tobas intensamente meteorizadas, Formación Tarqui. UTM WGS84 713477 E; 9674563 N</i>	<i>23</i>
<i>Fotografía 6 – Aluviales</i>	<i>24</i>

<i>Fotografía 7 – Aluviales</i>	<i>24</i>
<i>Fotografía 8 – Aluviales</i>	<i>25</i>
<i>Fotografía 9 – Morrenas.....</i>	<i>25</i>
<i>Fotografía 10 – Travertino.....</i>	<i>27</i>

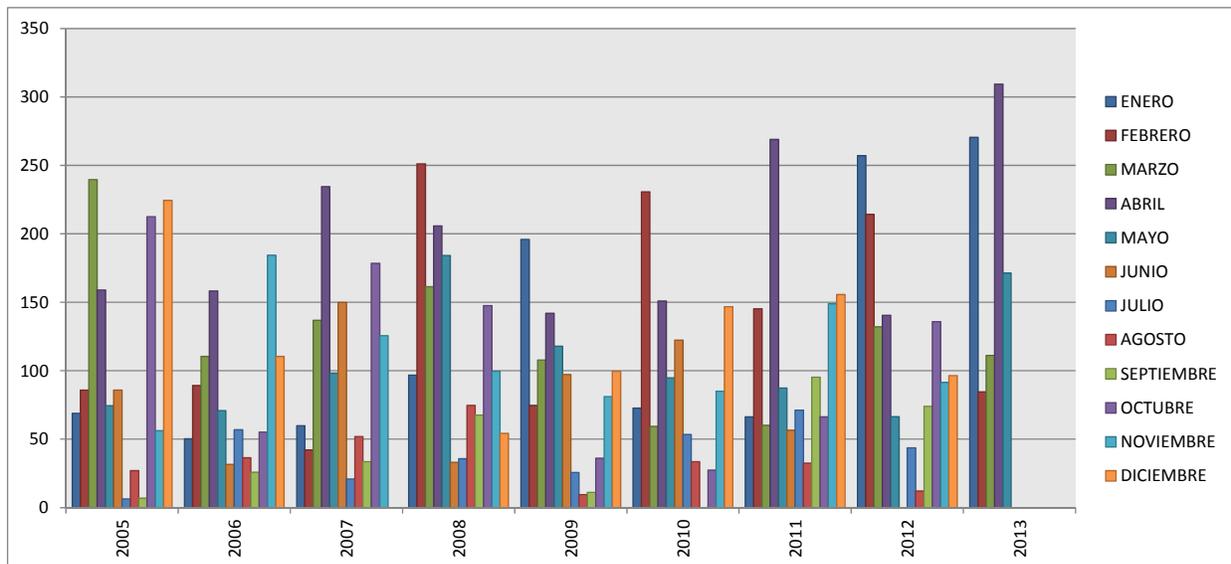
por eucaliptos, especie que llega a ser prácticamente exclusiva en largos tramos, sobre todo en las cotas más bajas. Las áreas originales de bosque han perdurado en las zonas más abruptas y de peor accesibilidad.

1.3 Orografía e Hidrología

Baños presenta un relieve muy irregular, con pequeños valles y elevaciones de gran importancia que van aproximadamente desde los 3.390 msnm hasta los 4.200msnm en el caso de pendientes más pronunciadas que circundan a la cabecera parroquial. La parroquia se encuentra atravesada en las estribaciones de la Cordillera de los Andes y está rodeada de grandes colinas que se desencadenan desde las alturas de las comunidades de Soldados, Chaucha y Angas, para culminar en el fértil valle de Cuenca.

Las elevaciones más cercanas a la parroquia son La Curiquina, Huacaloma y la loma de Huishil; se localizan también las colinas de Minas, Narancay, Alpachaca y Nero. Las principales cuencas hidrográficas aledañas a la parroquia son el Yanuncay y el Tarqui. El río Yanuncay de origen glacial, se convertirá en un importante límite geográfico para la parroquia de Baños.

Figura 2 – Valores pluviométricos mensuales de la estación M0427 (Sayausi); período 2005-2013.



Referencia: Base de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

CAPÍTULO 2: GEOLOGÍA

2.1 Introducción

La Geología del área de Baños de Cuenca ha sido mapeada adecuadamente por Eguez, Beate y otros. En este programa, la geología del área ha sido revisada por el equipo de profesionales de INER bajo la tutela de Bernardo Beate, Don Allen y J. Bolaños, todos son geólogos con experiencia y destrezas especializadas en exploración geotermal. La idea de estos estudios realizados en Diciembre de 2013 fue revisar la geología con respecto al potencial de sistemas geotermales y proveer una actualización modesta a la geología así como una evaluación inicial de los sistemas geotermales y asistir en el futuro planeamiento para la exploración.

2.1.1 Antecedentes y Justificativos

Los estudios geológicos y vulcanológicos con fines geotérmicos iniciaron en la década de los 70's, con el "Estudio de Reconocimiento Geotérmico Nacional de la República del Ecuador" llevado a cabo por el ex Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL), la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), Aquater y BRGM de Francia (Bureau de Recherches Géologiques et Minières); resultado de este informe se definen dos grupos con diferentes grados de interés geotérmicos; Grupo A: sistemas geotérmicos económicamente rentables (Tufiño, Imbabura-Cayambe, Chalupas) y Grupo B: indicios geotérmicos incompletos (Ilaló, Chimborazo y Cuenca). En la década de los 80's el Instituto Nacional de Energía (INE) desarrolló varios proyectos dirigidos a la exploración de recursos geotérmicos de media y baja entalpía, en el que se destaca a Baños de Cuenca como una zona de gran interés. A inicios de la década de los 90's el interés por la exploración Geotérmica fue decreciendo paulatinamente hasta desaparecer conjuntamente con estas instituciones (INECEL e INE).

En los últimos años el Gobierno Nacional con el objetivo de disminuir el consumo de los combustibles fósiles, ha impulsado el desarrollo de las energías renovables, sustentables y amigables con el ambiente, es por esto que el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) a través del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energía Renovable (INER), consciente de la necesidad de aumentar el conocimiento del potencial de los recursos energéticos y fomentar la investigación científico-tecnológica en Ecuador, crea el Proyecto "Plan para líneas de investigación para el desarrollo de la geotermia", dirigido al establecimiento de metodologías de trabajo a ser empleados en futuros proyectos de interés geotérmico de media y baja entalpía.

Considerando lo antedicho, el INER, toma como proyecto piloto el prospecto geotérmico Baños de Cuenca, que por investigaciones precedentes ha sido catalogada como un área muy atractiva para investigación debido a que en sus vertientes aloja la temperatura más alta registrada a nivel nacional (75°C); por ende se ha convertido en una zona óptima para exploración y llevar a cabo el proyecto "Plan para líneas de investigación para el desarrollo de la geotermia".

2.1.2 Objetivo

Realizar un reconocimiento geológico entre las zonas de Baños de Cuenca al este y Pumamaqui al oeste, considerando los aspectos geotérmicos que involucra el área de estudio (222 km²).

2.1.2.1 Objetivos específicos

- Complementar las investigaciones realizadas en Baños de Cuenca.
- Definir fallas y dominio estructural en la zona de estudio.
- Determinar la litoestratigrafía presente en el área de estudio.
- Recolectar rocas para análisis petrográfico y de alteración hidrotermal.
- Determinar la roca reservorio y la fuente de calor del sistema.
- Mapear: alteración, depósitos y vertientes termales.
- Elaborar un mapa 1:5 000 del área Baños de Cuenca.

2.1.3 Metodología y Alcance

Recopilación bibliográfica y selección de zonas: La recopilación de información existente se hizo en base al material disponible y debidamente documentado.

Estudio de campo: Geología regional y de detalle, tectónica regional y geología estructural, mapeo de alteración hidrotermal y de depósitos hidrotermales (travertino); además se recolectaron 7 muestras para análisis petrográfico (Universidad Central del Ecuador, UCE) y 2 muestras para alteración hidrotermal (Spectral International). Para cumplir con esta etapa se contó con mapas geológicos regionales, locales, Imágenes satelitales, modelos digitales de terreno (MDT 5m) y fotografías aéreas de la zona de investigación.

Interpretación de datos: Correlación del ambiente geo-tectónico local y sus consideraciones con el ambiente geológico regional, cabe recalcar que la interpretación geotérmica irá de la mano con los resultados obtenidos en los análisis geoquímicos de aguas y gases.

2.1.3.1 Trabajos Anteriores

Por sus características el área de Cuenca ha llamado la atención de varios investigadores para su estudio, listados a continuación:

Teodoro Wolf (1879), en su libro “Viajes científicos por la República del Ecuador” menciona que las fuentes termales en Baños de Cuenca salen a través de cinco o seis grietas que se cruzan en distintos ángulos y cuya dirección está indicada por las colinas de “toba caliza” que se han formado sobre ellas. Estima una temperatura aproximada de 60°C y menciona que a esa fecha son 4 o 5 fuentes las más caudalosas e innumerables los manantiales pequeños; además indica unos 200 m de largo 10 m a la base y 2 metros a la cima del depósito de carbonato más grande.

Grys et al. (1970), indica que las vertientes del sur del país donde se incluye a Baños de Cuenca, se encuentran en un área donde la actividad volcánica fue intensa durante el Plio – Pleistoceno y están asociadas a travertino.

Menciona que en el área de Baños existen volcánicos Micénicos, fallas norte-sur en el borde del graben (cuenca de Cuenca) y una mineralización Au-Ag en vetas de cuarzo a 500m de los depósitos de travertino. Además que en la década de los 60's ya se le daba uso balneológico y turístico al área de Baños.

INECEL, OLADE, AQUATER, BRGM (1980), en el “Estudio de Reconocimiento Geotérmico Nacional de la República del Ecuador” caracterizan los acuíferos de la cuenca de Cuenca, resaltan que la zona de Baños es de interés desde el punto de vista hidrogeológico por la importante recarga y caudal (≈ 20 l/s) que existe en el área e indica una posible fuente carbonatada para los depósitos de travertino que podrían ser la Fm. Yunguilla o ciertas formaciones sedimentarias de la cuenca que poseen en su litología elementos calcáreos (Fm. Biblián, Fm. Loyola, Fm. Azogues).

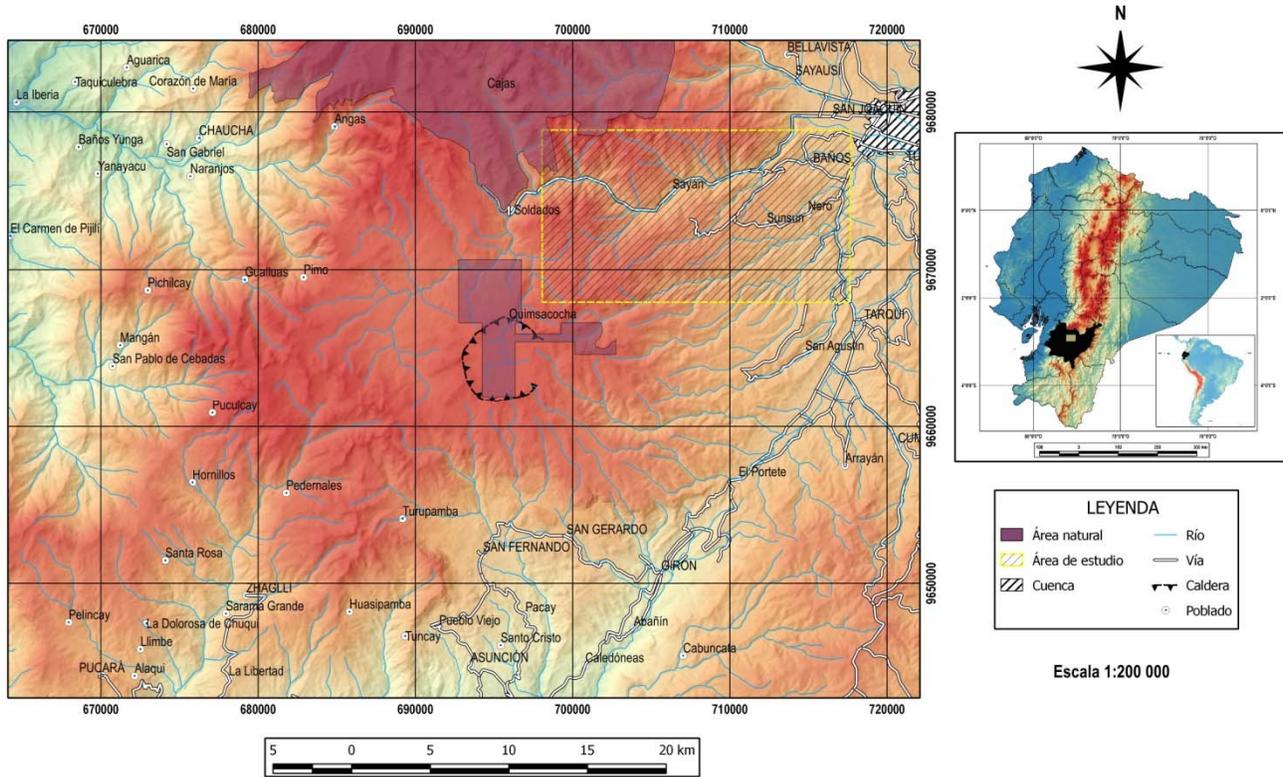
2.1.3.2 Material cartográfico utilizado

El mapa geológico tendrá base la carta topográfica editada por el Instituto Geográfico Militar (IGM) escala 1:50 000 de Cuenca (NV-F4); proyección UTM WGS 84.

Además para las etapas de campo se usaron los siguientes mapas:

- P N Dunkley y A Gaibor., Mapa Geológico de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 2° y 3° S. escala 1: 200 000.
- Mapa geológico del Ecuador “Cuenca” Esc 1:100000; hoja 53.
- Fotografías aéreas adquiridas del Instituto Geográfico Militar escala 1:60 000. Rollo 59 fotos 14199 – 14202 y 14166 – 14169.
- Imágenes satelitales y Modelos digitales de terreno (MDT) de la zona de Baños de Cuenca, adquiridas del Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS).

Figura 3 – Mapa de ubicación nótese la caldera el complejo volcánico Quimsacocha en la parte central y el área de estudio en la parte nororiental.



2.2 Marco Geológico Regional

El Ecuador continental está subdividido en varias zonas geológicas, cada una de ellas bien diferenciadas por sus características geomorfológicas. De este a oeste tenemos: La región Amazónica (Oriente) conformada por la *Cuenca Oriente* y la *Zona Sub-andina*; la región Sierra que forman parte la *Cordillera real u oriental* el *Valle interandino* y la *Cordillera Occidental*; finalmente la región Costa que forma parte de una gran planicie costera limitada por el Océano Pacífico.

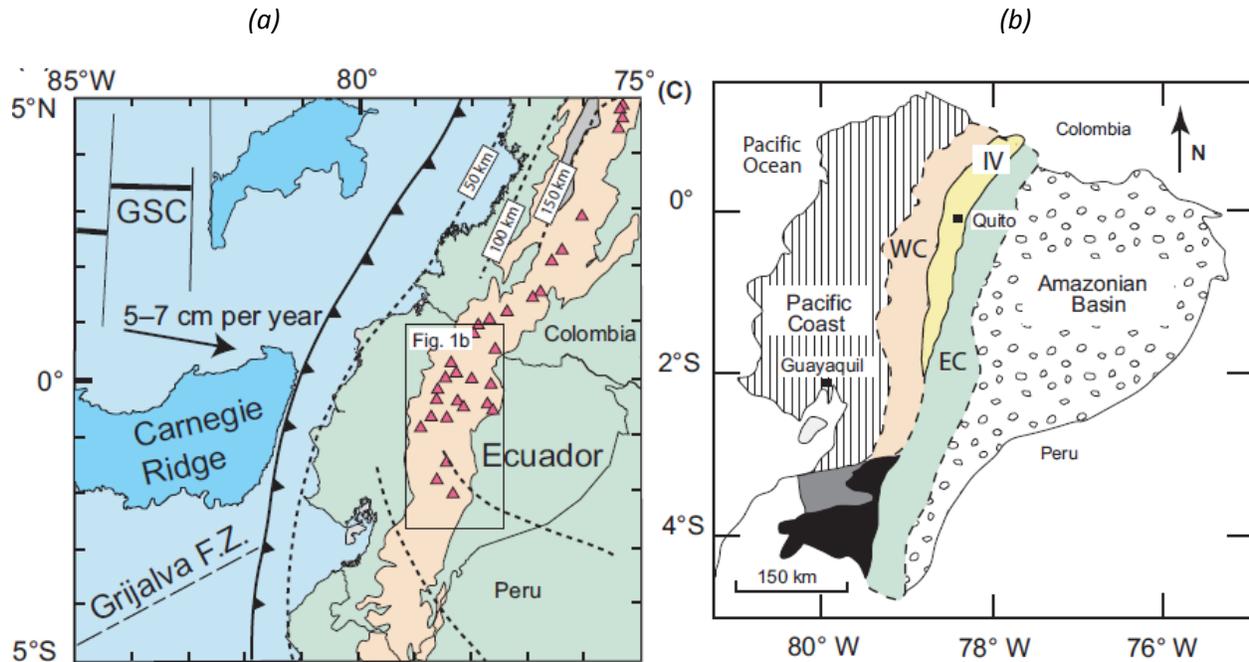
El Oriente se desarrolla entre la cuenca de Putumayo en Colombia y la cuenca de Marañón en Perú, forma parte de la gran Cuenca Amazónica y contiene formaciones sedimentarias con edades comprendidas entre el paleozoico hasta el reciente, depositadas sobre un basamento cratónico Precámbrico (Tshopp 1953). Hacia el occidente de la cuenca Oriente, la zona sub-andina geomorfológicamente está caracterizada por los levantamientos Napo, al NO y Cutucú, al SO, separados por el mega-cono aluvial del Pastaza, que se desarrolla actualmente hacia la cuenca Marañón (Baby et al. 2004) y limitados con la Cordillera Real por fallas cabalgantes.

La región Sierra se caracteriza por la cadena montañosa de los Andes, que en el Ecuador se subdivide en dos cordilleras paralelas de rumbo N-S a NNE-SSW, y son: La Cordillera Real, conformada por cinturones de rocas

metamórficas paleozoicas orientadas en dirección andina y corresponden a terrenos de naturaleza alóctona y autóctona, desarrollados en diferentes ambientes y separados longitudinalmente por grandes sistemas de fallas regionales que representarían suturas de acreción (Aspden & Litherland 1992; Litherland et al. 1994) e intruidas por granitoides mesozoicos. La Cordillera Occidental consiste de rocas basálticas con afinidades de plateau oceánico, depósitos volcanoclásticos y secuencias turbidíticas del Mesozoico tardío al Cenozoico temprano. Estas rocas representarían terrenos acrecionados entre el Cretácico tardío a Eoceno tardío (Hughes & Pilatasig 2002) y son intruidas por granitoides de edad Eocénica. La Cordillera Occidental y Real están separados por el valle interandino, en el norte y centro de Ecuador (1°N-2°S), se desarrolla un arco volcánico calco-alcalino que se extiende hasta Colombia (Barberi et al. 1988; Hall, M.L and Beate 1991) y rellena con productos de arcos volcánicos Neógeno-Cuaternario al valle interandino (Lavenue et al. 1996; Hungerbühler et al. 2002) . Más al sur (2°S - 5°S), el límite tectónico entre las unidades oceánicas alóctonas y el margen continental autóctono se encuentra al oeste de la Cordillera Occidental, y el bien definido valle interandino se desvanece (Jaillard et al. 2008).

Limitada al este por las estribaciones de la cordillera Occidental, la región Costa corresponde a una planicie costera o cuenca de anteraco, que al igual que la Cordillera Occidental está conformada por terrenos de origen oceánico, expuestas en cordilleras locales, acrecionados a la margen continental entre el Cretácico y el Eoceno tardío (Goossens & Rose 1973; Feininger & Bristow 1980).

Figura 4 – Área de estudio en recuadro rojo. (a) Entorno geodinámico del Arco Ecuatoriano (Gutscher et al. 1999). (b) Mapa esquemático de zonas geológicas-geomorfológicas del Ecuador. WC: Cordillera Occidental, IV: Valle Interandino, EC: Cordillera Real (Aspden & Litherland 1992; Inguaggiato et al. 2010).



2.3 Estratigrafía

La zona de Cuenca está situado en la estribación occidental de la Cordillera Oriental (Litherland et al. 1994), y está limitado al oeste por levantamiento de rocas de arco-volcánico terciario (Grupo Saraguro), el basamento podría ser continental, como lo demuestran los afloramientos cristalinos al oeste de Cuenca (Dunkley y Gaibor, 1998; Pratt et al, 1998). La cuenca recibió una gruesa capa de depósitos marinos y subaéreos durante el Mioceno-medio, posteriores deformaciones de compresión fueron controlados por grandes fallas con tendencia NE (Bristow, 1980; Noblet et al, 1988; Hungerbühler et al, 2002). El basamento de los depósitos terciarios de la zona de Cuenca está representado principalmente por rocas metamórficas del Jurásico-Paleozoico y depósitos sedimentarios del Cretácico-Paleógeno (Bristow, 1980; (Litherland et al. 1994; Hungerbühler et al. 2002)).

Las fuentes termales de Baños se encuentran a 7 km al SW de la ciudad de Cuenca, sus vertientes poseen las temperaturas más altas registradas a nivel nacional, alcanzando los 75 °C, su fuente de calor estaría relacionado con el complejo volcánico Quimsacocha del Mio-Plioceno tardío que está compuesta principalmente por una potente capa de sedimentos volcanoclásticos del Mioceno tardío (Beate & Salgado 2010).

Figura 5 – Mapa Geológico del prospecto Baños de Cuenca. Modificado de Dunkley PN, Gaibor A, (1998) y Villiant W., et al (2012).

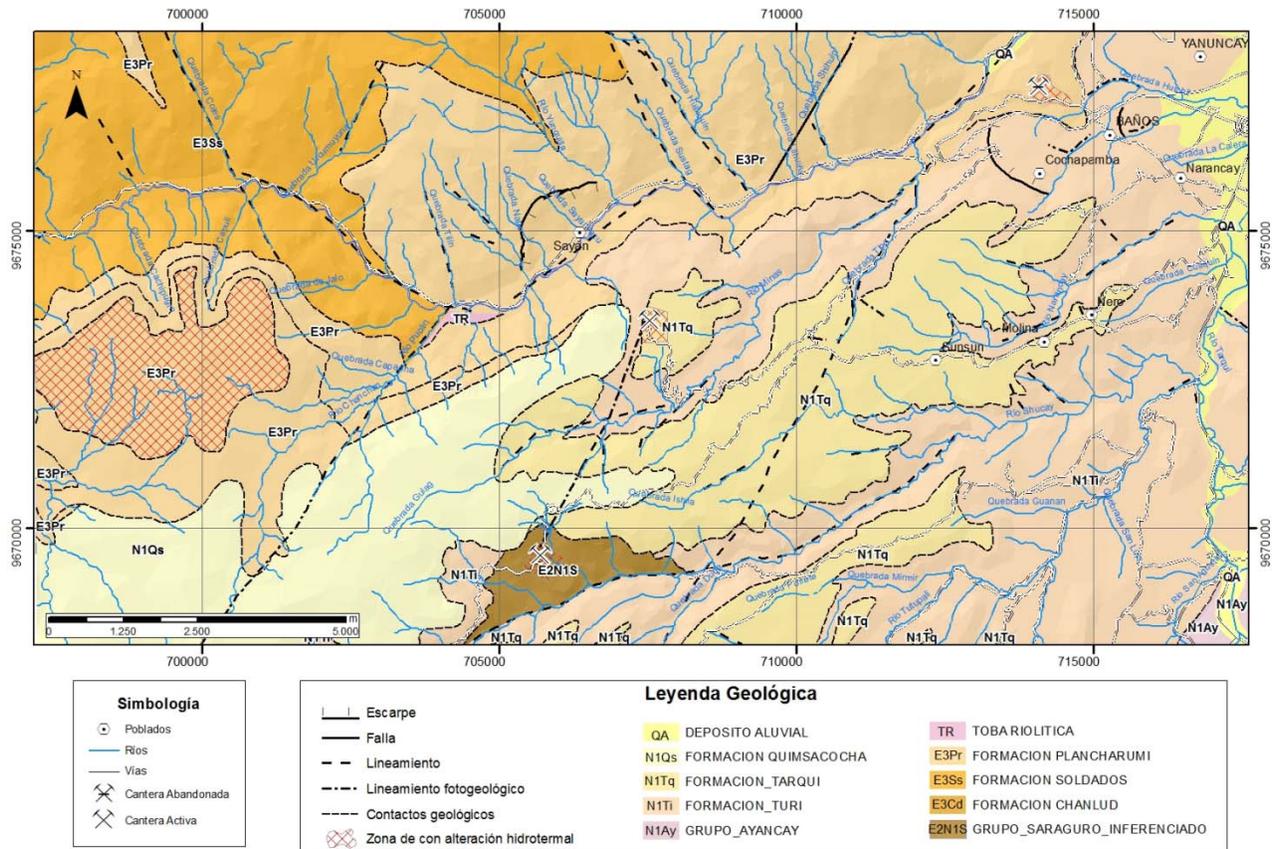
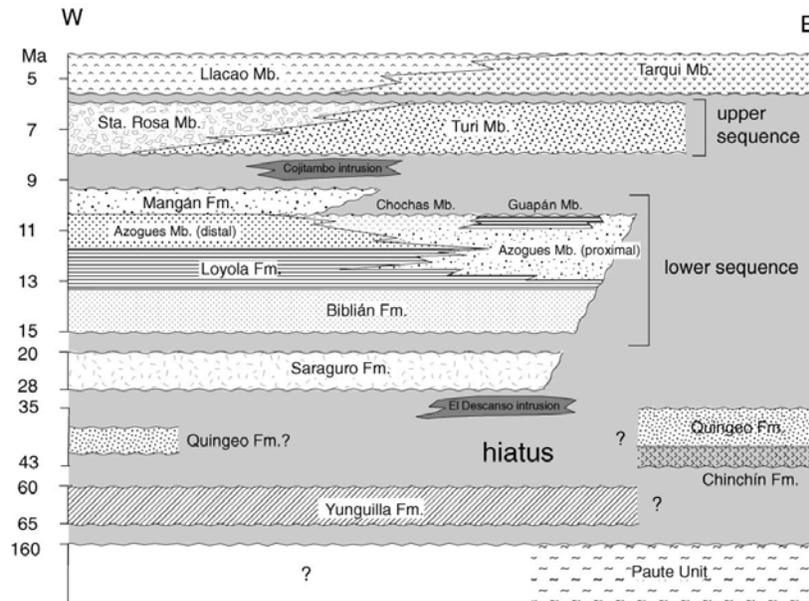


Figura 6 – Diagrama tiempo-espacio de las formaciones en el área de Cuenca en un perfil E-W de Steinmann 1997, Hungerbühler et al., 2002.



2.3.1 Basamento Pre-Terciario

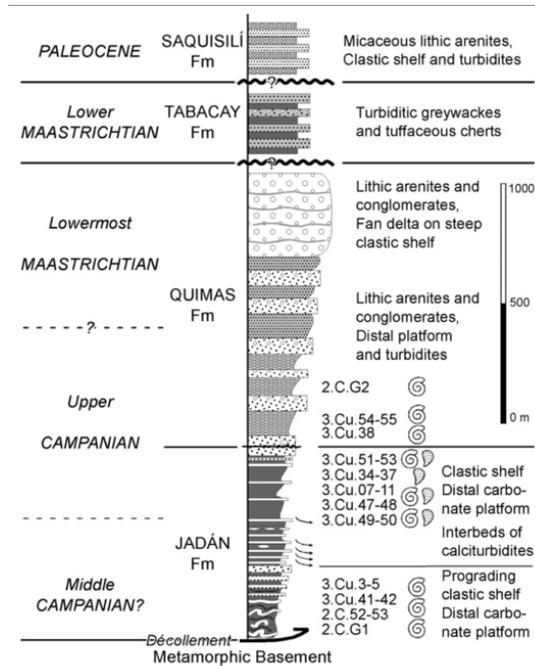
2.3.1.1 Rocas Metamórficas

El proyecto se emplaza sobre rocas metamórficas del terreno Chaucha, interpretado como un terreno de origen continental acrecionado a los terrenos metamórficos de la cordillera real en el cretácico temprano, en el denominado evento Peltetec (Litherland et al. 1994). No existen rocas expuestas del terreno Chaucha, pero xenolitos de rocas metamórficas similares a los terrenos de Loja y Tahuín (esquistos, La Victoria y gneis semi-pelíticos, El Tigre) se han encontrado en rocas volcánicas del terreno Chaucha (Litherland et al. 1994).

2.3.1.2 Formación Yunguilla

En el área de estudio no existen rocas expuestas de esta formación. Aflora a lo largo de un cinturón de tendencia NNE en las áreas de Azogues, Cuenca y al este de Cumbe (Jaillard et al. 2008). En el área de Cuenca de base a tope está conformado por arrecifes distales, margas de grano fino, arcosas y calizas de la formación Jadán; arrecifes ricos en cuarzo de grano grueso y deltas conglomeraticos de la Formación Quimas; y cherts negros discordantes con intercalaciones de turbiditas volcanogénicas de la Formación Tabacay (Jaillard et al. 2008). Posee un espesor superior a los mil metros y se ubica en un rango de edades comprendido entre el Cretácico tardío al Paleoceno. (No representa un acuífero)

Figura 7 – Columna estratigráfica simplificada de las series Cretácico superior-Pelocénicas del área de Cuenca (Jaillard et al. 2008).



2.3.2 Rocas Terciarias

2.3.2.1 Grupo Saraguro

2.3.2.1.1 Formación Soldados

En el área de estudio aflora en forma de bloques columnares en zonas cercanas al poblado de Soldados, donde tiene más de 300m de espesor; al NE de Soldados descansa discordantemente sobre las lavas de la Formación Chanlud al sur de Soldados está sobreyacida inconformemente por la Formación Plancharumi y se extiende hacia el NO hasta el área de Miguir (Dunkley & Gaibor 1998). En el área de estudio está compuesta por tobas líticas de color gris claro – marrón, con bajo contenido en ferromagnesianos; líticos angulosos y sub-redondeados de composición andesítica y riolítica, con tamaños variables (milimétricos a centimétricos) en los que se observa una textura eutaxítica y esporádicas vesículas. La matriz está conformada por material fino piroclástico, cristales de plagioclasas que en sus bordes se han desarrollado zonas de alteración o huellas de ascenso de fluido hidrotermal (moderada alteración clorita+sílice), además presenta cuarzos aislados (ojos de cuarzo) anhedrales de diferentes tamaños. Generalmente los afloramientos se encuentran masivos, moderadamente fracturados en bloques regulares, con fracturas persistentes y abiertas. Dunkley PN y Gaibor A (1997) reportan edades para esta formación mediante método traza fisión en zircones de 29.8 ± 1.2 Ma.

Fotografía 1 – Fm . Soldados – Sector hacienda William. UTM WGS84 703277 E; 9674185 N. Toba volcánica polimíctica: clásica de grano visible, se puede identificar detritos angulosos y sub-redondeados de diferentes componentes, en una matriz fina limosa silicificada.



2.3.2.1.2 Formación Plancharumi

Aflora a través de la vía Barabón-Bayan-Soldados el afloramiento tipo se encuentra en 709531E; 9675788N, su potencia aproximada es de hasta 400 m de espesor en el cerro Plancharumi (al oeste del área de estudio); descansa discordantemente sobre la Formación Soldados y es sobreyacida discordantemente por las formaciones Jubones y Quimsacocha, (Dunkley & Gaibor 1998). En el área de estudio está conformado por tobas líticas cloritizadas de color gris verdosa – clara, con clastos de tamaños milimétricos (<2cm) que poseen buena a moderada orientación de los fenocristales (textura eutaxítica) y mayoritariamente son de composición intermedia. La matriz presenta un tinte verdoso por la alteración de los ferromagnesianos (anfíboles y piroxenos) y procesos de meteorización; la presencia de sílice rellenando la matriz nos puede indicar una alteración por silicificación. Es muy común encontrar fenocristales de cuarzo subhedral aislados (ojos de cuarzo) rellenando las vesículas, además de vetillas de carbonato y cuarzo emplazadas en una dirección preferencial E-W. En zonas presenta una alteración propilítica no muy desarrollada por lo que el color de la roca se torna marrón. Generalmente los afloramientos se encuentran masivos, muy fracturados en bloques irregulares, con fracturas persistentes, abiertas en ocasiones con relleno mineral (calcita, sílice) por lo que representa un potencial reservorio por porosidad secundaria. Dunkley PN y Gaibor A (1997), reportan edades para esta formación obtenida mediante método traza fisión en zircones de 25.7 ± 1.1 Ma.

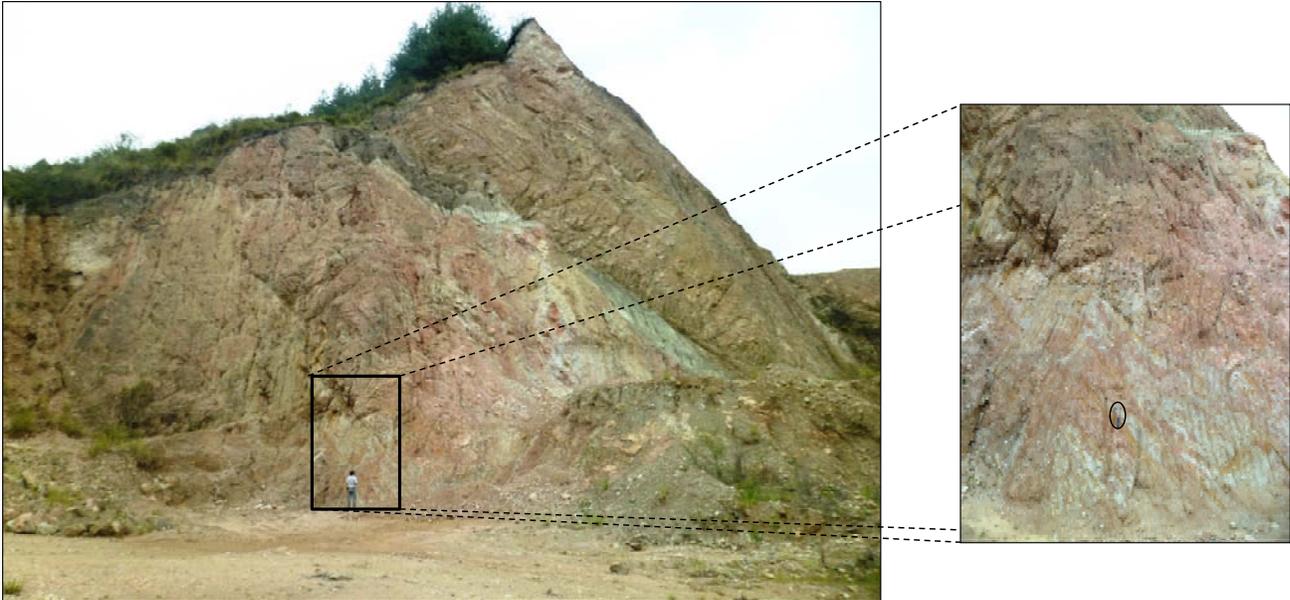
Fotografía 2 – Fm. Soldados – sector Sustag. UTM WGS84 709531E; 9675788N. Toba lítica silicificada con clastos y cristales milimétricos; presenta fenocristales de cuarzo aislados relleno de vesículas y una alteración propilitica poco desarrollada.



2.3.2.2 Grupo Ayancay

Aflora al SW del área de estudio, conforma la secuencia sedimentaria que forma parte de la cuenca de Cuenca, descansa discordantemente sobre el grupo Saraguro y está sobreyacido por la Fm Turi; está compuesta predominantemente por depósitos de origen fluvial areniscas, lutitas rojizas, areniscas escasas tobas y conglomerados que forman parte de las Formaciones Santa Rosa y Mangán (Bristow et al. 1977; Bristow & Parodiz 1982). Su edad es Mioceno Medio (18-10), (Hungerbühler 1997); estudios más recientes ubican a la Fm. Mangan y Fm. Santa Rosa en el Mioceno tardío (9.9 – 9.5 y 8 ± 1.0 Ma, respectivamente), siendo está último como un miembro de la Fm. Turi resultado de un cambio de facie (Steinmann 1997; Hungerbühler et al. 2002).

Fotografía 3 – Grupo Ayancay – Lutitas rojizas, areniscas y conglomerados. UTM WGS84 720655E; 9667538N



A continuación se presenta la potente serie sedimentaria Miocénica (2400 – 3000 m) que forman parte de la cuenca de Cuenca (Hungerbühler et al. 2002), y que sin embargo no afloran en el área de estudio pero son de importancia para la comprensión e interpretación del sistema geotérmico.

2.3.2.2.1 Formación Biblián

Descansa discordantemente sobre el Grupo Saraguro en un hiato que supera los 7~10 Ma (Fig 8) (Hungerbühler et al. 2002) y en sectores sobreyace discordantemente a la Fm. Yunguilla (Baldock 1982); aflora en las áreas entre Cuenca y Biblián y está sobreyacida por la formación Loyola. En el área de Cuenca está conformado por intercalaciones de arcillas purpuras, rojas y verdes con frecuente erosión, capas métricas a decimétricas de areniscas de grano fino a medio (Hungerbühler et al. 2002) que en algunas zonas son a elementos calcáreos, también posee depósitos evaporíticos (INECEL, 1980) y conglomerados con matriz arenosa (INE, 1981). Noblet et al. (1988) asigna un espesor de 1500 m a esta formación pero trabajos más recientes indican un espesor máximo de 300m y una edad obtenida mediante traza fisión en zircones de 14.7 ± 2.4 y 12.3 ± 1.6 Ma (Hungerbühler et al. 2002). El estudio de reconocimiento geotérmico de la república del Ecuador (1979-1980) menciona que esta formación conforma posiblemente un acuífero regional.

2.3.2.2.2 Formación Loyola

Generalmente sobreyace en contacto transicional a la Fm. Biblián aunque en sectores presentan discordancias de bajo ángulo (Noblet & Lavenu 1988; Marocco et al. 1995); el espesor para esta formación es de 450m (Hungerbühler et al. 2002). Compuesta de lutitas negras finamente laminadas ricas en pirita con intercalaciones de areniscas finas (norte y centro de Cuenca) a gruesas (sur de Cuenca) que representan lenguas del Mb. Azogues los cuales interdigitan a la Fm. Loyola (Hungerbühler et al. 2002). Posee una amplia

fauna fósil que han ubicado a la formación en el Mioceno medio (Bristow et al. 1977) pero nuevas dataciones obtenidas en depósitos de tefras indican una edad mediante traza fisión en zircones de 13.9 ± 1.4 y 11.1 ± 1.0 Ma (Hungerbühler et al. 2002).

2.3.2.2.3 Formación Azogues

Dividida por Steinmann (1997) en tres miembros:

Miembro Azogues: Descansa sobre la Fm. Loyola mayoritariamente en contacto concordante aunque en varios lugares existen evidencias de interdigitaciones del mismo; con un espesor entre 450 – 500 m, aflora a lo largo de la vía Cuenca – Azogues y está compuesta por areniscas grises masivas de grano grueso, limolitas y escasas lutitas; canales conglomeráticos con tendencias granocrecientes son intercalados con limolitas, areniscas finas, paleosuelos y capas de carbón delgadas (Steinmann 1997; Hungerbühler et al. 2002), INECEL (1980) menciona cantos rodados de caliza y un posible acuífero local en este conglomerado. Nuevos estudios revelan una edad mediante traza fisión en zircones de 13.0 ± 1.0 y 11.9 ± 1.2 Ma (Steinmann 1997).

Miembro Guapán: Con un espesor aproximado de 200 m, aflora principalmente en una estructura sinclinal alrededor y al sur de Azogues, consiste de lutitas negras y café-oscuras finamente laminadas con areniscas tobáceas, diatomitas blancas y capas de arcilla (Steinmann 1997) con intercalaciones bentoníticas (INE 1981). Plantas y hojas fósiles son abundantes. Steinmann (1997) reporta edades de 11.5 ± 1.4 Ma.

Miembro Cochas: El espesor de este miembro no excede los 100 m y está expuesto en forma dispersa al este de Cuenca; Steinmann (1997) localmente identifica depósitos volcánicos primarios como, estratos de tobas grises a café, pómez, tobas cristalinas, capas de lapilli y conglomerados finos. Steinmann (1997) reporta edades de 11.0 ± 1.0 y 10.2 ± 1.2 Ma.

2.3.2.2.4 Formación Mangán

Con un espesor máximo de 1000 – 1200 m, en la parte central de Cuenca sobreyace en discordancia angular a la Fm. Azogues, mientras que hacia el norte sobreyace a la Fm. Loyola. Se encuentra expuesto al oeste del área Cuenca-Ingapirca e incluye dos unidades litológicas bien diferenciadas. La unidad superior está conformada por alternancias de lutitas grises, verdes y rojas con areniscas rojas, mientras que la unidad superior está dominada por capas gruesas de areniscas y conglomerados. Adicionalmente la parte superior de esta formación contiene horizontes de carbón con espesores variables (menores a los 3 m) que contiene flora y fauna fósil abundante. Steinmann (1997) reporta edades de 9.9 ± 1.2 a 9.5 ± 1.0 Ma.

2.3.2.3 Formación Turi

Representa la parte superior de la secuencia sedimentaria de la cuenca de Cuenca y está representado por volcánicos clasto-soportado (Hungerbühler et al. 2002). En la zona de Cuenca sobreyace discordantemente a la formación Mangán con una discordancia angular regional (Steinmann 1997) que no se la pudo apreciar en el área de estudio. Conformado por conglomerados gruesos y en sectores brechosos, pobremente sorteado y litificados, horizontalmente estratificados, intercalados con areniscas y limolitas tobáceas de color pálido, con leves buzamientos hacia el este que en la zona de Baños se tornan heterogéneos. Los clastos consisten principalmente de andesitas con tamaños variados (menores a 30 cm) inmiscuidos en una matriz arenosa fina a

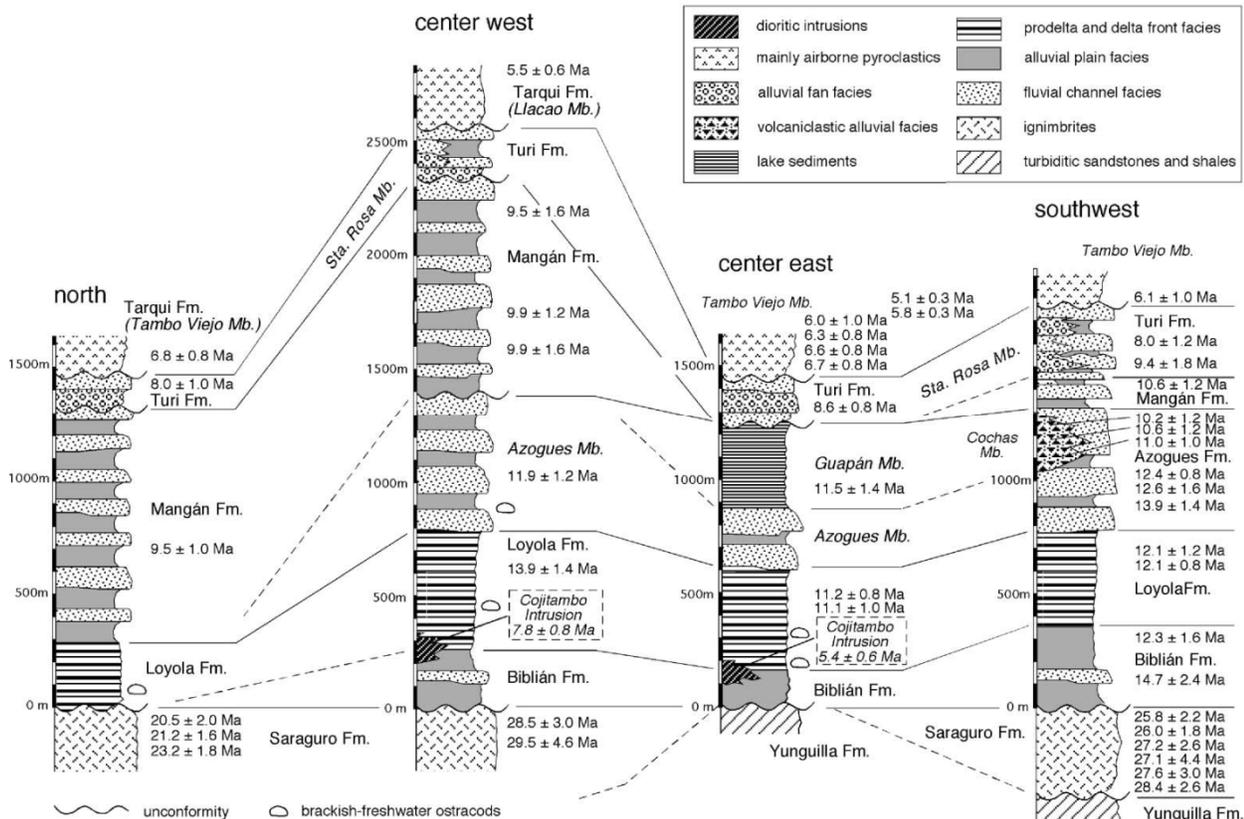
gruesa. En sectores presenta fracturas y agrietamientos no muy desarrollados y forma grandes escarpes aguas arriba del río minas, la potencia aproximada para esta formación es de 200m de espesor. Bristow (1973) define dos miembros el Mb. Santa Rosa y el Mb. Turi que son resultado de un cambio lateral de facies, pasando de sedimentos gruesos conglomeráticos al oeste a sedimentos finos al este, respectivamente; por las interdigitaciones que existen entre estos dos miembros, su distribución geográfica, las direcciones de flujo y la abundancia de guijarros volcánicos, es interpretado como la primera secuencia que tuvo como fuente el material volcánico de la incipiente Cordillera Occidental durante el Neógeno (Steinmann 1997). Por las evidencias litológicas de campo, la permeabilidad de esta formación en la zona de estudio es muy baja y no conformaría ningún acuífero. Fue considerada del Plioceno (Bristow & Parodiz 1982), pero nuevas dataciones de trazas de fisión (Steinmann 1997) indican una edad del Mioceno tardío (9.6 ± 1.8 y 8.0 ± 1.2 Ma).

Fotografía 4 – Vista general de la Fm. Turi; fotografiado en las coordenadas

UTM WGS84 711245 E, 9675559 N



Figura 8 – Columnas estratigráficas de las formaciones Miocénicas tardías del área de Cuenca, con edades obtenidas mediante traza fisión en zircones 2σ de error (Steinmann 1997)



2.3.2.4 Formación Quimsacocha

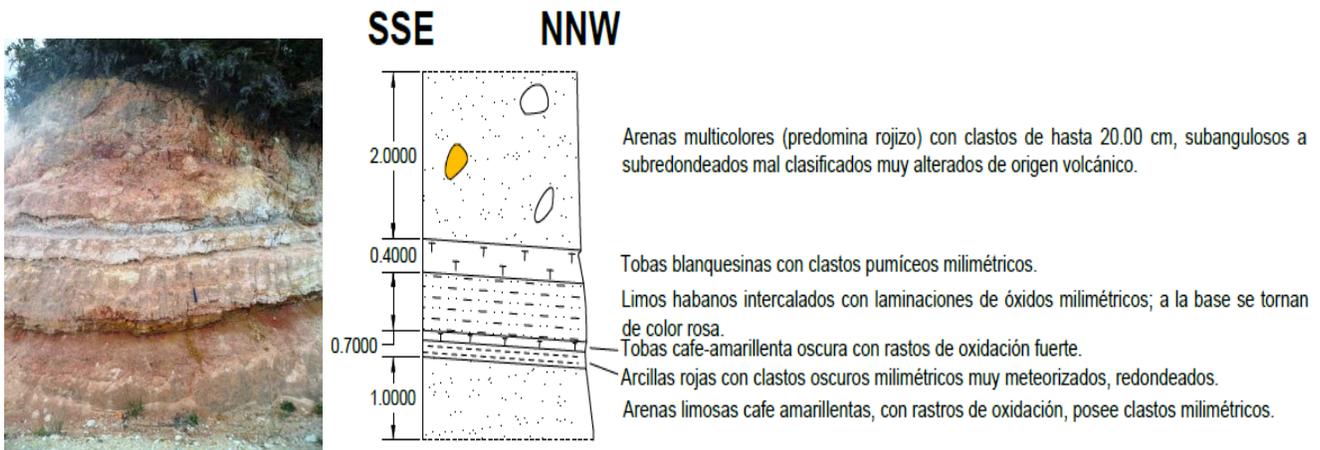
Sobreyace discordantemente a la Formación Turi alrededor de la caldera Quimsacocha. Las rocas expuestas afloran en forma radial al centro de emisión volcánico Quimsacocha, con buzamientos suaves (c. 5°) hacia afuera de la caldera (Dunkley & Gaibor 1998). Las rocas comprenden flujos de lavas fíricas de plagioclasa muy frescas bandeadas, así como tobas andesíticas y brechas alrededor de la caldera (Valliant et al. 2012), localmente están presentes grandes bloques redondeados con textura de corteza de pan (Dunkley & Gaibor 1998). Rellenando la caldera se encuentran domos riolíticos y dacíticos con edades de 3.6 ± 0.3 Ma (mid-Plioceno temprano) (Beate et al. 2001).

2.3.2.5 Formación Tarqui

Interpretado como un depósito volcánico distal del complejo volcánico Quimsacocha compuesto por ignimbritas riolíticas (Beate et al. 2001), aflora principalmente hacia el flanco oriental de la caldera y sobreyace discordantemente a la Formación Turi, en el área de estudio no excede los 100 m de potencia aunque se reportan espesores de hasta 400 m (Valliant et al. 2012). El afloramiento tipo se encuentra a través de la vía Nero – Naranca (713477 E; 9674563 N) y comprende tobas ácidas caolinizadas multicolores, unas

intensamente meteorizadas y otras blancas amarillentas y rojas, que cubren todas las unidades más antiguas del área. Es característica la presencia de abundantes cristales euhedrales bipiramidales de cuarzo que se encuentran en pequeños bolsillos residuales en la superficie (Pratt et al. 1998). Estudios recientes indican que esta formación corresponde a la última actividad volcánica del complejo Quimsacocha indicando edades en la transición del Mio-Plioceno (5.2 ± 0.4 y 4.9 ± 0.3 Ma) (Beate et al. 2001).

Fotografía 5 – Tobas intensamente meteorizadas, Formación Tarqui. UTM WGS84 713477 E; 9674563 N



2.3.2.6 Depósitos Cuaternarios

2.3.2.6.1 Aluviales

Depósitos y Terrazas aluviales ocurren en el valle que ha formado el río Yanuncay en su paso a través del grupo Saraguro, su potencia no excede los 8 m y en ocasiones forma grandes terrazas como en el sector de Sustag. Sobre los 3000 m se encuentran entreverado o subyaciendo a morrenas glaciares. Conformado por clastos polilitológicos de origen volcánico, mal clasificados, subredondeados a redondeados, esfericidad moderada a regular, tamaños variables (gravas – bloques) inmiscuidos en una matriz (dominante sobre los clastos) arenosa gris-marrón frecuentemente con pátinas de oxidación. Por estas características litológicas estos depósitos representarían un acuífero superficial con buena permeabilidad.

Fotografía 6 – Aluviales



Fotografía 7 – Aluviales



Fotografía 8 – Aluviales



2.3.2.6.2 Morrenas

En la zona de estudio aparecen en las áreas de alta montaña donde la altura supera los 3100 msnm. A estas elevaciones se puede apreciar las geoformas glaciáricas como, valles en “U” y circos glaciares, que evidencian que el área estuvo expuesto a un período de glaciación y posteriormente a erosión glacial. En el área de estudio el espesor de estos depósitos no superan los 10 m y comprende morrenas del tardiglaciario compuesta de clastos (30%) angulosos de composición intermedia a ácida de tamaños variables (gravas-bloques), mal clasificados con rastros de oxidación inmiscuidas en una matriz (70%) limo arenosa color crema a gris, permeabilidad baja por lo que no representa un acuífero en la zona de estudio.

Fotografía 9 – Morrenas



2.3.2.6.3 Travertino

Antiguamente el travertino de Baños fue minado y explotado para la generación de cal, actualmente en algunas zonas solo quedan restos de esta actividad minera y su principal uso es como roca ornamental en obras de construcción a nivel local.

En el área de Baños a 2700 msnm las vertientes termales están asociadas a depósitos de travertino, que atraviesan la secuencia sedimentaria de cuenca y cubren a la Formación Turi. Es característica la morfología de depositación y su distribución a lo largo del área, formando pequeñas colinas alargadas, curvilíneas, la más conocida denominada localmente como “loma de los hervideros”, a donde confluyen en diferentes direcciones la mayoría de zonas de emisión (fisuras) de las vertientes restantes, representa una cresta de 600 m de longitud que persiste a lo largo de una fisura por donde vertían las aguas termales y depositaban el carbonato, su ancho a la base es de hasta 40 m mientras que en la cima es de apenas 2 m en promedio, aunque también existen crestas de menores dimensiones como la del balneario Piedra de Agua.

Este depósito cubre un área aproximada de 30 hectáreas y se han identificado al menos 7 zonas de emisión distribuidas en forma heterogénea en toda el área, varias de estas fisuras o conductos se interceptan con la cresta de los hervideros y algunas son aisladas y auto selladas. Las terrazas de travertino, ahora despreciables por la sobrepoblación, se extendieron principalmente a través de esta cresta pero existen vestigios de terrazas de travertino aisladas hacia el contacto con la formación Plancharumi (Loma Huizhil).

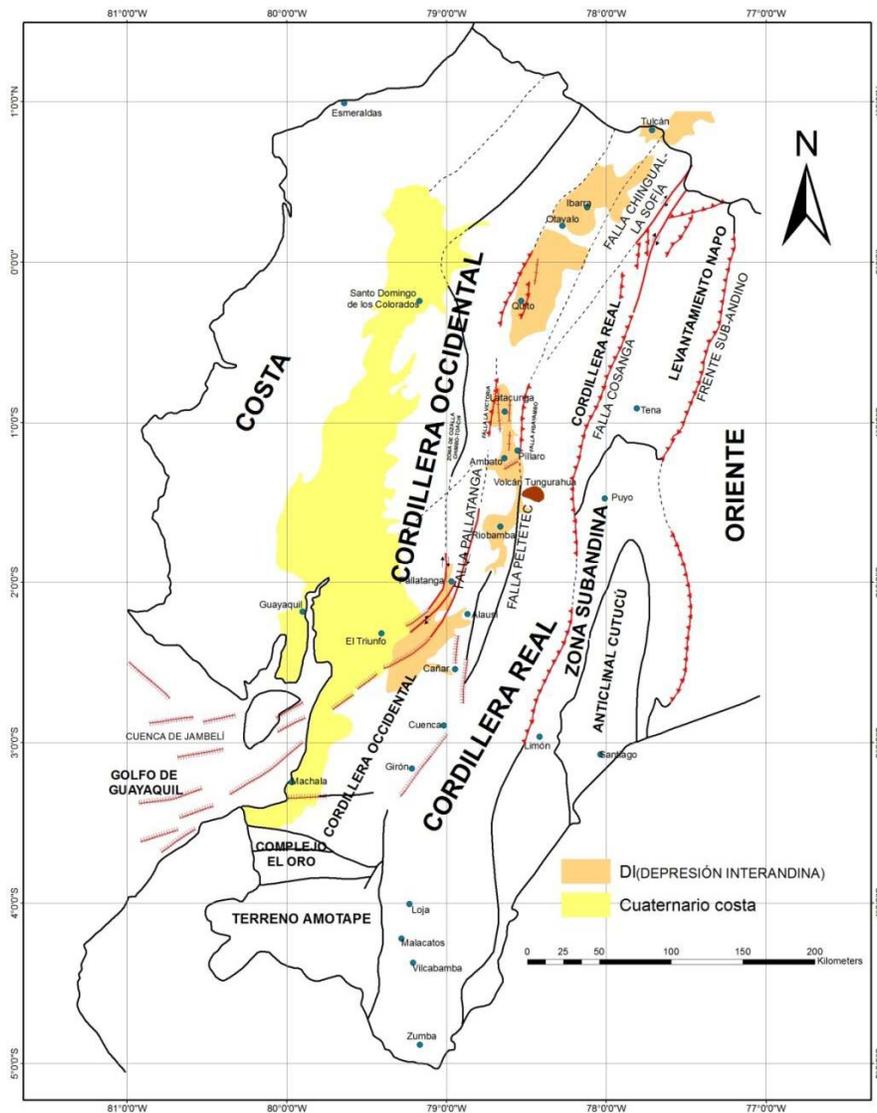
Las secciones más antiguas del travertino se encuentran litificadas y por la sobreposición de capas se puede distinguir varias colores y formas, alternando capas bandeadas, laminadas, rojas, abanas, amarillas, blancas, etc. Las capas de carbonato superficiales que corresponden a las más recientes son poco densas y pobremente litificadas, muy disgregables con estructuras principalmente bandeadas y en camas (bedded travertine).

Fotografía 10 – Travertino



2.4 Geología Estructural

Figura 9 – Mapa estructural y fisiográfico del Ecuador, enmarcado en rojo el área de estudio. Modificado de Winkler et al., 2005.



2.4.1 Fallas

El área de estudio está influenciada por dos sistemas de fallas importantes.

Sistema de fallas Girón: Corresponde a una falla activa considerada como un segmento de la megafalla Guayaquil-Dolores, se encuentra al sur del área de estudio en un tren de dirección nor-noreste que desaparece en las cercanías al área de Girón, exponiendo al oriente de esta falla, rocas más antiguas (

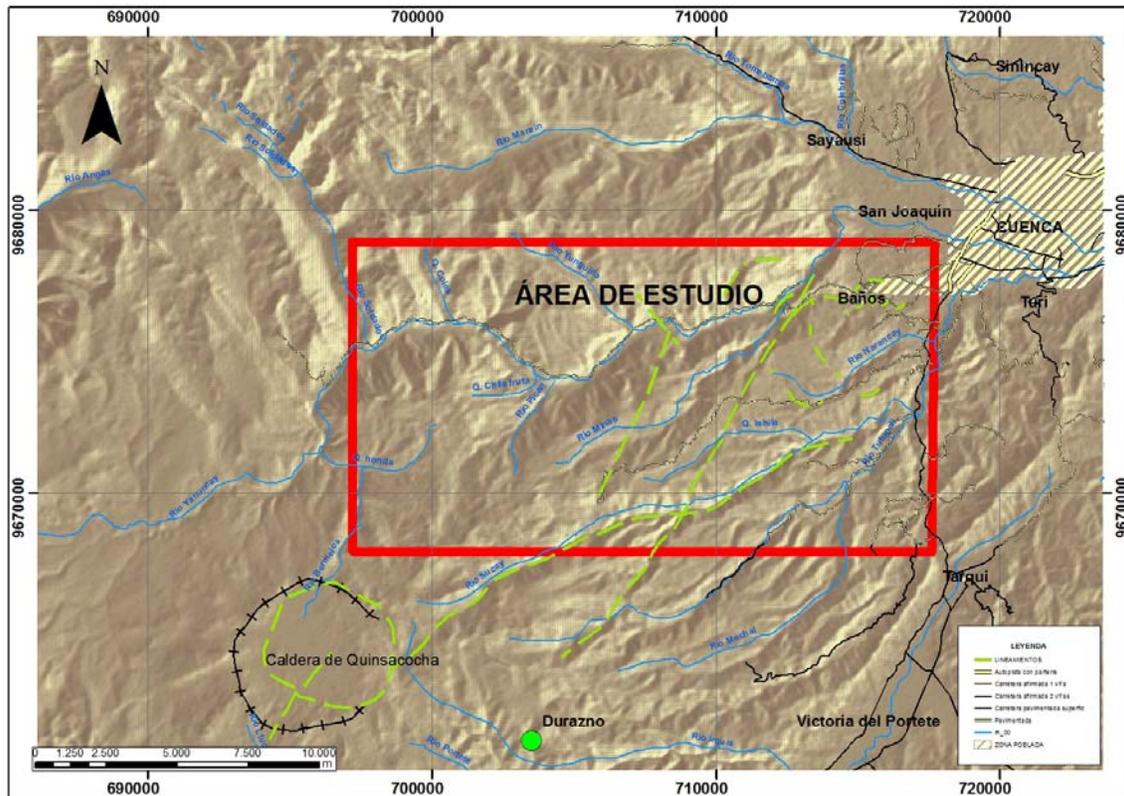
Figura 5 –). Egüez et al. (2003) indican que el sistema de fallas Girón corresponde a una falla normal en su sección noreste y normal dextral en su sección suroeste, pero Pratt et al. (1998) indica que en varios lugares el sistema tiene una pronunciada convergencia hacia el noroeste y un carácter inverso. El cabalgamiento de la Formación Uchay relacionado al sistema de fallas Girón dataría en aproximadamente 10 Ma (Pratt et al. 1998).

Cinturón Gañarín: Se encuentra al suroeste del área de estudio, en un cinturón de dirección nor-noreste que desaparece en la caldera del volcán Quimsacocha y aparentemente no se prolonga más hacia el norte (

Figura 5 –). Comprende fallas syn-deposicionales, áreas de alteración hidrotermal y controla el emplazamiento de intrusiones sub-volcánicas riolíticas y andesíticas en sus inmediaciones y bajo las calderas Jubones y Quimsacocha (Pratt et al. 1998). Dataciones en intrusivos asociados al cinturón Gañarín indican edades de 27 Ma para la riolita de Pachagmama (Kennerley 1980) y de 3.6 Ma en las intrusiones riolíticas de la caldera de Quimsacocha (Beate et al. 2001) por lo que la edad del cinturón Gañarín estaría entre este rango de edades y podría ser más joven o contemporánea a este último pulso.

La falla Tarqui se encuentra en las cercanías al poblado homónimo con una dirección nor-noreste que desaparece en las cercanías a la ciudad de Cuenca. Estudios recientes indican que corresponde a una falla activa (edad del último movimiento <1.6 Ma) separada del sistema de fallas Girón (Egüez et al. 2003) a diferencia de interpretaciones anteriores que la hacían parte del sistema.

Figura 10 – Mapa de Fallas y Lineamientos



2.4.1.1 Lineamientos

Existe un dominio estructural este-oeste y noreste-suroeste en la sección norte del área de estudio afectando principalmente a los depósitos volcanoclásticos del Grupo Saraguro (Fm. Soldados y Fm. Plancharumitan), Fm. Turi como para la Fm. Plancharumi con buzamientos fuertes hacia el NW y SE respectivamente. La Fm. Plancharumi estaría conformada por tres familias de fracturas, persistentes, superficies rugosas, aberturas centimétricas, rellenas con calcita y carbonato (fracturas E-W) más ocasionales; a diferencia de los afloramientos de la Fm. Turi que indican fracturamiento poco persistente, superficies rugosas, aberturas centimétricas sin relleno.

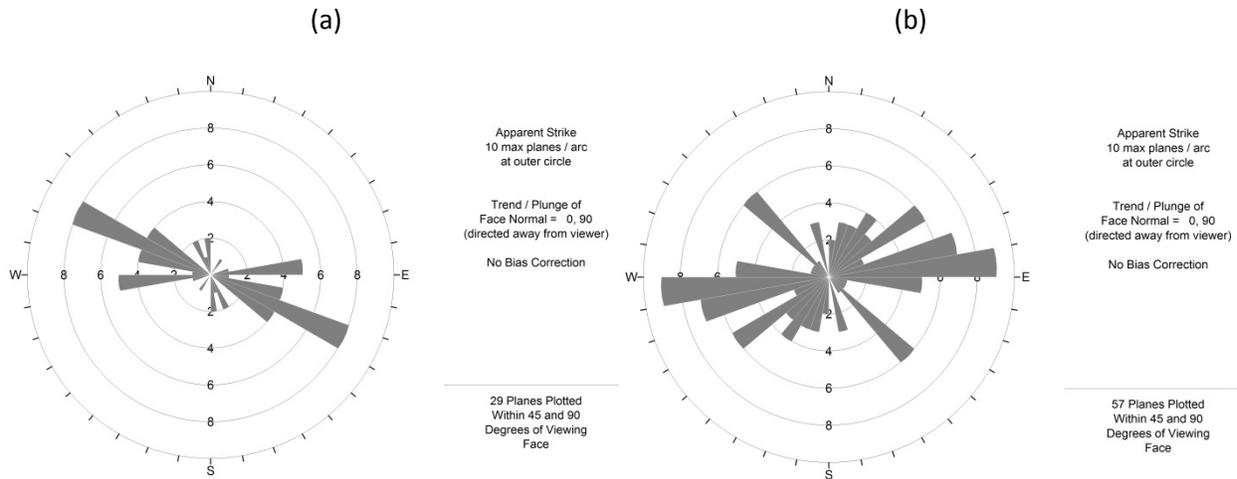
2.4.2 Curvilíneos y Caldera Quimsacocha

Cada fisura representarían fallas profundas que ponen en contacto rocas de la formación Yunguilla con los sedimentos de la cuenca de Cuenca

2.4.1.2 Fracturas

2.4.3 Análisis Estructural

Figura 11 – Diagramas estructurales para la Fm. Turi (a) y para la Fm. Plancharumi (b).



2.5 Manifestaciones Termales y Alteración Hidrotermal

2.5.1 Manifestaciones Termales

2.5.2 Alteración Hidrotermal

Si bien es cierto la mineralización en pórfidos se encuentra hacia la caldera del extinto volcán Quimsacocha, en el área de investigación las zonas con alteración hidrotermal están restringidas a tres sitios:

Sector sur-oeste: Ubicado en la hacienda de Yanasacha (705752 E; 9669673 N), se compone predominantemente de pirofilita (con hematita). Caolinita menor y una mezcla de hematita-goethita también están presentes pero sólo se presentaron en uno de los cuatro análisis que se elaboraron.

Sector centro: Ubicado en el sector de Shiñán antigua mina de Caolín (707510 E; 9673228 N) conformado por una alteración dominante tipo caolinita (alta variedad cristalina), trazas de sílice (variedad amorfa o opalina) también están presentes.

Sector nor-este: Ubicado al occidente del poblado de Baños en la loma de Huishil (713779 E; 9677480 N) conformado por una alteración argílica sobrepuesta a sericítica en una roca de caja tipo toba lítica que contiene una beta de cuarzo, piritita diseminada, jarosita y pátinas de óxidos.



2.6 Resumen

CAPÍTULO 3: GEOQUÍMICA DE FLUIDOS HIDROTERMALES

3.1 Introducción

3.2 Trabajos anteriores

1970

El grupo de investigación liderado por De Grys publica el artículo científico “A Note on the Hot Springs of Ecuador”, en donde se muestra por primera ocasión la química de una vertiente termal del prospecto baños de Cuenca.

Además se describe brevemente el sitio de estudio:

- Ubicación: 9 km SO de Cuenca.
- Geología: Volcanismo Miocénico.
- Estructura: A lo largo de la falla N-S, sobre el filo de graben.
- Volcanología: Volcanismo no activo.
- Mineralización: Au-Ag en vetas de cuarzo.

1979

El "Estudio de Reconocimiento Geotérmico Nacional de la República del Ecuador" desarrollado por el ex INECEL y OLADE con el asesoramiento de Aquater de Italia, BRGM de Francia y el Instituto de Investigaciones Eléctricas de México identifica a nivel nacional dos grupos con diferente grado de interés geotérmico.

Grupo A, incluye las áreas en las que se identificaron todas las condiciones geovulcanológicas e hidrogeoquímicas favorables para la presencia de sistemas geotérmicos económicamente explotables: Tufiño, Imbabura – Cayambe y Chalupas.

Grupo B, incluye a aquellas áreas en las cuales los indicios geotérmicos no son tan completos: Ilaló, Chimborazo y Cuenca, considerando interesante el último prospecto por no estar afectado por volcanismo reciente, además por presentar manifestaciones termales que alcanzan los 75°C.

1988

El desaparecido Instituto Nacional de Energía “INE” presenta el informe “Estado actual y perspectivas de la Geotermia de media y baja entalpía en el Ecuador”, el cual resume las investigaciones realizadas desde inicios de los 80.

El informe hace mención a:

- La zona de Baños de Cuenca dispone de 6 vertientes termales, en un área no mayor a un kilómetro cuadrado.
- Las temperaturas en superficie se encuentran entre 35° y 74°C.
- Los fluidos son de tipo Clorurado sódico con una elevadísima salinidad, asociados a travertino.
- La composición química es adquirida por percolación al medio de una red de fracturas en zócalo de la Cordillera Occidental (Piñón de la Sierra).
- Las temperaturas estimadas en profundidad se encuentran entre 92° y 130°C.

1990

El Organismo Internacional de Energía Atómica “OIEA” desarrollo desde 1984 el programa para América Latina sobre el empleo de técnicas isotópicas y geoquímicas en la exploración de recursos geotermales. Por Ecuador participaron INECEL y el Instituto Internazionale per le Ricerche Geotermiche (Italia), los cuales llevaron a cabo la investigación en las áreas de Chachimbiro, Papallacta, Tungurahua, Chimborazo y Cuenca, todos en la Cordillera Central.

Para la zona de Cuenca, el “Modelo Geotérmico preliminar de áreas volcánicas del Ecuador, a partir de estudios químicos e isotópicos de manifestaciones termales” refiere:

La zona termal se encuentra en una cuenca sedimentaria cretácica y los materiales volcánicos más próximos son de edad terciaria.

Las manifestaciones son de dos clases: Aguas cloruradas con temperaturas mayores que 48°C, concentradas en un área de aproximadamente un kilómetro cuadrado y que son aprovechadas como balnearios, y ; aguas bicarbonatadas frías (17 a 22°C), diseminadas en una zona relativamente amplia, varios kilómetros alrededor de los balnearios.

Las aguas termales tienen una zona de alimentación situada aproximadamente a 3200m, esto es, 500m sobre la altura de los balnearios.

En el área de Baños se muestrearon 11 vertientes, cuya temperatura de emergencia varía entre 48 y 73,3°C.

La composición isotópica de los manantiales es muy homogénea, se sitúan sobre o muy próximos a la línea de las precipitaciones; al mismo tiempo, el contenido de ion cloruro se mantiene constante.

Todo esto permite suponer que el agua profunda alcanza condiciones de equilibrio químico con las rocas de un reservorio somero, en el tope de la potente cuenca sedimentaria.

El par iónico K/Mg en Geotermometría es incapaz de reflejar condiciones termales profundas (40 a 60°C).

La relación Na/K parece más útil para evaluar las temperaturas profundas (está restringida a pocas muestras), para Cuenca se estimó temperaturas de 200°C.

2010

Se presenta un resumen de las áreas de interés geotérmico en el informe “Plan para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos en el Ecuador” por parte del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable en donde se menciona como trabajo futuro en Cuenca, la realización de una campaña de análisis geoquímicos de aguas, gases y depósitos hidrotermales.

3.3 Estudio Actual

El proyecto “Plan para líneas de investigación para el desarrollo de la geotermia en Ecuador”, ha seleccionado la Parroquia Baños de Cuenca como protagonista del primer estudio de exploración geotermal a realizar por Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energía Renovable INER.

La presente investigación pretende complementar los estudios geoquímicos en las matrices de agua y gas para definir el origen de los fluidos y las condiciones en profundidad que permitan explicar de mejor manera el funcionamiento del sistema. Para ello, se tomó como punto de partida la información suministrada por el “Plan para el aprovechamiento de los recursos geotérmicos en el Ecuador” publicado en 2010, el cual ubica al proyecto en una etapa de prefactibilidad inicial.

Al iniciar con la evaluación de la información existente, se encontró que los estudios geológicos y geoquímicos realizados años atrás estaban incompletos, varios de ellos extraviados en bibliotecas e institutos públicos tanto nacionales como extranjeros. Por tal razón, las actividades futuras se planificaron en función de los datos disponibles en aquella fecha:

- El prospecto está ubicado a 7 km al Suroeste de la ciudad de Cuenca (parque industrial).
- Presenta 75°C como temperatura de superficie, la más alta registrada en territorio ecuatoriano.
- Otros habían estimado una temperatura de 200°C en el reservorio.
- El agua que emerge es de tipo alcalino – clorurada / bicarbonatada.
- Los fluidos termales están asociados a travertino.
- La fuente de calor estaba creado ser relacionada al complejo volcánico-plutónico Quimsacocha (25 km al Suroeste de Cuenca).
- No se evidencia volcanismo reciente.

A continuación, se decide realizar las primeras salidas de campo para reconocer la existencia de las vertientes registradas y la veracidad de los datos registrados en campo. Seguidamente, se definió la necesidad de recolectar nuevas muestras de agua que permitan valorar la estabilidad y auto sellado del sistema ya que el último reporte químico fue emitido en 1990 y no estaba disponible en aquel momento. Otro factor influyente en la planificación estuvo relacionado con la incertidumbre generada por la georeferenciación de los sitios de muestreo, las cuales no brindan una adecuada descripción del área.

3.3.1 Métodos del campo

Al finalizar las primeras salidas de campo, se pudo contar con una base de datos actualizada, que muestra la ubicación, usos y ensayos físicos – químicos realizados en campo para las vertientes termales y no termales existentes en el sector. Con un horizonte más claro, se decide contratar al laboratorio Termochem, ubicado en Estados Unidos, para realizar los análisis químicos de las vertientes más interesantes, además se resuelve trabajar con el laboratorio LANCAS del Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología “INAMHI”, con el fin duplicar los ensayos de las muestras enviadas al laboratorio extranjero, para posteriormente evaluar la competencia técnica del ente nacional. Adicionalmente, al laboratorio ecuatoriano se enviaron muestras de otras vertientes relacionadas con el sistema. Para la aceptación de los resultados nacionales, se procedió con la evaluación de los duplicados y un control de calidad usando los porcentajes del balance iónico. A continuación se describen los ensayos realizados y las metodologías usadas con cada laboratorio:

Tabla 1 – Ensayos

Laboratorio	Ensayos en agua	Ensayos en gas	Número de muestras
Termochem	<p><i>Físico-químicos:</i> Temperatura, pH, conductividad eléctrica, Na, K, Ca, Mg, Li, Rb, Cs, As, B, SiO₂, Cl, F, SO₄, HCO₃, NH₃, pH, TDS (calc). <i>Isotópicos:</i> Deuterio y Oxígeno 18.</p>	<p><i>Totales no condensables:</i> Ar, O₂, N₂, CH₄, H₂, CO₂, NH₃, H₂S, Total NCG. <i>Monóxido de Carbono (CO)</i></p>	<p>7 agua 2 gas</p>
LANCAS (INAMHI)	<p><i>Físico-químicos:</i> Temperatura, pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, sólidos totales disueltos, sólidos totales suspendidos, dureza total, dureza cálcica, CO₃, HCO₃, Ca, Mg, Cl, SO₄, NH₃, F, SiO₂, Fe, K, Na, Mn, As, B.</p>	<p>Ninguno</p>	<p>15 agua (7 duplicados)</p>

Tabla 2 – Metodologías usadas en la preparación de envases

Código de la muestra	Recipiente de la muestra	Parámetros de medición	Preparación antes del muestreo
Termochem			
Sílice	2 x 250ml Polietileno de alta densidad "HDPE" (botella con tapa rosca)	SiO ₂	Pese el envase, añada ~220ml 0.02M HNO ₃ preparado con agua desionizada, vuelva a pesar y registre los valores para calcular el factor de dilución.
Cationes	1 x 250ml Polietileno de alta densidad "HDPE" (botella con tapa rosca)	Na, K, Ca, Mg, Sr, Li, SiO ₂ , Fe, Mn, otros metales pesados.	Adicione 0.4ml 35% HNO ₃ si el transporte al laboratorio es aéreo (para evitar enviar mercancía bastante peligrosa). Añada 5ml 35% HNO ₃ si el transporte al laboratorio es terrestre.
Aniones	2 x 500ml Polietileno de alta densidad "HDPE" (botella con tapa rosca)	Cl, F, B, SO ₄ , TDS, TSS, pH, Alcalinidad, As, Se	Ninguno
Isótopos estables	1 x 125ml Polietileno de alta densidad "HDPE" (botella con tapa rosca)	Isótopos estables en agua (D, 18O)	Añada un alambre de cobre sin recubrimiento (~6cm de largo, 2mm de diámetro)
LANCAS (INAMHI)			
Código de la muestra	Recipiente de la muestra	Parámetros de medición	Preparación antes del muestreo
Sílice	2 x 250ml Polietileno de alta densidad "HDPE" (botella con tapa rosca)	SiO ₂	En espera de respuesta INAMHI
Cationes	1 x 250ml Polietileno de alta densidad "HDPE" (botella con tapa rosca)	Na, K, Ca, Mg, Sr, Li, SiO ₂ , Fe, Mn, otros metales pesados.	En espera de respuesta INAMHI

Código de la muestra	Recipiente de la muestra	Parámetros de medición	Preparación antes del muestreo
Aniones	2 x 500ml Polietileno de alta densidad "HDPE" (botella con tapa rosca)	Cl, F, B, SO ₄ , TDS, TSS, pH, Alcalinidad, As, Se	Ninguno

Tabla 3 – Metodología usada para recolectar muestras de agua

Actividad	Equipos	Procedimiento
Análisis in situ	Multiparámetro para pH y CE Termómetro digital de largo alcance con punta metálica Bomba peristáltica Cronómetro Recipientes aforados Libreta geológica de campo	Hacer un reconocimiento del sitio. Identificar el punto más caliente, usando el termómetro digital. Tomar una muestra de agua del punto más caliente con ayuda de la bomba peristáltica y los recipientes aforados. Medir el pH y la CE (previamente deberán calibrarse los equipos). Medir el caudal con ayuda del cronómetro y los recipientes aforados (cuando sea posible). Anotar en la libreta los valores medidos y las observaciones.
Recolección de muestras para Sílice	Bomba peristáltica Envases HDPE Cinta adhesiva Libreta geológica de campo	Tomar la muestra de agua del punto más caliente con ayuda de la bomba peristáltica, dejando un espacio con aire entre la superficie del líquido y la tapa del envase. Cerrar y asegurar la tapa con cinta de color. Llenar la información necesaria en la etiqueta y libreta de campo.
Recolección de muestras para Cationes	Bomba peristáltica Filtro de membrana de 0,42 um Envases HDPE con preservante Cinta adhesiva Libreta geológica de campo	Acoplar el filtro de 0,42 um en la bomba peristáltica. Tomar la muestra de agua del punto más caliente, dejando un espacio con aire entre la superficie del líquido y la tapa del envase. Cerrar y asegurar la tapa con cinta de color. Llenar la información necesaria en la etiqueta y libreta de campo.
Recolección de muestras	Bomba peristáltica	Tomar la muestra de agua del punto

Actividad	Equipos	Procedimiento
para Aniones	Envases HDPE Cinta adhesiva Libreta geológica de campo	más caliente con ayuda de la bomba peristáltica, dejando un espacio con aire entre la superficie del líquido y la tapa del envase. Cerrar y asegurar la tapa con cinta de color. Llenar la información necesaria en la etiqueta y libreta de campo.
Recolección de muestras para Isótopos	Bomba peristáltica Envases HDPE con alambre de cobre Cinta adhesiva Libreta geológica de campo	Tomar la muestra de agua del punto más caliente con ayuda de la bomba peristáltica, sin dejar el espacio con aire entre la superficie del líquido y la tapa del envase. Cerrar y asegurar la tapa con cinta de color. Llenar la información necesaria en la etiqueta y libreta de campo.
Recolección de muestras para Totales no condensables	Tubos de Giggenbach con preservante Embudo HDPE Jeringa con llave dispensadora (varios servicios) Cinta adhesiva Libreta geológica de campo	Colocar el embudo sobre el sitio por donde emergen el gas y asegurarlo. Adaptar la jeringa. Evacuar el aire durante unos 10 minutos. Comprobar el paso de gas en la manguera que conecta al tubo de Giggenbach. Introducir la manguera en el tubo de Giggenbach. Abrir sutilmente la llave de teflón para permitir el ingreso de gas. Agitar el tubo, se producirá una reacción exotérmica. Llenar con gas hasta que la presión interna del tubo se iguale a la externa. Cerrar la llave de teflón y asegurar la tapa con cinta de color. Llenar la información necesaria en la etiqueta y libreta de campo.
Recolección de muestras para Monóxido de Carbono (CO)	Tubos de Giggenbach Embudo HDPE Jeringa con llave dispensadora (varios servicios) Cinta adhesiva Libreta geológica de campo	Colocar el embudo sobre el sitio por donde emergen el gas y asegurarlo. Adaptar la jeringa. Evacuar el aire durante unos 10 minutos. Comprobar el paso de gas en la

Actividad	Equipos	Procedimiento
		manguera que conecta al tubo de Giggencach. Introducir la manguera en el tubo de Giggencach. Abrir sutilmente la llave de teflón para permitir el ingreso de gas. Llenar con gas hasta que la presión interna del tubo se iguale a la externa. Cerrar la llave de teflón y asegurar la tapa con cinta de color. Llenar la información necesaria en la etiqueta y libreta de campo.

Los resultados obtenidos en ambos laboratorio se usaron en las interpretaciones geotermométricas, descritas con mayor detalle en los siguientes párrafos.

3.4 Interpretación

3.4.1 Geotermómetros de Agua

Una de las incógnitas más importantes a responder en cualquier estudio geotérmico es la temperatura que poseen los fluidos del sistema en profundidad, su indagación se realiza mediante el uso de geotermómetros, los cuales son herramientas de investigación desarrolladas a partir de las variaciones mineralógicas y químicas presentadas en los pozos geotérmicos.

El estudio en curso obtuvo una variedad de resultados como se observa en la Tabla 3.4.1, para su interpretación se usaron los siguientes geotermómetros:

Na-K-Mg: propuesto por Giggencach en 1988, reduce los problemas ligados a la disolución y equilibrio, además evita el estudio separado de los pares iónicos Na/K y K²/Mg.

Para el sistema Baños de Cuenca, la terna catiónica no resulta ser la más adecuada para evaluar las temperaturas en profundidad, a excepción de la muestra recolectada en la vertiente termal Pumamaqui (PGT). Ósea, las reacciones cinéticas producidas no han tenido el tiempo suficiente para que las aguas lleguen a un estado de equilibrio con las rocas circundantes, cabe mencionar además, que estas velocidades de reacción no son rápidas. Por tal razón, la mayoría de muestras deben analizarse con geotermómetros de cuarzo, calcedonia o equilibrio multimineral.

SiO₂ vs Log (K²/Mg): Los geotermómetros de sílice son útiles para indicar la última temperatura de equilibrio. La Tabla 3.4.1 muestra temperaturas de hasta 135°C en la vertiente Tarqui (TQT), no obstante la presencia de vidrio volcánico en el área puede elevar algunos valores de temperatura, la disolución de sílice amorfa presente en los depósitos de ignimbritas estaría relacionada con este proceso.

Temperaturas más reales se obtienen al integrar el contexto geológico del sistema, refiérase a la Figura 3.4.1b, donde se puede observar un equilibrio con la curva de solubilidad de cuarzo, los valores máximos oscilan alrededor de 100°C.

3.4.2 Geotermómetros de Gas

De la misma manera que en las aguas, la química de gases permiten estimar temperaturas en profundidad para los sistemas geotérmicos. Con fines de capacitar al personal técnico de INER, se recolectaron dos muestras de gas en los sitios más óptimos, esto quiere decir en lugares con un burbujeo continuo no disperso. La información suministrada por las muestras gaseosas pretendía reconocer nuevos datos no adquiridos en estudios anteriores, para fortalecer o desmentir las primeras hipótesis generadas. Desafortunadamente las concentraciones halladas en las muestras se encuentran bajo el límite de detección y no permiten vislumbrar temperaturas diferentes a las conocidas, véase Tabla 3.4.2, esto tampoco revela un mal procedimiento de muestreo, simplemente avizora una baja concentración en la mayoría de los gases excepto CO₂ y H₂, la baja cantidad de aire introducido en los envases lo confirma.

Por lo tanto, se considera el límite de detección del geotermómetro H₂/Ar como la temperatura máxima del sistema, con valores entre 140 y 180°C.

3.4.3 Geotermometría Combinada

Resultado de integrar las observaciones concebidas previamente de forma individual para agua y gas, donde las temperaturas se ubican en un rango que va desde 100 hasta los 130-145°C, como potencial máximo del reservorio. Sin embargo, las temperaturas más fiables parecen ubicarse alrededor del valor menos alto (100°C) por las razones expuestas en los apartados anteriores:

SiO₂ vs Log (K²/Mg), indica equilibrios con cuarzo en 100°C para la mayoría de muestras, los valores más altos, resultan de la influencia ejercida por la sílice amorfa en el sistema.

Las especies de gas se presenta en bajas concentraciones (inferiores al límite de detección), con lo cual, solo puede asumirse temperaturas teóricas máximas, sin descartar la posibilidad de ser aún inferiores.

3.4.4 Origen del agua

La historia del agua que emerge en Baños de Cuenca viene dada por los isótopos estables D, ¹⁸O y ¹³C, que funcionan como trazadores, además, junto al isótopo radioactivo T se puede establecer la génesis y el tiempo de residencia en subsuperficie.

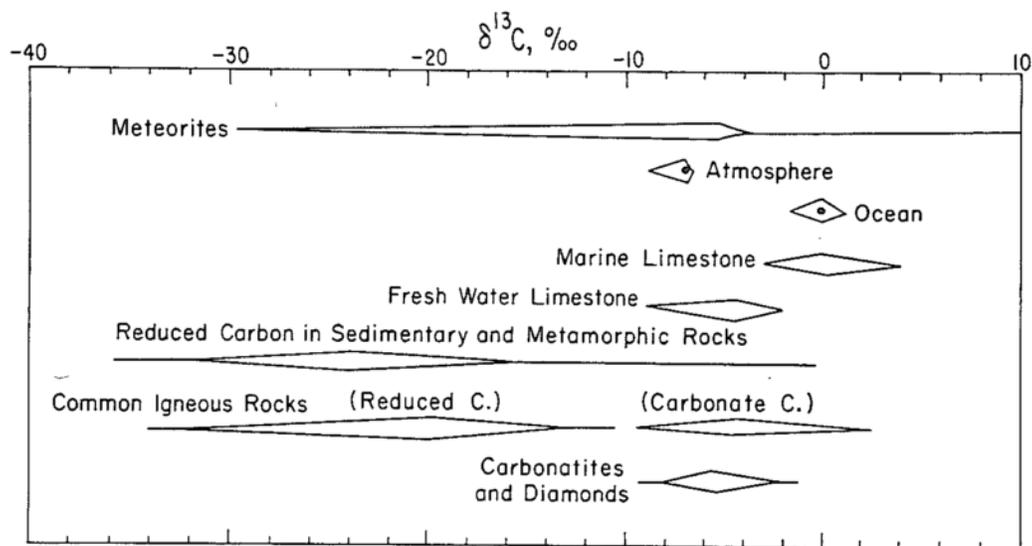
D y ¹⁸O: la Figura 3.6a muestra una pequeña posibilidad de mezcla entre agua magmática y meteórica, sin embargo, es casi nula la hipótesis, debido a que la mayoría de puntos interpolados se distribuyen sobre la línea meteórica de tendencia mundial, indicando un origen meteórico. Las vertientes más alejadas, tanto del travertino como de la línea de tendencia corresponden a Sustag y Manzano (MST y MZT), estas registran temperaturas inferiores a 20°C y su mezcla con aguas de escorrentía es evidente. Los pequeños pulsos de actividad magmática supuestos, pueden no ser detectables isotópicamente, debido a la dilución que se

produciría al mezclarse con fluidos más superficiales. Este análisis también ayuda a establecer la zona de recarga a través de la elevación, refiérase a la Figura ¿??, donde podrá observar alturas cercanas a 3200 msnm.

¹³C: Analisis reportado en el estudio liderado por Inguaggiato en 2010, para la vertiente Riñon. El agua vierte por un costado de la cresta principal de travertino, la cual posee la temperatura más alta en Ecuador.

Los isotopos en un rango comprendido entre -1,75 y -10,5 ‰, sugieren origen profundo para estos fluidos (Inguaggiato et al, 2010), sin embargo no se realizaron análisis de isotopos de He, no permitiendo confirmar el origen.

Figura 12 – Variación Isotópica de Carbono en la Naturaleza



La Figura 13 muestra todas las vertientes de BdC en equilibrio con calizas.

La información ¹³C de Inguaggiato et. Al se encuentra dentro del espectro magmático, el cual puede indicar un origen magmático, en lugar de congénito, para el carbón de estas aguas. Sin embargo, no está claro si es que éste es el resultado de la entrada de un sistema magmático activo actualmente, o el resultado de agua que circula a través de rocas antiguas hidrotermalmente alteradas debido a un sistema magmático previamente activo, por ejemplo agua que circula a través de un depósito mineral con varias zonas de alteración puede crear este tipo de química. Esta agua magmática se diluye por entrada meteórica al sistema.

La química de las aguas de Baños de Cuenca, particularmente su variabilidad, es similar a las aguas estudiadas alrededor de las cúpulas de yeso en Chile, que derivan su cloruro de una fuente sedimentaria.

Se requerirá de un muestreo adicional de He e isótopos ³⁴S para resolver esto en el futuro.

Los resultados de tritio de Sandoval y Bellucci (1990) indican niveles que varían entre 0.0 y 0.4, pero sobretodo por debajo de 0.2 unidades de tritio. Estos son valores muy bajos e indican que estas son aguas antiguas,

anterior a las pruebas atmosféricas de las bombas atómicas en los años 50s, y han experimentado poca o ninguna mezcla con un componente meteórico joven.

Existen algunos indicadores que sugieren fuentes potenciales para las aguas en este sistema. Los isótopos estables de agua (^{18}O y D) indican que el agua es ante todo meteórica con poca o ninguna mezcla con aguas de fuente magmática (Figura 3.6a)

La Figura 13 indica que todos los manantiales de Baños de Cuenca están en equilibrio con las calizas.

3.4.4.1 Zona de Recarga

Calidad del Agua – Las aguas de Baños de Cuenca son aguas ricas en Clorato, Sulfato, Sodio, saturadas en Calcio de tal manera que al llegar a superficie se precipitan grandes cantidades de travertino. Esto tiene el potencial para causar problemas de incrustación durante la producción. Sin embargo, la mitigación en estos casos tiende a ser simple y relativamente económica (inyección de ácido al fondo de pozo para mantener un pH por debajo de la precipitación de CaCO_3 en el pozo), por lo tanto es poco probable que sea una barrera significativa para el desarrollo.

3.5 Resumen

CAPÍTULO 4: CONSIDERACIONES GEOTERMICOS DE BAÑOS DE CUENCA

4.1 Introducción

4.2 Consideraciones Geotérmicas

4.2.1 Modelo 1

El Modelo 1 es que las antiguas aguas meteóricas (mayores de ~60 años) circulan a lo largo de las fallas normales profundas a una profundidad de aproximadamente 2 km, donde residen en un reservorio en unidad Ky. En el reservorio ocurren algunas mezclas muy limitadas con aguas que pueden tener un componente magmático. Las aguas geotermales luego circulan a la superficie a lo largo de las fallas normales y encuentran expresión en la superficie de las aguas termales de Baños de Cuenca.

El Modelo 1 se sustenta en la siguiente evidencia:

- La unidad Ky puede ser el reservorio, a aproximadamente 2 Km de profundidad.
- Los fluidos geotérmicos están en equilibrio con la caliza y existen abundantes depósitos de travertino en la superficie y Ky contiene abundantes carbonatos que podrían ser la fuente de Ca en el sistema.
- Dada la gradiente geotérmica local, Ky se encuentra a una profundidad que coincide más o menos con la geotermometría que indica una temperatura probable del reservorio de ~100°C.
- La circulación ocurre a lo largo de las fallas normales profundas y encuentra la expresión en la superficie de los manantiales de Baños de Cuenca.
- La mayoría de manantiales y depósitos de travertino se correlacionan con las fallas inversas y normales en el área de estudio.
- La fuente de agua es antigua agua meteórica (>60 años) la cual ha circulado a profundidad y ha experimentado una mezcla muy limitada con aguas con influencia magmática.
- Los isótopos ¹³C publicados en el artículo de Inguaggiato se encuentran dentro del espectro magmático.
- Los isótopos estables de agua indican una mezcla muy limitada de aguas de fuente meteórica con lo que parece ser aguas de influencia magmática.
- Los isótopos de Tritio publicados en Sandoval y Bellucci (1990) indican aguas antiguas (>60 años)
- La química variable y la falta de equilibrio con las rocas del depósito indican que las aguas geotermales posiblemente han seguido una variedad de caminos a través de una variedad de rocas caja hidrotermalmente alteradas.

El Modelo 1 se contradice por la siguiente evidencia:

- El Modelo 1 no se contradice por ninguna de la evidencia disponible, sin embargo, no es la única interpretación posible de la evidencia disponible.

4.2.2 Modelo 2

El Modelo 2 es que las antiguas aguas meteóricas (mayores a ~60 años) circulan a lo largo de fallas normales de poca profundidad a una profundidad de entre 300 y 600 m, en donde residen en un reservorio en unidades Mb y/o Maz. En el reservorio ocurren algunas mezclas muy limitadas con aguas que pueden tener componente magmático. Las aguas geotermales luego circulan a la superficie a lo largo de las fallas normales y encuentran expresión en la superficie de las aguas termales de Baños de Cuenca.

El Modelo 2 se sustenta en la siguiente evidencia:

- Las unidades Mb o Maz podrían ser unidades de reservorio
 - Los fluidos geotérmicos están en equilibrio con caliza y existen abundantes depósitos de travertino en la superficie. Mb contiene abundantes carbonatos que podrían ser la fuente de Ca en el sistema.
 - Maz es una unidad de arenisca con buenas características del reservorio potencial.
- La circulación ocurre a lo largo de las fallas normales y encuentra expresión en la superficie en los manantiales de Baños de Cuenca.
 - Muchas manantiales y depósitos de travertino se correlacionan con las fallas inversas y normales en el área de estudio.
- La fuente de agua es antigua agua meteórica (>60 años) la cual ha circulado a la profundidad del reservorio y ha experimentado una mezcla muy limitada con aguas con influencia magmática.

El Modelo 2 se contradice por la siguiente evidencia:

- Tanto el Mb como el Maz están muy poco profundos como para ser calentados suficientemente por el gradiente geotérmico regional. Si estas unidades son reservorios geotérmicos, algo tiene que estar en gran medida aumentando el gradiente geotérmico local:
 - La fuente cercana de calor que aumenta localmente el gradiente conductivo, por ejemplo volcán Quimsacocha al sur oeste.
 - Sin embargo, este volcán es de una edad en donde puede ser que ya se haya enfriado, pero puede ser que no (está al borde).
 - La convección de un reservorio fuente más caliente y más profundo (podría ser convección de un reservorio en Ky)
- Los reservorios someros son menos propensos a experimentar poca o ninguna mezcla con las aguas meteóricas más jóvenes durante largos períodos de tiempo, especialmente considerando la actividad agrícola en la zona.
- Es menos probable que los fluidos geotérmicos someros tengan tiempo de residencia mayor a 60 años.

4.2.3 Modelo 3

El Modelo 3 es que las antiguas aguas meteóricas (mayores de ~60 años) circulan a lo largo de las fallas normales profundas a una profundidad de aproximadamente 2 km, donde residen en un reservorio en unidad Ky el tiempo suficiente para calentar hasta ~100°C y luego circular a lo largo de fallas normales a los reservorios someros en unidades Mb y Maz. Desde allí los fluidos geotérmicos encuentran expresión de superficie en las fuentes termales que cubren las fallas normales. En las unidades del reservorio existen algunas mezclas muy limitadas con las aguas que pueden tener un componente magmático.

El Modelo 3 se sustenta por la siguiente evidencia:

- Las unidades Mb, y/o Maz y Ky podrían ser unidades del reservorio
 - Los fluidos geotérmicos están en equilibrio con la caliza y existen abundantes depósitos de travertino en la superficie y el Ky y Mb contienen abundantes carbonatos que podrían ser la fuente de Ca en el sistema.
 - Maz es una unidad de arenisca con buenas características de un reservorio potencial (Existen suficientes carbonatos o cementación de carbonato para explicar la abundancia de carbonato en el sistema?)
- La circulación se produce a lo largo de las fallas normales profundas, alimentando de Ky a Mb y Maz, y luego encuentra expresión de superficie en los manantiales de Baños de Cuenca.
 - Muchas manantiales y depósitos de travertino se correlacionan con las fallas inversas y normales en el área de estudio.
 - La unidad Ky es suficiente para explicar el contenido de Ca
- La fuente de agua es antigua agua meteórica (>60 años) la cual ha circulado a profundidad y ha experimentado una mezcla muy limitada con aguas con influencia magmática
 - La presencia de reservorios múltiples podría aumentar el tiempo de residencia de los fluidos en el sistema pero, al mismo tiempo, explica la falta de equilibrio con la roca circundante, ya que los fluidos se mueven de un reservorio a otro con diferente composición de la roca con el tiempo

El Modelo 3 se contradice por la siguiente evidencia:

- Los reservorios someros son menos propensos a experimentar poca o ninguna mezcla con las aguas meteóricas más jóvenes durante largos períodos de tiempo, especialmente considerando la actividad agrícola en la zona. También es menos probable que los fluidos geotérmicos a poca profundidad tengan tiempo de residencia mayor a 60 años.

4.3 Resumen

El Modelo 1 parece ser el mejor sustentado por la información disponible, seguido por el Modelo 3 y finalmente el Modelo 2 parece ser el menos sustentado.

- Los Modelos 1 y 3 es probable que permitan tiempos de residencia más largos, ya que tienen componentes que se encuentran en profundidades significativamente mayores.
- Los Modelos 1 y 3 no requieren calor adicional aparte del gradiente geotérmico local .
- El Modelo 2 requiere que haya una fuente de calor anómala que haya aumentado el gradiente geotérmico local.
- El Modelo 3 es el que mejor explica la química variable de los fluidos geotérmicos ya que indica los fluidos geotérmicos que interactúan con la variedad más grande de rocas del reservorio..
- No se ha encontrado evidencia que soporte la presencia de un acuífero geotérmico somero, simplemente hay dos unidades someros que presentan características favorables del reservorio, no sabemos si están llenas de agua caliente. Esta es una marca en contra de los modelos 2 y 3.

CAPÍTULO 5: LOGISTICA REPORTE AMBIENTAL Y SOCIAL

5.1 Logística y accesos

El prospecto geotermal de Baños de Cuenca yace en la ciudad de Cuenca en el sector noroeste del área de estudio. Esta área es montañosa con drenajes corriendo en dirección este hacia el noreste para unirse y conformar uno de los mayores drenajes de Cuenca, el Río Narancay. El acceso vial hacia la propiedad se describe a continuación:

- En la zona norte, una carretera cruza en dirección este – oeste a lo largo del Río Yunancay y provee acceso limitado hacia la mitad norte del área del proyecto.
- En el área central, una carretera al filo de la montaña en dirección ENE – OSO entre los Ríos Minsas e Ishila y termina en el área sur central del proyecto, proveyendo acceso limitado.
- En la sección sur este del proyecto, varias carreteras conectan Cuenca y Tarqui (justo al Sur Este del proyecto) y proveen buen acceso al sector Sur Este del área del proyecto.
- El área Sur Oeste del proyecto no tiene ningún acceso razonable.

Cuenca es una ciudad con importancia regional, con una población importante que yace en el sector noreste y hacia el este. Es uno de los sectores mineros más importantes de Ecuador y cuenta con una gran cantidad de facilidades mineras incluyendo compañías de perforación, geólogos mineros, servicios legales, servicios de construcción, centros de servicios mineros (especializados en equipos para minería a pequeña escala), servicios limitados de geofísica, etc. Sin embargo para exploración y desarrollo geotermal los servicios son muy limitados. No existen servicios para perforación de pozos de gran capacidad. Los servicios gubernamentales, no están familiarizados con la exploración geotermal.

Ecuador cuenta con gran experiencia en la industria petrolera basada en el sector norte y este de Ecuador, con centros de servicios en Quito, Lago Agrio y el Coca, sin embargo ninguno de los proveedores de servicios de perforación están adaptados para perforación geotermal.

5.2 Consideraciones ambientales y sociales

En esta sección se ofrece una breve reseña del proceso de permisos ambientales, incluida la legislación ambiental clave aplicable en Ecuador y una descripción de las autoridades ambientales, una breve discusión sobre áreas protegidas y una descripción general de los impactos ambientales aplicables a la exploración geotérmica.

5.2.1 Marco legal Ambiental

La legislación ambiental/social clave de Ecuador, que es aplicable a los proyectos geotérmicos se resumen a continuación:

Tabla 4 – Resumen de Legislación Ambiental Aplicable

RESUMEN DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL APLICABLE	
Ley de Gestión Ambiental (LGA) del 1999	<p>La Ley de Gestión Ambiental rige desde el 30 de julio de 1999¹ y establece normas básicas para la aplicación de políticas ambientales así como un esquema de administración ambiental por parte del Estado a través de un manejo horizontal presidido por el Ministerio del Ambiente (MAE)² y conformado por todos los ministerios e instituciones del Estado con competencia ambiental, la ley denomina en el Artículo 10 a este mecanismo como el Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental.</p> <p>La LGA, regula aspectos institucionales, de competencia, sustantivos, de procedimiento y sancionatorios. Se destaca el Artículo 20 que establece la exigencia de la licencia ambiental previa para toda actividad que implique riesgo ambiental.</p>
Ley de Aguas (RO 339) del 20 de mayo del 2004.	<p>Los artículos 20, 21 y 22 se refieren a la conservación y a la prevención de la contaminación del agua.</p>
Ley Orgánica de Participación Ciudadana	<p>Emitida por la Asamblea Nacional, y publicada en el R. O. Suplemento 175 de 20 de Abril de 2010, esta ley tiene por objeto, como se señala en su Artículo 1, “... propiciar, fomentar y garantizar el ejercicio de los derechos de participación de las ciudadanas y los ciudadanos, colectivos, comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades indígenas, pueblos afro ecuatoriano y montubio, y demás formas de organización lícitas, de manera protagónica, en la toma de decisiones que corresponda, la organización colectiva autónoma y la vigencia de las formas de gestión pública con el concurso de la ciudadanía; instituir instancias, mecanismos, instrumentos y procedimientos de deliberación pública entre el Estado, en sus diferentes niveles de gobierno, y la sociedad, para el seguimiento de las políticas públicas y la prestación de servicios públicos, fortalecer el poder ciudadano y sus formas de expresión; y, sentar las bases para el funcionamiento de la democracia participativa, así como, de las iniciativas de rendición de cuentas y control social.”</p>
Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) del 2003	<p>El TULAS es un compendio de los diferentes reglamentos que se hallan vigentes en materia ambiental a partir del año 2003. El Título VI, en particular, es el que concentra las disposiciones y reglamentos relativos a la calidad ambiental aplicable a la gestión ambiental como los mecanismos de Evaluación del Impacto Ambiental, la prevención y control de la contaminación ambiental. En el Título VI contiene el Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. Adicionalmente, en los siguientes Anexos, se determinan las Normas de Calidad Ambiental:</p> <p>Anexo 1.- Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.</p> <p>Anexo 2.- Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados.</p> <p>Anexo 3.- Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión.</p> <p>Anexo 5.- Límites Permisibles de Ruido Ambiente para Fuentes Fijas, Móviles y</p>

¹ R.O. 245 de 30 de julio de 1999.

² Creado mediante D. E. 195-A publicado en el R. O. Suplemento de 4 de Octubre de 1996.

RESUMEN DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL APLICABLE	
	Vibraciones. Anexo 6.- Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos.
Reglamento del Sistema Único de Manejo Ambiental (SUMA) del 2003	El Sistema Único de Manejo Ambiental (SUMA) vigente desde su publicación en el Libro VI del TULSMA ³ constituye la estructura reglamentaria matriz para cualquier sistema de evaluación ambiental a nivel nacional. El SUMA tiene como principios de acción. <i>“el mejoramiento, la transparencia, la agilidad, la eficacia y la eficiencia así como la coordinación interinstitucional de las decisiones relativas a actividades o proyectos propuestos con potencial impacto y/o riesgo ambiental, para impulsar el desarrollo sustentable del país .”</i>
Reglamento de Aplicación de los Mecanismos de Participación Social establecidos en la Ley de Gestión Ambiental D.E. 1040 ⁴	El reglamento emitido por D. E. 1040, del 22 de Abril de 2008, publicado en el R. O. 332 del 8 de Mayo de 2008 y sus Instructivos (Acuerdos Ministeriales 112 de 2008 y 106 de 2009), regula los mecanismos y momentos de participación ciudadana, define el alcance de la participación social y los sujetos de la participación social, permitiendo a la autoridad pública conocer los criterios de la comunidad en relación a un proyecto específico, determinar los requisitos para la recepción de criterios y sistematización, todo esto enfocado a garantizar el acceso a información por parte de las comunidades, transparentando aquellos proyectos y actividades que puedan afectar al ambiente.
Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación ⁵	Este reglamento establece disposiciones relativas a la prevención y control de la contaminación ambiental regulando la aplicación de las normas técnicas que señalan los límites máximos permisibles de contaminación ambiental. Se destaca la regulación de los Permisos de Descarga y Emisiones. En cuanto a la elaboración de estudios de impacto ambiental se remite al SUMA, y en cuanto al procedimiento para la aplicación de sanciones administrativas se remite al Capítulo II del Título I, Libro III del Código de la Salud.

a) Ley de Gestión Ambiental (LGA) del 1999

La Ley de Gestión Ambiental rige desde el 30 de julio de 1999 y establece normas básicas para la aplicación de políticas ambientales así como un esquema de administración ambiental por parte del Estado a través de un manejo horizontal presidido por el Ministerio del Ambiente (MAE) y conformado por todos los ministerios e instituciones del Estado con competencia ambiental, la ley denomina en el Artículo 10 a este mecanismo como el Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental.

La LGA, regula aspectos institucionales, de competencia, sustantivos, de procedimiento y sancionatorios. Se destaca el Artículo 20 que establece la exigencia de la licencia ambiental previa para toda actividad que implique riesgo ambiental.

³ R.O. 1 Edición Especial 31 de marzo de 2003.

⁴ R. O. 332, jueves 8 de mayo del 2008.

⁵ Título IV del Libro VI del TULSMA publicado en el R. O. Edición Especial 1 de 31 de Marzo del 2003.

b) Ley de Aguas (RO 339) del 20 de mayo del 2004

Los artículos 20, 21 y 22 se refieren a la conservación y a la prevención de la contaminación del agua.

c) Ley Orgánica de Participación Ciudadana

Emitida por la Asamblea Nacional, y publicada en el R. O. Suplemento 175 de 20 de Abril de 2010, esta ley tiene por objeto, como se señala en su Artículo 1, "... propiciar, fomentar y garantizar el ejercicio de los derechos de participación de las ciudadanas y los ciudadanos, colectivos, comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades indígenas, pueblos afro ecuatoriano y montubio, y demás formas de organización lícitas, de manera protagónica, en la toma de decisiones que corresponda, la organización colectiva autónoma y la vigencia de las formas de gestión pública con el concurso de la ciudadanía; instituir instancias, mecanismos, instrumentos y procedimientos de deliberación pública entre el Estado, en sus diferentes niveles de gobierno, y la sociedad, para el seguimiento de las políticas públicas y la prestación de servicios públicos, fortalecer el poder ciudadano y sus formas de expresión; y, sentar las bases para el funcionamiento de la democracia participativa, así como, de las iniciativas de rendición de cuentas y control social."

d) Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) del 2003

El TULAS es un compendio de los diferentes reglamentos que se hallan vigentes en materia ambiental a partir del año 2003. El Título VI, en particular, es el que concentra las disposiciones y reglamentos relativos a la calidad ambiental aplicable a la gestión ambiental como los mecanismos de Evaluación del Impacto Ambiental, la prevención y control de la contaminación ambiental. En el Título VI contiene el Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. Adicionalmente, en los siguientes Anexos, se determinan las Normas de Calidad Ambiental:

Anexo 1.- Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.

Anexo 2.- Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados.

Anexo 3.- Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión.

Anexo 5.- Límites Permisibles de Ruido Ambiente para Fuentes Fijas, Móviles y Vibraciones.

Anexo 6.- Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos.

e) Reglamento del Sistema Único de Manejo Ambiental (SUMA) del 2003

El Sistema Único de Manejo Ambiental (SUMA) vigente desde su publicación en el Libro VI del TULSMA constituye la estructura reglamentaria matriz para cualquier sistema de evaluación ambiental a nivel nacional. El SUMA tiene como principios de acción. "el mejoramiento, la transparencia, la agilidad, la eficacia y la eficiencia así como la coordinación interinstitucional de las decisiones relativas a actividades o proyectos propuestos con potencial impacto y/o riesgo ambiental, para impulsar el desarrollo sustentable del país."

f) Reglamento de Aplicación de los Mecanismos de Participación Social establecidos en la Ley de Gestión Ambiental D.E. 1040

El reglamento emitido por D. E. 1040, del 22 de Abril de 2008, publicado en el R. O. 332 del 8 de Mayo de 2008 y sus Instructivos (Acuerdos Ministeriales 112 de 2008 y 106 de 2009), regula los mecanismos y momentos de participación ciudadana, define el alcance de la participación social y los sujetos de la participación social, permitiendo a la autoridad pública conocer los criterios de la comunidad en relación a un proyecto específico, determinar los requisitos para la recepción de criterios y sistematización, todo esto enfocado a garantizar el acceso a información por parte de las comunidades, transparentando aquellos proyectos y actividades que puedan afectar al ambiente.

g) Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación

Este reglamento establece disposiciones relativas a la prevención y control de la contaminación ambiental regulando la aplicación de las normas técnicas que señalan los límites máximos permisibles de contaminación ambiental. Se destaca la regulación de los Permisos de Descarga y Emisiones. En cuanto a la elaboración de estudios de impacto ambiental se remite al SUMA, y en cuanto al procedimiento para la aplicación de sanciones administrativas se remite al Capítulo II del Título I, Libro III del Código de la Salud.

**5.2.2 Autoridades ambientales claves en el licenciamiento del proyecto
Ministerio de Ambiente**

El Ministerio de Ambiente de Ecuador (MAE) es la autoridad ambiental nacional rectora, coordinadora y reguladora del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental, sin perjuicio de otras competencias de las demás instituciones del Estado.

La Ley de Gestión Ambiental del 1999 establece en el Artículo 9, literal g) las atribuciones del MAE. Entre ellas está la de dirimir conflictos de competencias que se susciten entre los organismos integrantes del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental. Este Ministerio conforme al Artículo 20 de la Ley de Gestión Ambiental debe emitir licencias ambientales sin perjuicio de las competencias de las entidades acreditadas como autoridades ambientales de aplicación responsable.

5.2.3 Proceso de licenciamiento ambiental

En el Ecuador no existe una legislación ambiental específica para los proyectos geotérmicos. En el caso de los estudios de prefactibilidad previos realizados para Chacana y Chachimiro, se realizaron diversas reuniones entre CELEC EP, el Ministerio de Medio Ambiente y el Consultor del Proyecto (SYR). Como resultado de ello, no se consideró necesario emprender Estudio de Impacto Ambiental (EIA) o adquirir una Licencia Ambiental para los métodos de superficie no intrusivas basadas en geología, geoquímica y geofísica.

No obstante, dado que los EIA y licencias ambientales se requieren en Ecuador para la perforación exploratoria y de producción en los sectores de minería y petróleo, es probable que estos sean necesarios en el caso de la perforación de exploración geotérmica y futuras etapas de desarrollo. Además, dado a que se podrían incluir

pozos de gradiente térmico como parte de futuras actividades exploratorias en Baños de Cuenca, es probable que por lo menos se requeriría una ficha ambiental desarrollado para el proyecto, dependiendo de la decisión de la autoridad ambiental y tomando en cuenta que hay un vacío en la legislación ambiental para actividades relacionadas con exploración y desarrollo geotérmica.

El proceso de licenciamiento ambiental en Ecuador a través de un EIA comprende los siguientes pasos:

- Presentación de términos de referencia.- En donde se determinarán el alcance, focalización, métodos y técnicas a aplicarse en la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental.
- Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental.- Elaborado por un equipo multidisciplinario que responda técnicamente al alcance en función de los Términos de Referencia aprobados previamente. Este Estudio deberá contener la siguiente información:
 - Descripción del Proyecto;
 - Evaluación de Alternativas;
 - Área de Influencia;
 - Estudios de Línea Base;
 - Evaluación del Impactos Ambientales;
 - Evaluación de Riesgos;
 - Plan de Manejo Ambiental;
 - Plan de Monitoreo Ambiental;
 - Plan de Contingencia; y,
 - Planes de abandono.
- Revisión, Aprobación y Licenciamiento Ambiental.- Para la obtención del licenciamiento ambiental los requisitos de la Autoridad Ambiental son:
 - Obtención de un Certificado de Intersección con el SNAP (Sistema Nacional de Áreas Protegidas); y
 - La difusión a las comunidades aledañas al proyecto del Estudio de Impacto Ambiental y del Plan de Manejo Ambiental contemplado en el Estudio.
- Seguimiento Ambiental.- Este tiene por objeto asegurar el cumplimiento de los planes de manejo propuestos en el Estudio de Impacto Ambiental.

5.2.4 Participación Pública

En Ecuador, la participación pública es un proceso obligatorio para el EIA. Como se indica en el Reglamento de Aplicación de los Mecanismos de Participación Social establecidos en la Ley de Gestión Ambiental D.E. 1040, esto implicaría lo siguiente:

a) Mesas de Información

- Coordinación con el Facilitador Encargado de MAE;
- Entrega de invitaciones entre actores y gobierno a nivel local;

- Elaboración de un resumen ejecutivo del EIA en español;
- Las ubicaciones de las mesas de información deben estar en comunidades dentro del Área de Influencia del Proyecto;
- Presentación de material referente al EIA; y,
- Impresión de ejemplares del Borrador del EIA para su presentación en cada mesa de información.

b) Presentación Pública

- Audiencias públicas en comunidades ubicadas dentro del Área de Influencia del proyecto. Se incluiría presentaciones de los resultados del EIA de forma entendible a la audiencia;
- Manejo de registros de asistencia; y,
- Inclusión de observaciones relevantes en el EIA.

5.2.5 Áreas Protegidas

El Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) de Ecuador cuenta actualmente con 33 áreas que incorporan parques nacionales, reservas ecológicas, reservas biológicas, reservas geobotánicas, reservas faunísticas, reservas de producción faunística, refugios de vida silvestre, áreas nacionales de recreación y un parque binacional (Figura 12).

El área del Proyecto Baños de Cuenca cae dentro de dos áreas protegidas según información proporcionada por el Ministerio de Ambiente:

- Parque Nacional Cajas (en el extremo no-oeste del área del Proyecto)
- Bosque Protector Cuenca del Río Paute

Se requerirá permisos de la Dirección Nacional de Biodiversidad del Ministerio de Ambiente para poder desarrollar estudios dentro de estas áreas protegidas.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

El sistema geotérmico Baños de Cuenca es el siguiente:

- Temperatura del Reservorio – la geotermometría indica una temperatura de $\sim 100^{\circ}\text{C}$ con una posible, pero improbable temperatura máxima de $130\text{-}145^{\circ}\text{C}$. Estas temperaturas pueden alcanzarse a una profundidad de aproximadamente 2 km dado el gradiente geotérmico local.
- Fuente – Esto no está totalmente claro y se necesitará el muestreo de isótopos adicionales para aclarar, sin embargo, los fluidos parecen ser el resultado de fluidos meteóricos que se hundieron a profundidad en donde se mezclaron con una cantidad muy pequeña de agua subterránea que puede haber procedido de una fuente magmática. Alternativamente, la firma magmática débil podría ser el resultado del agua subterránea circulando a través de las rocas hidrotermalmente alteradas, que son el resultado de un sistema magmático anterior.
- Calidad del agua – Los fluidos de Baños de Cuenca son relativamente benignos, pero están saturados con Ca que precipita en la superficie como travertino y podrían causar posibles problemas de encrustación durante la producción. Sin embargo, la mitigación en estos casos no tiende a ser altamente costosa (inyección de ácido al fondo de pozo para mantener un pH bajo la precipitación de CaCO_3 in el pozo).
- Hemos elaborado tres modelos potenciales en este punto. El Modelo 1 parece ser el mejor sustentado por la información.
- Al Este del Volcán Quinsacocha existe una potencial fuente de calor.

Está en el límite de una fuente de calor, no es lo suficientemente joven para estar seguro de que esté todavía caliente, ni lo suficientemente viejo para estar seguros de que está frío.

Hay una serie de unidades en la estratigrafía que tienen el potencial de ser buenas unidades de reservorio (alta permeabilidad secundaria, fuente de Ca, etc.). Son Ky, Mb, y posiblemente Maz.

- Los fluidos geotérmicos pueden estar presentes en un reservorio somero lateralmente extenso, o solo a lo largo de las zonas de falla. Es de suma importancia distinguir correctamente entre estos dos modelos, ya que tienen implicaciones significativas para el objetivo de perforación..

6.2 Recomendaciones

Futuros esfuerzos de exploración deben centrarse en contestar algunas preguntas principales, ya que dependiendo de las respuestas, líneas adicionales de investigación podrían resultar irrelevantes excepto como de interés puramente científico:

- Existe una entrada magmática a los fluidos geotérmicos?
 - La información ^{13}C existente proveniente de Iguaggiato, mientras que en el espectro magmático, también podría ser interpretada como sedimentaria si procede de rocas que han sido hidrotermalmente alteradas.

- Medir los isótopos de Helio y Azufre 34 nos ayudaría a resolver esta cuestión, ya que los dos son utilizados para identificar fuentes de agua magmáticas vs. congénitas.
- Estas muestras solo tendrían que ser hechas en un par de los más altos manantiales calientes y más concentrados (CE) y no en cada manantial. Las muestras deben enviarse a TCI o GNS para análisis, ya que INAMHI no tiene la capacidad de medir isótopos.
- Además, los mismos dos manantiales deben volverse a muestrear para 13C para verificar los resultados de Iguaggiato, que se limitaron a una sola muestra.
- Existe un reservorio somero lateralmente extenso?
 - Con la temperatura del reservorio de solo ~100°C cualquier pozo de producción necesita ser de 500m o más somero para ser económico para perforar.
 - Las dos opciones que podrían reunir estas condiciones son las siguientes:
 - Una unidad de reservorio lateralmente extenso (menos de 500m) (Modelos 2 y 3) que podrían ser perforados en muchas locaciones.
 - El fluido geotérmico circulando en fallas normales sin una unidad de reservorio somero lateralmente extenso (Modelo 1) que podría requerir un programa de perforación mucho más limitado enfocado en las fallas normales.
 - Una campaña de perforación somera, ya sea de pozos de diámetro reducido o pozos de gradiente a 500m, podrían llevarse a cabo. El tipo de pozo depende en parte del precio y disponibilidad del equipo y de los requerimientos de permisos para cada tipo de pozo.
 - Una posibilidad es perforar un pozo de diámetro reducido, medirlo y realizar una prueba de caudal, y luego terminarlo como un pozo de gradiente utilizando un programa de compresión extraíble (*packer*) para sellar el fondo y permitir que se siente y equilibre por varias semanas antes de medir el gradiente geotérmico estable. Sería muy útil una medida exacta del gradiente geotérmico local para distinguir entre los varios modelos.
- Es el volcán al suroeste una fuente viable de calor para el sistema actual?
 - Puede el deterioro del sistema de Baños de Cuenca, considerando su altura en registros históricos de su extensión, ser asociado al enfriamiento de la fuente de calor?

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Beate B, Inguaggiato S, Villares F, Benitez S, Hidalgo S (2010) *The Cachiyacu Geothermal Prospect, Chacana Caldera, Ecuador Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali – Indonesia.*
- [2] Beate, B. et al.: *Mio-Pliocene adakite generation related to flat subduction in southern Ecuador: the Quimsacocha volcanic center. EPSL 192 (2001) 561-570 pp.*
- [3] Beate, B. & Salgado, R.: *Geothermal Country update for Ecuador, 2005 – 2010. Proceedings World Geothermal Congress, Antalya – Turkey, (2005).*
- [4] Chavez J., Criollo G., 2011 *Las aguas termales de la parroquia Baños (2000-2011)*
- [5] Duque P., 2000, *Breve Léxico Estratigráfico del Ecuador. UCP PRODEMINCA proyecto MEM BIRF 3655EC,*
- [6] ETAPA Cuenca., *Planes maestros de agua potable y saneamiento de Cuenca-Fase II*
- [7] Egüez A, Alvarado A, Yepes H, 2003. *Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarias de Ecuador y Regiones Oceanicas Adyacentes, escala 1:1'250.000. Proyecto de cooperación entre el U.S. Geological Survey, Denver, Colorado y la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.*
- [8] Herrera F. *Tesis, Universidad Central del Ecuador 2013. Caracterización de los depósitos de avalanchas de escombros en el tramo pillaro-patate.*
- [9] Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Seward, D., Egüez, A., Peterson, D.E., Elg, U., Hammer, C., 2002. *Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador. Earth Science Reviews 57.*
- [10] INAMHI., *Inventario Meteorológico, estación M0427, 2000 – 2013.*
- [11] Jaillard E., Bengtson P., Ordoñez M., Vaca W., Dhondt A., Suárez J., Toro J., 2008 *Sedimentary record of terminal Cretaceous accretions in Ecuador: The Yunguilla Group in the Cuenca area. Journal of South American Earth Sciences 25, 1-2.*

[12] P.N. Dunkley, A. Gaibor, *Mapa geológico de la cordillera occidental del Ecuador entre 2°-3°S, scale 1:200 000, CODIGEM, MEM and BGS project, 2000.*

[13] *Un vistazo a baños., revista Turística, 2009-2014.*

Inguaggiato et. Al 2010

Powell and Cumming 2010

Sandoval and Bellucci 1990