



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**Y AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES**  
**RENOVABLES**

**ARTÍCULO CIENTÍFICO**

**“CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LAS FUENTES DE AGUA DE TANGALÍ PARA SU USO POTENCIAL COMO RECURSO NATURAL, CANTÓN OTAVALO”**

**Autores:** Pablo Israel Andrade Arciniegas  
Alexander Fabián Palma Rueda

**Director:** Ing. Juan Diego Varela MSc.

**Asesores:** Ing. Sandra Gavilanes MSc.  
Ing. Jorge Granja.  
PhD. James Rodríguez.

**Lugar de investigación:** La investigación se desarrolló en la comunidad de Tangalí ubicada en la provincia Imbabura, cantón Otavalo, parroquia San José de Quichinche.

**Beneficiarios:** Comunidad Tangalí, turistas, UTN, Investigadores

**Ibarra – Ecuador**

**2017**

## **DATOS INFORMATIVOS**



**APELLIDOS:** Andrade Arciniegas

**NOMBRES:** Pablo Israel Andrade Arciniegas

**C. CIUDADANÍA:** 100363987-7

**TELÉFONO CONVENCIONAL:** (06) 2280-304

**TELÉFONO CELULAR:** 0992053102

**CORREO ELECTRÓNICO:** pablo\_i\_666@hotmail.com

**DIRECCIÓN:** Av. Enrique Arboleda y Ricardo Rúaes Provincia del Carchi – cantón Mira

**FECHA:** 01 de Agosto del 2017

## **DATOS INFORMATIVOS**



**APELLIDOS:** Alexander Fabián

**NOMBRES:** Palma Rueda

**C. CIUDADANÍA:** 040170764-1

**TELÉFONO CONVENCIONAL:** (06) 2 973-131

**TELÉFONO CELULAR:** 0984615919

**CORREO ELECTRÓNICO:** alexpalma\_05@hotmail.com

**DIRECCIÓN:** Calle 8 de diciembre y pasaje Timburay Provincia del Carchi-cantón Huaca

**FECHA:** 01 de Agosto del 2017

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

**Guía:** FICAYA-UTN

**Fecha:** 01 de Agosto del 2017

**Pablo Israel Andrade Arciniegas y Alexander Fabián Palma Rueda**

“Caracterización geoquímica de las fuentes de agua de Tangalí para su uso potencial como recurso natural, cantón Otavalo”, TRABAJO DE TITULACIÓN: Ingenieros en Recursos Naturales Renovables.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables Ibarra, 01 de agosto del 2017, 142 páginas.

**DIRECTOR: Ing. Juan Diego Varela. MsC.**

El objetivo principal de la presente investigación fue: Determinar las características geoquímicas de las fuentes de agua de Tangalí para su uso potencial como recurso natural. Entre los objetivos específicos se encuentra: Identificar las fuentes de agua de Tangalí y determinar sus caudales. Caracterizar la composición geoquímica del agua y gases emitidos de las fuentes de agua de Tangalí. Realizar la valoración de la utilidad de las fuentes de agua y proponer alternativas de aprovechamiento seguro como recurso natural en la comunidad de Tangalí

**Fecha:** 01 de Agosto del 2017

.....  
Ing. Juan Diego Varela. MsC.

**Director de Trabajo de Titulación**

.....  
Pablo Israel Andrade Arciniegas

**C.I. 100363987-7**

.....  
Alexander Fabián Palma Rueda

**C.I. 040170764-1**

# CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LAS FUENTES DE AGUA DE TANGALÍ PARA SU USO POTENCIAL COMO RECURSO NATURAL, CANTÓN OTAVALO

Pablo Andrade y Alexander Palma\*<sup>1</sup>, Juan Diego Varela

<sup>1</sup>Universidad Técnica del Norte

Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales

Av. 17 de julio 5-21 y José Córdova, Ibarra-Ecuador

Teléfono: 00593-6-2997800

\*Autores correspondientes: e-mail: pablo\_i\_666@hotmail.com-alexpalma\_05@hotmail.com

## RESUMEN

En las fuentes de agua estudiadas en el presente trabajo de investigación, están localizadas en la provincia de Imbabura, comunidad de Tangalí en las proximidades del río Blanco. Administrativamente esta comunidad pertenece, a la parroquia San José de Quichinche en el cantón Otavalo provincia de Imbabura. En la zona de estudio existen múltiples fuentes de agua hipos termales y frías. En una de las fuentes estudiadas se evidencia considerables emisiones de gas, en ésta se llevó a cabo la identificación del gas y el cálculo del caudal emitido, alcanzando altas concentraciones perjudiciales para la salud que pueden terminar con la vida de personas y animales, además se realizó el análisis de las características físicas y geoquímicas del agua y gases lo que ayudó a caracterizar los fluidos que emergen de las diferentes fuentes y así optimizar su utilización. Estos datos, aportaron información para proponer alternativas de uso seguro de éstos recursos naturales buscando un equilibrio sostenible entre la comunidad y los recursos naturales existentes, de tal manera que beneficien a la comunidad.

**Palabras clave:** CO<sub>2</sub>, fuentes, falla geológica, emisiones, fluidos, termo mineral.

## ABSTRACT

In the water sources studied in the present research work, they are located in the province of Imbabura, community of Tangalí in the proximities of the Blanco river. Administratively this community belongs, to the parish San José de Quichinche in the canton Otavalo province of Imbabura. In the study area there are multiple hot and cold water sources. In one of the sources studied, considerable gas emissions are evidenced, in which the gas identification and the calculation of the flow rate were carried out, reaching high concentrations detrimental to the health that can end with the life of people and animals, besides Performed the analysis of the physical and geochemical characteristics of water and gases which helped to characterize the fluids that emerge from different sources and thus optimize their use. These data provided information to propose alternatives for the safe use of these natural resources, seeking a sustainable balance between the community and the existing natural resources, in such a way as to benefit the community.

**Key words:** CO<sub>2</sub>, sources, failure geological, emissions, fluids, mineral term.

## INTRODUCCIÓN

La emisión de grandes cantidades de CO<sub>2</sub> asociado a fuentes de agua y gas en zonas topográficamente deprimidas es un riesgo para humanos y animales. Este fenómeno constituye un riesgo natural en zonas volcánicas y no volcánicas como se ha puesto en evidencia por eventos catastróficos ocurridos en diversas partes del mundo (Calcara & Quattrocchi , 1996;

Giggenbach, 1990; Rogie, Kerrick, Chiodini, & Frond, 2000; Sigurdsson, y otros, 1987).

Dentro la comunidad de Tangalí existe un complejo de aguas termales donde se desarrollaba un turismo comunitario, además los comuneros de los alrededores consideran a la fuente como un sitio sagrado ya que se la utilizaba la fuente para realizar rituales ancestrales de sanación, la fuente está ubicada dentro del complejo a cinco minutos en vehículo desde la

comunidad. En este lugar existen Emisiones de gas que aparecen asociadas a las fuentes de agua en Tangalí y que han ocasionado muertes de personas que visitaron el área. Como antecedentes El diario el Norte señala que el día martes 20 de Enero del 2015 seis personas fallecieron en la fuente de Tangalí, dos de ellas presuntamente curanderos, que habrían estado dirigiendo un ritual durante la noche. Señalando como causal de muerte lo siguiente: “Los cuerpos de las víctimas fueron retirados ayer de la morgue por sus familiares. De acuerdo con los exámenes necrológicos que les practicaron la causa del deceso habría sido un edema pulmonar agudo” (El Norte, 2015).

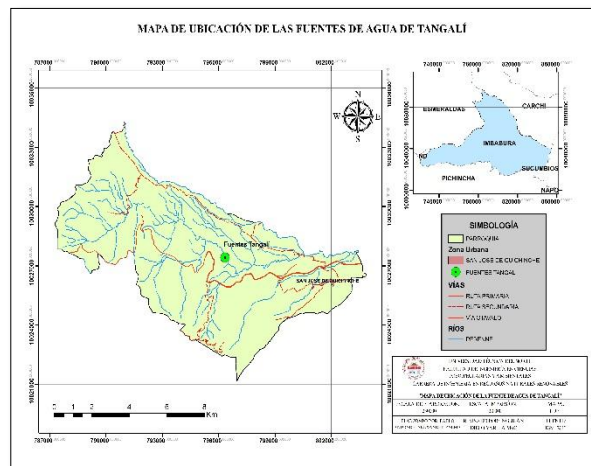
Éste suceso marcó a la comunidad de Tangalí negativamente en el desarrollo turístico, ya que para evitar que nuevos eventos de estas características ocurran y pongan en riesgo a las personas que visitan el lugar se suspendió todo tipo de actividad dentro del complejo mientras no se conozcan las razones y se diseñen acciones que permita no solo desarrollar esta actividad de manera segura sino también desde la perspectiva del desarrollo sustentable comunitario que ha traído como consecuencia un impacto sobre la comunidad local desde el punto de vista económico y sociocultural.

Para un mejor aprovechamiento de estas fuentes como un recurso natural por parte de la comunidad es necesario determinar las características geoquímicas de las aguas termales y gases emitidos, así como el volumen de fluidos emitidos y elaborar una propuesta para la gestión del recurso y maximizar su aprovechamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Caracterización del área de estudio

La comunidad de Tangalí se encuentra localizada en el norte del Ecuador en la provincia de Imbabura dentro del cantón Otavalo en la parroquia de San José de Quichinche. Esta se localiza a 12 Km de la localidad de Otavalo en las inmediaciones de la vía que conecta esta población con Selva Alegre (Fig. 1).



**Figura 1. Mapa de Ubicación del área de estudio**

Fuente: Instituto Geográfico Militar (2013)

Elaborado por: Los autores

### Metodología

El diseño metodológico incluyó tres fases diferenciadas, con el fin de cumplir con los objetivos específicos:

#### Primera Fase: Identificación de las fuentes de agua de Tangalí y determinación sus caudales.

##### Localización de las Fuentes de Agua

Mediante el método descriptivo se procedió a recabar información lo más relevante posible de la comunidad de Tangalí, consistió en analizar orto fotos de escala 50 cm el pixel y su edición se realizó mediante el programa ArcGis 10.3 obtenidas mediante una base de datos del Instituto Geográfico Militar (IGM). Una vez analizadas las orto fotos se identificó la fuente principal de agua termal, con ésta información se realizó la primera visita a la comunidad de Tangalí en el mes de Junio en la cual mediante una socialización con la comunidad involucrada se dio a conocer el proyecto, los habitantes mostraron interés en el proyecto y dieron a conocer información de la fuente principal y de los problemas que ha causado en la salud de personas que visitan este lugar, por lo que se revisó información en diferentes sitios web como artículos y videos sobre la gran problemática en la que se vio afectada la comunidad.

##### Medición del caudal

Se utilizó dos métodos, para la fuente principal se utilizó un método indirecto del vertedero triangular de (Weirs) descrito por (Cadena, 2012), debido a que presenta un caudal significativo para la microfrecuencia del río Blanco, este método se realizó colocando una placa metálica con un vértice triangular de 90° en forma de “V” en el caudal del remanente de la fuente principal evitando todo tipo de infiltraciones como se muestra en la figura 4, además se colocó un tubo

PVC con medida para verificar que el nivel de agua sea constante para el cálculo del caudal estimado se realizó en base a la fórmula de (King).

$$Q = F \left[ \frac{H}{L} \right]^{5/2} \cdot 1000$$

F = 1,38 (constante)

H = 0,15 m

Para las fuentes termal 2, güitig y cristalina se utilizó un método indirecto del vertedero volumétrico que se aplica preferiblemente en caudales reducidos y no muy significativos como lo fue en éstas fuentes que consiste en conducir el caudal mediante un tubo hacia un recipiente con medida y tomar el tiempo que se demora en llenar el mismo, para ello se realizó dos a tres repeticiones para obtener un valor promedio (fig.5), para el cálculo se realizó la siguiente formula (Cadena, 2012).

$$Q = V/t$$

V = volumen del recipiente en litros

t = tiempo en segundos

## **Segunda Fase: Caracterización de la composición geoquímica del agua y gases emitidos de las fuentes de agua de Tangali.**

### **Análisis físico-químico del agua**

Para el análisis físico-químico de todas éstas fuentes se tomaron muestras de agua entre los meses de diciembre de 2016 y enero de 2017 utilizando recipientes esterilizados de polietileno. Estas muestras fueron analizadas en el laboratorio para determinar la concentración de los principales cationes (Li, Na, K, Ca y Mg) mediante el método de laboratorio de absorción atómica utilizando el espectrofotómetro Varian Spectra Aa240 y los aniones (HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, F y Cl) fueron determinados mediante un cromatógrafo iónico marca Metro-hm IC 881, ésta técnica es utilizada para determinar la concentración de un elemento metálico determinad en una muestra (Rocha, 2000). En el campo se determinó el pH, conductividad y temperatura con los medidores Cobra4 Mobile-link de Phywe (multiparámetro). Se realizó una toma de muestras de agua adicional para la fuente principal exclusivamente, de la misma manera se utilizó recipientes esterilizados de polietileno, las muestras fueron empaquetadas con papel aluminio las mismas que fueron colocadas en un cooler con hielo donde se envió a analizar parámetros como: fenoles, fósforo total, materia flotante, nitrógeno total, sustancias activas al azul de metileno, sustancias solubles en hexano y análisis microbiológicos de coliformes totales y fecales; para pH, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura se tomó los datos mediante el multiparámetro.

Elaboración del Diagrama de Piper

Para la representación gráfica de los datos de aniones y cationes de las diferentes fuentes estudiadas.

Para la realización del diagrama de Piper se registró los datos de los aniones (HCO<sub>3</sub>)<sup>-</sup>, (SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub><sup>-</sup>, y Cl<sup>-</sup> o (NO<sub>3</sub>)<sup>-</sup>, y cationes Ca<sub>2</sub><sup>+</sup>, Ma<sub>2</sub><sup>+</sup>, y Na<sup>+</sup> (en ocasiones Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup>) principales. Los datos se representan en porcentajes y se subió estos datos al software Triplot versión 4.1.2 donde se representó los datos gráficamente utilizando esta metodología.

### **Identificación y medición de los gases**

El estudio de los gases fue llevado a cabo en la fuente principal que presenta las mayores tasas de emisión. Para la identificación del gas emitido se utilizó una bomba manual Dräger accuro y los tubos calibrados de CO<sub>2</sub>, CO y SO<sub>2</sub>. Éste método consiste en presionar la bomba e insertar un tubo dräger nuevo sin abrir, después de soltar la bomba el fuelle (cuerpo de la bomba) no debe variar durante un minuto, luego presionar la bomba completamente y después de apretar la bomba, el fuelle debe abrirse de golpe y el proceso de succión de gases se desarrolla automáticamente y mediante un reactivo que se encuentra en los tubos dräger éstos deben presentar coloración violeta si se detecta algún tipo de gas en este caso CO<sub>2</sub> (Hispania, 2006).

Se realizó varias medidas con los tubos calibrados de CO<sub>2</sub>, CO y SO<sub>2</sub> descartando los gases de CO y SO<sub>2</sub> debido a que no presento coloración alguna en los tubos dräger y obteniendo datos solo de CO<sub>2</sub> (Hispania, 2006).

Se registró los datos en distintos puntos de la zona de influencia que en este caso fueron 7 puntos los establecidos: el punto 1 (P1) se registró donde existe mayor concentración de CO<sub>2</sub> en la fuente principal el P2 se tomó a la salida de la fuente principal el P3 en el caudal de salida de la fuente principal así como el P4 que fue registrado a lo largo del canal de la fuente hacia el río Blanco, el P5 se tomó en la unión del caudal que se desprende la fuente principal con el río; el P6 se tomó antes de las fuentes y el P7 se tomó después de las fuentes aproximadamente a unos 500m de distancia. Todas las medidas de concentración de CO<sub>2</sub> fueron tomadas a una distancia de 50 cm con el tubo dräger con rango de medida del 1 a 20 vol. % (Hispania, 2006).

El volumen de gas fue determinado mediante el método propuesto por (Rogie, Kerrick, Chiodini, & Frond, 2000). Consiste en un dispositivo de captura del gas para lo cual se utilizó una piscina hinchable dispuesta hacia abajo. En la parte superior de la piscina se instaló un tubo rígido de 16 cm de diámetro con un codo para mantener a este en posición horizontal. En la salida del tubo se acoplaron reducciones de diferente diámetro hasta conseguir que la parte superior de la piscina no se hinchara. En éste caso utilizamos una reducción de 16 a 12 cm. Con ello se evita un exceso de presión dentro de la piscina y así reducir al máximo la pérdida de gas por la parte inferior de la misma.

Para la medida de la velocidad del gas dentro del tubo se utilizó el instrumento multiparámetro

Testo 480, al que se le adaptó la sonda de bulbo caliente que permite medir tanto la temperatura como la velocidad de los gases. Esta sonda fue introducida dentro del tubo a través de un agujero para medir la velocidad en diferentes puntos de una misma sección, después se obtuvo una velocidad media con todos los puntos medidos; la salida de gas se concentra en tres puntos de emisión, en los que se midió en cada uno de ellos el caudal de gas. Una vez obtenido la velocidad del gas dentro del tubo conectado al dispositivo de captura se calculó el caudal de gas ( $\phi\text{CO}_2$  en mol/tiempo) utilizando la siguiente ecuación: (Rogie, Kerrick, Chiodini, & Frond, 2000).

$$\phi\text{CO}_2 = A \cdot V \cdot C \cdot P \cdot \left[ \frac{R \cdot T}{P} \right]^{-1}$$

**Donde:**

A = Área de la sección del tubo donde se realizó la medida con la sonda (16 cm de diámetro)

V = velocidad del gas (m/s)

C = concentración del gas dentro del dispositivo de captura (100%)

P = presión en el punto de medida (atm)

R = constante universal de los gases (0.082057 L·atm·mol<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>)

T = temperatura en el punto de medida (~3°C) °K

Para realizar el cálculo del caudal se hizo una aproximación al considerar que la concentración de CO<sub>2</sub> dentro del dispositivo de captura era del 100%. La temperatura media del gas en la fuente es de 26 °C.

**Tercera Fase: Realización de la valoración de la utilidad de las fuentes y proponer alternativas de aprovechamiento seguro como recurso natural en la comunidad de Tangalí.**

Mediante el análisis de los resultados obtenidos en las fases previas de la investigación se realizó una valoración de la fuente principal (Termal Principal) con la finalidad de determinar su uso potencial, generando beneficios hacia la comunidad en la parte socio-cultural, ambiental y económica.

Para la valoración de las fuentes se procedió a levantar información de cada una de las fuentes en campo con el fin de conocer cuál es el uso actual que se ésta dando a éstas fuentes.

Según los criterio de calidad de aguas destinadas a fines recreativos mediante contacto primario y en función de los resultados de los análisis de cada una de las fuentes se propusieron alternativas de uso seguro que estarán enfocadas en el aprovechamiento del recurso agua y gas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Localización de las fuentes y determinación de caudales

En esta zona aparecen dos fuentes de aguas termales (Termal principal y Termal 2) y dos de agua fría (Gütig y cristalina); la Termal principal presenta una elevada emisión de dióxido de carbono que produce un fuerte burbujeo en el agua y la fuente de agua fría (Gütig) también se caracteriza por una ligera salida de gas, aunque en menor cantidad.

Se georreferenció y se estimó los caudales de cada una de las fuentes de agua. Para el cálculo de los caudales se aplicaron los métodos de vertedero triangular y vertedero volumétrico. En la fuente principal se utilizó el método de vertedero triangular debido a que presenta un caudal significativo para la microcuenca del río Blanco, y para las fuentes termal 2, Gütig y cristalina se utilizó el método de vertedero volumétrico ya que el caudal de estas fuentes es reducido y no es muy significativo.

En la fuente Termal Principal se calculó el caudal de agua mediante el método del vertedero triangular dando como resultado aproximado 12L/s, mientras que para la fuente termal 2, Gütig y cristalina se calculó el caudal mediante el método de aforo volumétrico y sus caudales no superan el 1 L/s.

### Caracterización de la composición geoquímica del agua y gases emitidos de las fuentes de agua de Tangalí.

Las propiedades físico-químicas de las fuentes de agua estudiadas y anteriormente mencionadas, reflejan resultados acorde a lo que la normativa nacional vigente lo exige; por ejemplo en lo referente al pH del agua se encuentra en un valor que oscila entre el 5,7 y 7,36; valores que definen la acidez o basicidad de las fuentes de agua. Los valores de las fuentes más extremas se debe a la composición de las mismas; agua de Gütig y agua limpia respectivamente.

### Clasificación de las fuentes estudiadas

Se clasificó a las diferentes fuentes según algunos parámetros consultados las cuales se evidencia que las cuatro fuentes de agua coinciden la misma clasificación que son de origen meteórico con ligera reacción acida debido a su pH, y se las denomina aguas bicarbonatadas de calcio y magnesio según la composición química. De acuerdo a los análisis físicos y químicos realizados a las diferentes fuentes de agua y de la literatura analizada, se reflejan valores que determinan su clasificación; por ejemplo: la temperatura tomada en las fuentes de agua permiten calificarlas como hipo termal y fría; de la misma manera mediante los valores de potencial hidrógeno se puede determinar la acidez o basicidad con la que reaccionan las diferentes fuentes de agua.



## Características físicas y químicas de las fuentes de agua estudiadas.

Los mayores valores de sólidos totales disueltos (STD) presentan temperaturas entre 22 y 25 °C, pH de la fuente Termal principal y Termal II es de 6,45 y su conductividad varía entre 2779 a 2868  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Las otras fuentes con menores concentraciones de STD presentan menores temperaturas entre 15 a 19 °C, pH entre 5,7 a 7,36 y conductividades mucho menores que las fuentes calientes. El pH bajo del agua de la fuente de Güitig se debe posiblemente a la presencia de  $\text{CO}_2$  disuelto, ya que está presenta una ligera emisión de gas

La mayor concentración de STD de las aguas calientes sugiere que estas han sufrido un mayor grado de interacción agua – roca y abrían tenido una circulación más profunda estando más influenciadas por el sistema hidrotermal de la región; como se muestra en la Figura 2.

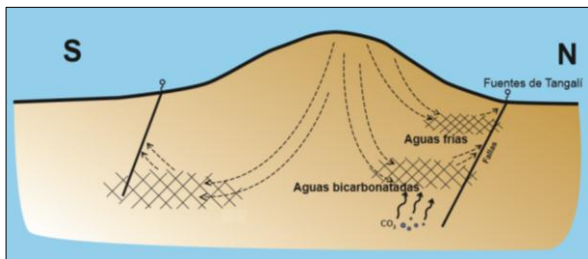


Figura 2: Modelo conceptual del sistema hidrotermal. Elaborado por: Los autores

## Realización del Diagrama de Piper

Las muestras Termal principal y Termal 2 que son las aguas calientes de esta zona con fuerte salida de gas y situadas en el vértice del  $\text{HCO}_3$  presentan las características propias de las aguas de soda descritas por Giggenbach (1988).

Las muestras de Tangalí corresponden aguas bicarbonatadas con Ca-Mg. En la figura 3 se han representado las muestras de agua en el diagrama de Piper.

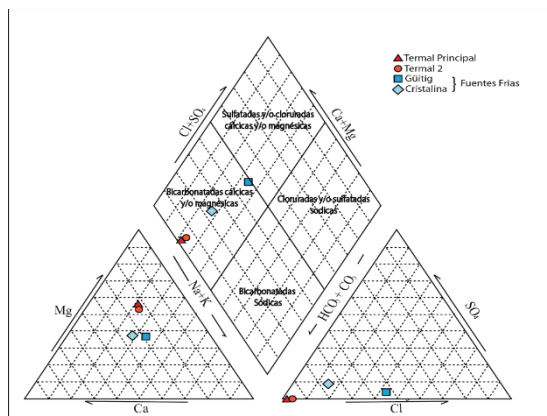


Figura 2: Muestras de agua en el Diagrama de Piper. Elaborado por: Los autores

## Medición de los Gases

En la fuente Termal Principal se determinó que el gas emitido es  $\text{CO}_2$  descartando la emisión de  $\text{CO}$  o  $\text{SO}_2$ . La salida de agua de la fuente Principal ha sido agrandada por la gente de la zona para ser utilizada con fines terapéuticos y ceremoniales excavando los sedimentos aluviales para formar una piscina. En ella la salida de gas se concentra en tres puntos de emisión, en los que se midió en cada uno de ellos el caudal de gas mediante el método descrito en el capítulo de metodología, además se tomó medidas en dos puntos importantes del río uno antes de donde se registraron las fuentes y el otro al finalizar las fuentes y se registró que en el primer punto no se registraron % de gas  $\text{CO}_2$  en el punto tomado al finalizar las fuentes si registro un % mínimo de  $\text{CO}_2$ . En la figura. 4 se puede evidenciar esquemáticamente la toma de muestras de gas en distintos puntos de muestreo.



Figura 4: Esquema en planta de la fuente con su canal de drenaje y río. Elaborado por: Los autores

## Estimación del caudal de $\text{CO}_2$ de la fuente Termal Principal

Los valores medidos fueron en tres puntos de salida de la fuente Termal Principal como: Temperatura, presión absoluta y velocidad de flujo mismos que fueron utilizados para el cálculo del caudal de  $\text{CO}_2$ , para la estimación del caudal se tomó dos veces las medidas de cada una de las salidas del gas presente en la fuente para obtener una medición lo más homogénea posible del caudal, como resultado de las medidas de  $\text{CO}_2$  se tiene que la fuente en los puntos de medida emite aproximadamente 5,3 T/día de  $\text{CO}_2$  y al año se emite 1970,6 T/año de  $\text{CO}_2$ .

## Valoración de la utilidad de las fuentes.

La valoración de la utilidad de las fuentes se obtuvo a partir de la observación y verificación en la comunidad, sobre el uso actual que se le da a cada una de las fuentes de agua identificadas contrastada con la literatura analizada.

Los habitantes de la comunidad de Tangalí utilizan la fuente Termal Principal, con fines de uso recreacional, medicinal, ancestral y turístico; mientras que la fuente termal 2 no tienen ningún uso actual en beneficio de la comunidad, las dos fuentes restantes (güitig y cristalina) son utilizadas para consumo. De ésta manera se descartan las tres fuentes y solo se tomó en cuenta la Termal principal para el estudio realizado ya que además ésta fuente presenta un caudal muy significativo en relación a las demás fuentes identificadas.

### **Alternativas de aprovechamiento seguro del agua**

Para un aprovechamiento seguro no debe existir un contacto directo con la fuente debido a la concentración de CO<sub>2</sub> que ésta emite. El agua de esta fuente debe ser transportada mediante tubería a una distancia prudente de la vertiente. Además, la concentración de oxígeno disuelto de la fuente es muy baja al límite mínimo otorgado por la norma ambiental, por lo que se han analizado varios métodos de oxigenación artificial. Las alternativas de aprovechamiento seguro estuvieron enfocadas en el aprovechamiento de uso industrial y medicinal.

### **CONCLUSIONES**

- Las fuentes del complejo hidrotermal presente en el sector de Tangalí se encuentran en rangos de temperatura entre 15 a 24 °C, considerando como fuentes hipotermales y fuentes frías con caudales que oscilan de 0,15 a 12 L/s aproximadamente. Se analizaron parámetros físico-químicos para determinar su composición y de los análisis realizados se determina que estas fuentes pueden ser utilizadas como recurso natural para uso recreativo, medicinal e industrial previo tratamiento de aireación, oxigenación y desinfección.
- Dentro del complejo hidrotermal se han identificado cuatro fuentes las mismas que se las ha codificado como Fuente Termal Principal con un caudal medio de 12 L/s, Fuente Termal II con un caudal de 0,59 L/s, Fuente Güitig con un caudal de 0,06 L/s y la Fuente Cristalina con un caudal de 0,65 L/s; éstas fuentes drenan hacia el río Blanco aportando un caudal aproximado de 13,3 L/s.
- La composición geoquímica están constituidos por parámetros como pH, conductividad, temperatura B, As, Ca, Fe, Li, Mg, K, Na, Cd, Ni, Pb, Si, Zn, Hg, dureza total, sólidos totales disueltos, nitrógeno amoniacal, alcalinidad, bicarbonatos, carbonatos, cloruros, fluoruros, nitratos y sulfatos; dentro de los gases existe presencia de emanación de gas CO<sub>2</sub> en la fuente Termal Principal con un caudal aproximado

de 5,3 t/día y un caudal de 1970 t/año, correspondiente a los puntos de salida.

- La utilidad de las fuentes de agua del sector de Tangalí y en especial de la fuente Termal Principal se centraron en el aprovechamiento de uso recreativo. Sin embargo estas pueden ser utilizadas con otros propósitos tanto en medicina ancestral e industrial, es necesario tomar medidas de seguridad dependiendo del aprovechamiento propuesto.
- La fuente de agua Termal Principal por su alto contenido y emanaciones de CO<sub>2</sub> no puede ser utilizada con fines recreativos de manera directa, debido a que no cumple con los parámetros establecidos descritos en la normativa vigente, siendo indispensable un previo tratamiento.

### **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda monitorear periódicamente la composición química y caudales de las fuentes de aguas termales para prever la variabilidad y cantidad de sus componentes además es importante contar con el equipo de seguridad necesario para realizar estudios en fuentes termales con emisiones de CO<sub>2</sub>, considerándose mediciones en horas críticas de mayor concentración del gas.
- No es recomendable ingresar en fuentes naturales directamente, especialmente si se observa burbujeo de gases y si la fuente está en una zona poco ventilada cuya composición química precisa se desconoce, se sugiere implementar una zona de seguridad en la fuente Termal Principal con un cerramiento de cercas vivas con plantas nativas del sector. Además, se recomienda colocar señalización, horarios de atención, condiciones de ingreso de turistas al complejo hidrotermal.
- Evaluar el potencial de recursos correspondientes a la utilización del gas dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que presenta el complejo hidrotermal, a fin de determinar su viabilidad para su industrialización.
- Ante la presencia de CO<sub>2</sub> en las fuentes de agua de Tangalí es importante realizar mediciones para conocer la cantidad de CO<sub>2</sub> en el agua (CO<sub>2</sub> disuelto en el agua) y el CO<sub>2</sub> emanado de toda la fuente y la presencia de otros gases en caso de existir.
- Comprometer a la Academia con las comunidades en la realización e implementación de sus diferentes proyectos de tesis con el objetivo de aprovechar el gran potencial natural que cuenta la comunidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cadena, V. (2012). Hablemos de Riego. Ibarra, Ecuador: Creadores Gráficos.

Calcara, M., & Quattrocchi, F. (1996). Ammonia content fluctuations in Groundwater of the Colli Albani Volcano, Italy. Eos, Trans AGU, Fall Meet. Suppl, 46.

El Norte. (21 de Enero de 2015). Seis fallecidos en Imbabura por inhalación de gases tóxicos. El Norte, págs. 16-17.

Giggenbach, W. (14 de Diciembre de 1987). Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca ge indicators. (Copyright, Ed.) Chemistry Division, DSIR, Petone, 52, 2749-2765.

Giggenbach, W. F. (1990). Water and gas chemistry of Lake Nyos and its bearing on the eruptive process, J Volcanol . Geotherm Res, 337-362.

Hispania, S. D. (2006). Manual de tubos Dräger / CMS: Análisis de suelos, agua y aire, así como análisis de los gases industriales (14 ed.). Madrid-España: Lubeck.

Rocha, E. (2000). Principios Básicos de espectroscopía. Mexico, Mexico: UACH.

Rogie, J., Kerrick, D., Chiodini, G., & Frond. (2000). Flux measurements of nonvolcanic CO<sub>2</sub> emission from some vents in central Italy. Journal of Geophysical Research, 105.

Sigurdsson, H., Devine, F. M., Tchoua, T. S., Presser, M. K., Prigle, & Evans, B. M. (1987). Origin of the lethal gas burst from Lake Monoun, Cameroon. Journal of Volcanology and Geothermal Research., 31,1-16.