



Composición química y propiedades físicas de los fluidos geotermales del complejo volcánico San Cristóbal - Casita Nicaragua

Cisne Altamirano Jorge^{1*}; Ferrufino Castillo Arnoldo¹; Escoto López Haylell¹,
Álvarez Julio² y Ibarra Martha²

¹ Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León)
Facultad de Ciencias y Tecnologías
Departamento de Química

² Instituto Nicaragüense de estudios Territoriales (INETER)
Departamento de Vulcanología

Recibido: 12/01/2016

Aceptado: 14/03/2016

Resumen

El volcán San Cristóbal es el más alto y uno de los más activos de Nicaragua, se encuentra ubicado en el 'Complejo Volcánico que lleva su nombre, y comprende cinco estructuras volcánicas: San Cristóbal, Casitas, Chonco, oyotepe y la Pelona. El San Cristóbal es el más activo del grupo. Este emite gases continuamente y de vez en cuando hay actividad sísmica a su alrededor. En el presente estudio se realizó un muestreo de aguas alrededor del edificio volcánico que presentaban algunas alteraciones hidrotermales (temperaturas superiores a la temperatura ambiente), luego de los análisis de las muestras se pudo observar que las muestras de aguas presentaban pH de 6.5 ligeramente ácidos y temperaturas en promedio de 50°C en dos de los tres sitios estudiado, por otro lado, se caracterizaron las aguas estudiadas como de origen meteórico poco profundas calentadas de manera convectiva por una fuente de origen magmático esto debido a sus altas concentraciones de bicarbonatos los cuales oscilan entre 140 y 350 mg/kg evidenciadas en los diagramas de ternarios y de Piper.

Palabras Claves: Aguas termales, Caracterización de aguas, diagrama de Piper

Abstract

The San Cristóbal volcano is the highest and one of the most active volcanoes in Nicaragua. It is located in the Volcanic Complex that bears its name and includes five volcanic structures: San Cristóbal, Casitas, Chonco, oyotepe and La Pelona. San Cristóbal is the most active of the group. It emits gases continuously and from time to time there is seismic activity around it. In the present study, a sample of waters around the volcanic building that had some hydrothermal alterations (temperatures above room temperature) was carried out, after the analysis of the samples it was observed that the water samples had a pH of 6.5 slightly acidic and Temperatures on average of 50 ° C in two of the three studied sites, on the other hand, were characterized the waters studied as of meteoric origin shallow convectively heated by a source of magmatic origin this due to their high concentrations of bicarbonates which Oscillate between 140 and 350 mg / kg evidenced in the ternary and Piper diagrams.

Keywords: Thermal Waters, Water Characterization, Piper Diagram



INTRODUCCIÓN

El área del complejo volcánico San Cristóbal-Casita comprende un grupo de estructuras volcánicas ubicadas en el extremo NO de la cordillera los Maribios, Nicaragua. A parte de las grandes emisiones de vapor de agua y gases del cráter del volcán San Cristóbal, las manifestaciones termales más significativas del área se encuentran en el cráter del Volcán Casita, donde existe una intensa alteración ácida rica en azufre que presenta fumarolas ligeramente activas con temperatura de hasta 98°C (comisión nacional de energía CNE, 2001).

Debido a la alta permeabilidad de las rocas volcánicas el agua meteórica se infiltra formando extensos mantos de agua en las llanuras norte y sur del departamento de Chinandega. En el sector norte y noreste en la comunidad Villa 15 de Julio existe varios pozos con temperaturas entre 30 °C y 40 °C y algunos pozos con anomalías térmicas mayores, el uso principal para estas fuentes de agua geotermales es la ganadería y agricultura.

Los fluidos geotermales representan el medio de reacción por excelencia, que permite que los componentes de un sistema interactúen entre sí y sean transportados para interactuar con los otros sistemas (Ellis y Mahon, 1977; Giggenbach, 1997). Los estudios previos de aguas geotermales muestran que altas concentraciones de compuestos iónicos disueltos modifican las propiedades químicas y físicas de los mantos acuíferos, la caracterización de estas aguas resulta útil para comprender la actividad volcánica en la zona de estudio así como, también, se puede informar a la población sobre el uso adecuado de estas fuentes de agua.

Para la caracterización y seguimiento en el cambio de aguas geotermales se aplican varias técnicas de mediciones y análisis químicos y físicos (las mediciones de temperatura, pH, conductividad eléctrica, determinación de compuestos químicos en el agua) son las bases de los estudios.

Características geológicas

El área del volcán San Cristóbal-Casita se ubica en el sector SO de Nicaragua. Tectónicamente se encuentra en la parte meridional del bloque Chortis, que es una unidad de corteza principalmente continental perteneciente a la placa Caribe. Más precisamente el área se ubica al interior de la depresión nicaragüense, la cual es una amplia zona subsidente desarrollada paralelamente a la costa del Pacífico y a la Fosa Mesoamericana. Aquí se encuentra la cordillera volcánica cuaternaria, la cual es un segmento del arco volcánico Centroamericano y presenta una importante actividad en el complejo volcánico San Cristóbal-Casita (McBirney *et al.*; 1965; Weyl, 1980; Weinberg, 1992).

La historia geológica y evolución tectónica de la región occidental de Nicaragua ha sido estrictamente relacionada con la evolución geodinámica del margen continental Pacífico, caracterizado por la subducción de la placa oceánica Cocos debajo de la placa continental del Caribe (Weinberg, 1992).

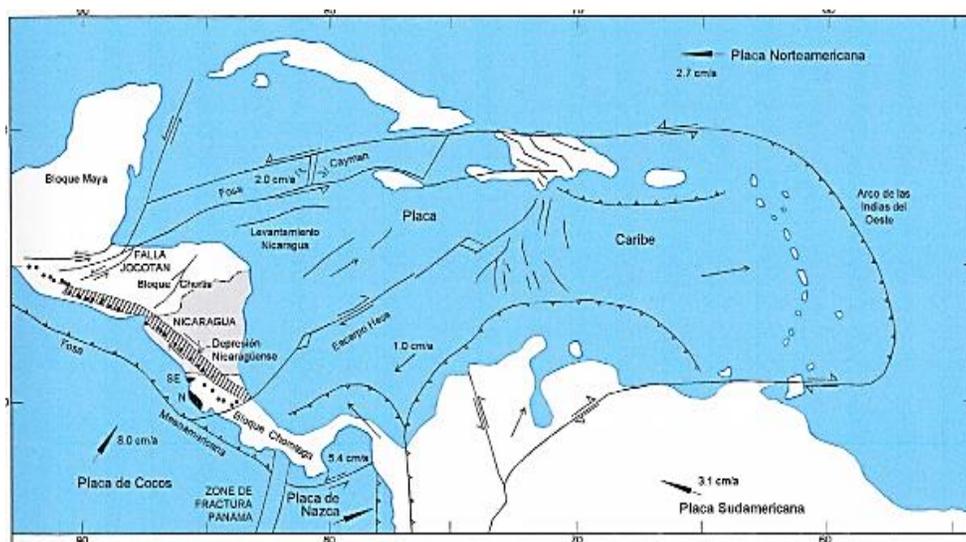


Figura 1. Esquema tectónico de la región y del Caribe (original de Weinberg, 1992)

La geología del área del volcán San Cristóbal-Casita está dominada por el edificio volcánico del mismo nombre, y por las condiciones impuestas por la depresión nicaragüense, dentro de la cual está situada el área. La mayor parte de las rocas expuestas en la superficie del área de estudio son de la edad Cuaternaria, constituidas principalmente por depósitos volcánicos recientes dentro del complejo volcánico. En varios sitios dentro y cerca del punto de estudio se encuentran expuestas rocas más antiguas. Las colinas bajas de ojo de Agua y Loma de San Lucas, localizadas al NE de la Caldera La Pelona, están compuestas de rocas volcánicas más antiguas, principalmente lavas de composición basáltica a andesítica.

Estas han sido asignadas al grupo Coyol, que en general ocupa un rango de edad del Mioceno al Pleistoceno temprano. Hanzlet (1977) considero estas rocas como parte del Coyol inferior, y por lo tanto pertenecientes a la parte más antigua de este rango; no obstante. OLADE (1981) considera que son más recientes, basándose en su analogía con exposiciones similares en NO del complejo San Cristóbal-Casita. Las rocas del grupo Coyol están expuestas más extensamente al NE del área de estudio, en la zona que incluye el distrito de Mina El Limón.

Al NO se observan afloraciones diseminados de rocas del grupo Coyol, a lo largo del eje de la cordillera los Marribios. Hanzlett (1979) describió estas rocas como andesitas, dacitas, basaltos y aglomerados, tanto del coyol inferior como del Coyol superior. Los depósitos del complejo se sobreponen a las formaciones volcánicas más antiguas, y probablemente en algunos sitios se sobreponen a sedimentos aluviales de la edad Cuaternaria.

A juzgar por las rocas actualmente expuestas dentro de la zona, los depósitos del complejo activo consisten principalmente de lavas, depósitos piroclásticos localizados y depósitos del tipo lahar. Depósitos piroclásticos mas diseminados, incluyendo capas de pómez, parecen estar asociados con la Caldera La Pelona, aunque no son del tipo de la actividad volcánica del complejo (McBirney, 1955, Hanzlett, 1977).

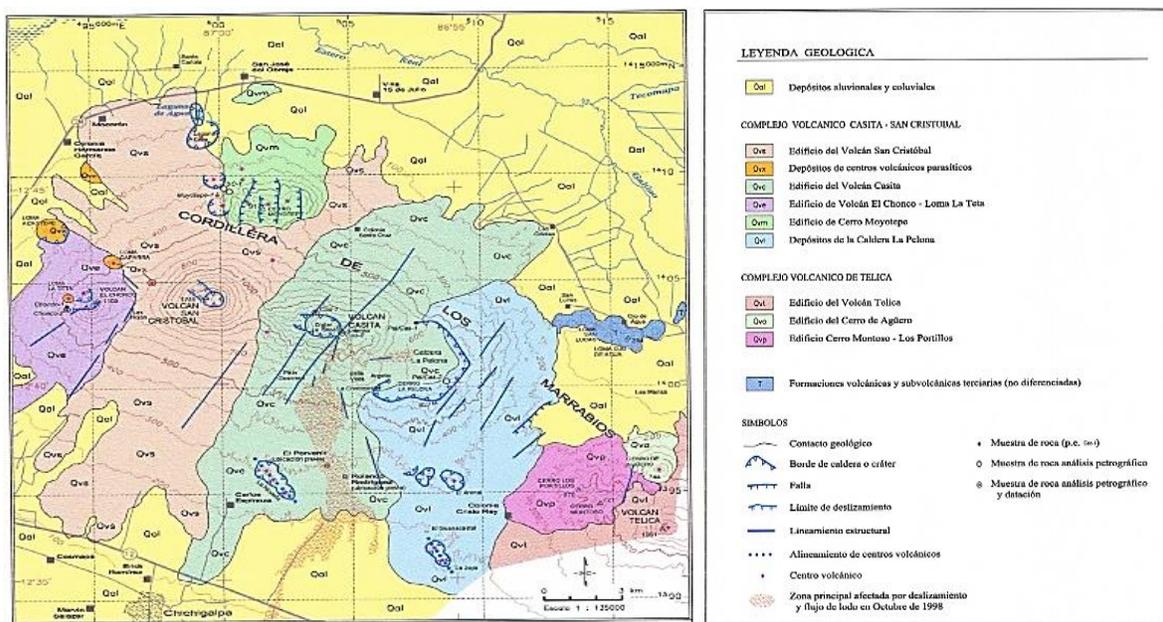


Figura 2. Esquema geológico del área Volcán San Cristóbal-Casita, Nicaragua. (CNE, 2001) 2001).

METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS Y MUESTREO

Área de estudio de aguas termales volcán San Cristóbal Nicaragua

El área de estudio aproximada es de 239 km², incluyendo sectores cercanos al macizo volcánico, en particular hacia el sector N, NE donde existen pozos y manantiales con altas temperaturas entre la comunidad Villa 15 de Julio y Ojo de Agua conocidas como anomalías termales de Alsacia. El área incluye tierras agrícolas dedicadas a cultivos de caña de azúcar, maní, trigo, banano y otros cultivos para subsistencia de los pobladores, estas tierras también son utilizadas para la ganadería y se incluyen zonas altas próximas al volcán en la reserva natural san Cristóbal-Casita.

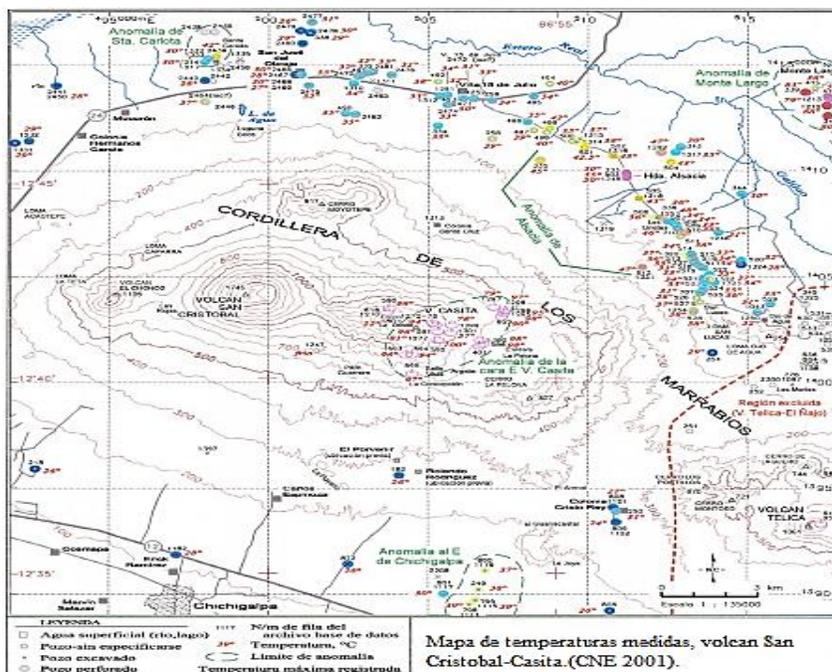


Figura 3. Mapa de temperatura medidas Volcán San Cristóbal-Casita, Nicaragua.(CNE 2001).

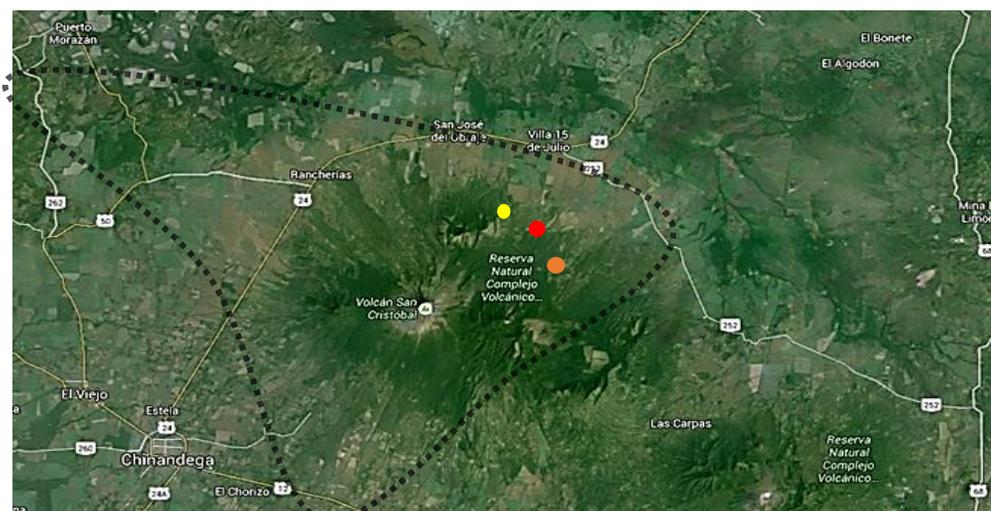


Figura 4. Área y puntos de muestreo en el complejo volcánico San Cristóbal-Casita (google earth, Mac OS X 10.6.0)



Nombre Del Sitio De Muestreo	Coordenadas	Altura Msnm
San Juan de Las Pencas	16P 0505740 UTM 1411714	43
Finca La Trinidad	16P 0512729 UTM 1411119	38
Las Grietas	16P 0512154 UTM 14007980	30

Tabla 1. Datos geográficos de los puntos de muestreo

Frecuencia de toma de muestras

El estudio se realizó en el periodo comprendido de octubre del 2014 a octubre del 2015, las muestras se tomaron cada mes con el fin de recopilar datos sobre el comportamiento de las fuentes termales según el cambio en la actividad del volcán San Cristóbal. Sin embargo los resultados mostrados corresponden a siete meses del periodo de estudio, puesto que en los meses restantes los datos son repetitivos.

Mediciones de campo

In situ se determinaron temperatura, pH y conductividad eléctrica de las muestras. Su recolección se hizo por duplicado en botellas de polietileno (nalgene) para su análisis en laboratorio.

Equipos, materiales y reactivos

El equipo utilizado es un Turbidímetro HACH 2100N Turbidimeter, un pH-metro Hann Hi 2216pH/ORP/ISE Meter, un calentador y agitador magnético 88-1 Stirring Hot Plate (Premier), la conductividad se midió con un conductímetro de campo LabQuest Vernier, para medir la temperatura en campo se utilizó una cámara termográfica FLIR i7, una termocupla THERMOMETER 350P, Espectrometro AAnalyst 700.

Los materiales y reactivos están especificados en el procedimiento de laboratorio. Las disoluciones patrones se prepararon a partir de soluciones de referencias certificadas. La balanza y los equipos volumétricos estaban calibrados.

Metodología

Los análisis fisicoquímicos se realizaron en el laboratorio de energías renovables y el laboratorio de agua de la UNAN- León, donde los analitos objeto de estudio fueron: Cloruros, Sulfatos, Bicarbonatos, Carbonatos, Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio.

Se aplicó el método argentométrico para la determinación de cloruros; método volumétrico que emplea nitrato de plata como valorante y cromato de potasio como indicador, que vira de color amarillo a rojo tras alcanzar el punto final de la reacción. El volumen gastado de nitrato de plata es proporcional a concentración de cloruros en la muestra.

El Sulfato se determinó por turbidimetría, método que consiste en una precipitación cuantitativa con cloruro de bario. La turbidez de sulfato de bario finamente dividido formado es proporcional a la cantidad de sulfato presente en la muestra, la lectura turbidimétrica permite que la concentración de sulfato se determine con precisión.

Los Bicarbonatos y Carbonatos se determinaron por complexometría, método volumétrico que emplea ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.02N como valorante, y naranjado de metilo y fenolftaleína como indicadores respectivamente.

Los cationes Ca, Mg, Na, y K se determinaron mediante Espectrometría de Absorción Atómica.

Para la interpretación de datos derivados de análisis hidroquímicos, comúnmente se utilizan diagramas incorporados en software como Aquachem y Diagrammes. En este estudio se utilizó el programa RockWareAq.QA.



Clasificación de aguas termales

Diagrama de Piper-Hill-Langelier

Es uno de los diagramas más utilizados. En él se incluyen aniones y cationes en forma simultánea. Este diagrama permite representar muchos resultados de análisis sin dar origen a confusiones. Las aguas geoquímicamente similares se agrupan en áreas bien definidas (Custodio 1965).

Este diagrama está formado por dos triángulos equiláteros, donde se representan los cationes y aniones mayoritarios. Los vértices del triángulo de cationes son: Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ , K^+ . Los vértices del triángulo de aniones son SO_4^{2-} , Cl^- y HCO_3^- . Los datos de los diagramas triangulares se proyectan en un rombo central en el que se representa la composición del agua deducida a partir de aniones y cationes. Las concentraciones de los iones dadas en meq/l se expresan como porcentaje con respecto a la suma de aniones y cationes respectivamente. En cada triángulo se reúnen solo tres aniones y tres cationes. A cada vértice le corresponde el 100% de un anión o catión.

Diagramas ternarios $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$

Los diagramas $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$ se emplean para la clasificación de los fluidos geotermales en base a las concentraciones de aniones mayoritarios (Cl , SO_4 , HCO_3) (Giggenbach, 1988). Usando este diagrama se pueden clasificar los tipos de aguas termales como: aguas maduras, aguas periféricas y volcánicas calentadas por vapor. Este diagrama es menos preciso que el diagrama de Piper pero es más fácil de usar y la información proporcionada es muy buena, tiene la ventaja de no prejuzgar los constituyentes, y las líneas de mezcla en el diagrama permanecen siempre como líneas rectas. La posición de los datos en el diagrama se obtiene sumando la concentración de los tres componentes involucrados (mg/kg) y posteriormente encontrando el % de cada uno de los componentes individuales.

$$S = C_{Cl} + C_{SO_4} + C_{HCO_3} \quad \text{EC 1}$$

A continuación, el porcentaje de cada uno de los tres aniones se puede calcular como:

$$Cl(\%) = \frac{100C_{Cl}}{S} \quad \text{EC 2.}$$

$$SO_4(\%) = \frac{100C_{SO_4}}{S} \quad \text{EC 3.}$$

$$HCO_3(\%) = \frac{100C_{HCO_3}}{S} \quad \text{EC 4.}$$

Diagramas de Scholler

Los diagramas de Schoeller también llamado- Spider se utilizan para clasificar los tipos de agua. También pueden ser utilizados para mostrar cambios en el tiempo para los diferentes tipos de agua. Las concentraciones de registro de componentes de fluidos de una serie de análisis están conectados con una línea. Debido a que se utilizan valores logarítmicos, se puede mostrar una amplia gama de concentraciones. El efecto de la mezcla con agua diluida (así como ganancia o pérdida de vapor de agua) se puede observar al moverse las líneas conectadas verticalmente sin cambiar su forma (Truesdell, 1991). Los diferentes tipos de agua se mostrarán mediante el cruce de líneas.

Las pendientes de las rectas entre los constituyentes representan relaciones de concentración. Estos diagramas muestran el efecto de la mezcla en un número de componentes. Cuando se presentan muchos análisis, los patrones individuales pueden perderse, pero los patrones de mezcla seguirán claros.

La visualización de la concentración (ppm o meq/L) de los diferentes iones no es directa al utilizar la escala semilogarítmica. Todos los iones se representan en el eje x, cationes a la izquierda y aniones a la derecha. Es apropiado para estudiar evoluciones temporales de aguas en un mismo punto y variaciones composicionales en muestras de diferentes localidades.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las aguas termales de la finca San Juan de las Pencas presenta variaciones de temperatura no muy altas comparadas con la temperatura ambiente del sitio, las temperaturas de esta fuente de agua oscilan entre 34.1° y 38°C con pH aproximadamente neutro entre 6.72 y 7.2 y con conductividad eléctrica baja para aguas termales, también presenta aguas de tipo sodio-bicarbonatada, con concentraciones de sodio entre 93 y 147 mg/l y bicarbonatos con alcalinidad de 125 a 342 mg/l.

El agua de la finca La Trinidad es la que presenta las mayores anomalías térmicas con temperaturas entre 53° y 55°C, con pH ligeramente ácido entre 6.58 y 6.75 y aguas tipo Na-HCO₃, con concentraciones de sodio de 115 a 179 mg/l y bicarbonatos entre 118 y 246 mg/l.

En la finca las grietas el agua presenta temperaturas entre 42° y 44°C con pH entre 7.2 y 8.16 aguas que van de neutras a ligeramente alcalinas sin muchas variaciones significativas con respecto a las otras fuentes de aguas.

En las tablas 1, 2 y 3 se muestran los resultados de los análisis químicos y los parámetros medidos en el campo. (Finca san juan de las pencas, la trinidad y las grietas)

Tabla 2. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras de la finca San Juan de Las Pencas durante el estudio

Sample ID	text	San Juan de las Pencas							
Date	Date	22/10/2014	26/11/2014	24/6/2015	25/6/2015	28/7/2015	26/8/2015	17/9/2015	26/10/2015
Calcium	mg/L	18.72	14.73	0	0.229	2.78	0.67	0.824	0.202
Magnesium	mg/L	2	3.21	3	0.3	1	0.2	0.3	0.1
Sodium	mg/L	126.8	110.4	139.3	128.3	93.8	148	134.8	147.4
Potassium	mg/L	4.63	3.68	6.26	3.99	6.44	1.7	2.99	1.54
Bicarbonate	mg/L	132	147.2	133.2	135.4	317.9	125	118.3	342
Sulfate	mg/L	49.78	54.55	56.3	66.1	41.4	44.41	47.88	75
Chloride	mg/L	53.88	45.8	49.9	42.5	35.02	32.33	37.71	37.72
Dissolved Solids	mg/kg								
Conductivity	µmho/cm	560	519	543	519	430	570	496	736
pH	pH	8.32	8.35	7.85	7.44	7.81	7.33	7.25	7.77
Boron	mg/L	0.4563	1.325	0	1.066	0.05705	0.6477	0.6052	1.291
Carbonate	mg/L	26	28	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cobalt	mg/L	4.00E-04	2.00E-04	3.00E-04	4.00E-04	5.00E-04	0.001	6.00E-04	9.00E-04
Copper	mg/L	5.00E-04	0.0042	0.0051	0.0027	0.0045	0.0032	0.0036	0.0013
Iron	mg/L	0.013	0.011	0.02	0.015	0.023	0.023	0.005	0.025
Temperature	°C	36.1	34.1	36	35.4	37	38	37.6	36.9

Tabla 3. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras de la finca Las Grietas durante el estudio

Sample ID	text	Las Grietas							
Date	Date	22/10/2014	26/11/2014	24/6/2015	25/6/2015	28/7/2015	26/8/2015	17/9/2015	26/10/2015
Calcium	mg/L	2.16	2.56	3.12	2.56	2.14	5.63	3.66	2.84
Magnesium	mg/L	0.56	1.23	0.23	0.79	0.56	2.65	0.45	0.95
Sodium	mg/L	123	95.6	104.4	103.1	118.4	105.7	106.7	108.9
Potassium	mg/L	4.36	7.89	5.6	3.56	4.56	5.12	3.45	4.41
Bicarbonate	mg/L	184	182.5	189.6	192.3	198.7	177.5	165	180
Sulfate	mg/L	44.19	49.22	46.9	45.66	45.53	48.99	50.78	52.19
Chloride	mg/L	29.63	26.94	29.64	27.7	29.63	35.02	32.33	26.94
Dissolved Solids	mg/L								
Conductivity	µmho/cm	476	458	467	458	468	469	455	466
pH	pH	7.2	8.16	7.56	7.45	7.14	7.56	7.48	7.59
Carbonate	mg/L	n.d.							
Temperature	°C	42	43	43.6	42.5	44	43.5	42.4	43

Sample ID	text	La Trinidad							
Date	Date	22/10/2014	26/11/2014	24/6/2015	25/6/2015	28/7/2015	26/8/2015	17/9/2015	26/10/2015
Calcium	mg/L	2.7	16.8	14.3	11.32	0.452	0.369	0.56	0
Magnesium	mg/L	3	3.2	2.96	3.58	0.2	0.16	0.23	1
Sodium	mg/L	135.3	127.9	136.8	115.4	126.1	179.1	156.1	121
Potassium	mg/L	7.92	2.06	3.4	6.44	5.81	6.69	6.09	6.86
Bicarbonate	mg/L	166.3	144.3	118.3	142	246.4	170.4	160	209
Sulfate	mg/L	72.49	62.38	57.88	75	73.25	78.84	80.41	40.06
Chloride	mg/L	18.85	10.77	37.71	37.72	26.96	29.63	26.94	72.74
Dissolved Solids	mg/kg								
Conductivity	µmho/cm	555	528	523	546	555	623	580	546
pH	pH	8.26	8.44	7.25	7.77	7.58	7.2	7.19	7.55
Boron	mg/L	0.5111	1.929	0.8764	1.244	0.3457	1.648	1.416	0.4191
Carbonate	mg/L	n.d	19.2	n.d	n.d	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Cobalt	mg/L	5.00E-04	7.00E-04	6.00E-04	9.00E-04	4.00E-04	7.00E-04	2.00E-04	7.00E-04
Copper	mg/L	0.005	0.007	0.0036	0.0013	0.0042	0.0039	0.005	0.0028
Iron	mg/L	0.014	0.009	0.005	0.025	0.007	0.013	0.001	0.016
Temperature	°C	54	53.1	54.8	53.7	53.4	55	54.5	53.1

Tabla 4. Resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras de la finca La Trinidad durante el estudio

Basándose en los análisis realizados las 3 fuentes de agua pertenecen a un mismo sistema hidrotermal conocido como anomalía de Alsacia con aguas del tipo Na-HCO₃, sus propiedades químicas y físicas son similares entre si y los diagramas de Giggenbach y Piper sugieren que pertenecen a un mismo sistema de aguas hidrotermales someras meteóricas calentadas por conducción por una fuente de calor asociada a la cámara magmática del volcán San Cristóbal, sin inyección de aguas volcánicas más profundas del tipo ion Cl⁻ predominante con pH neutro, y posiblemente son calentadas por gases volcánicos ricos en compuesto de azufre.

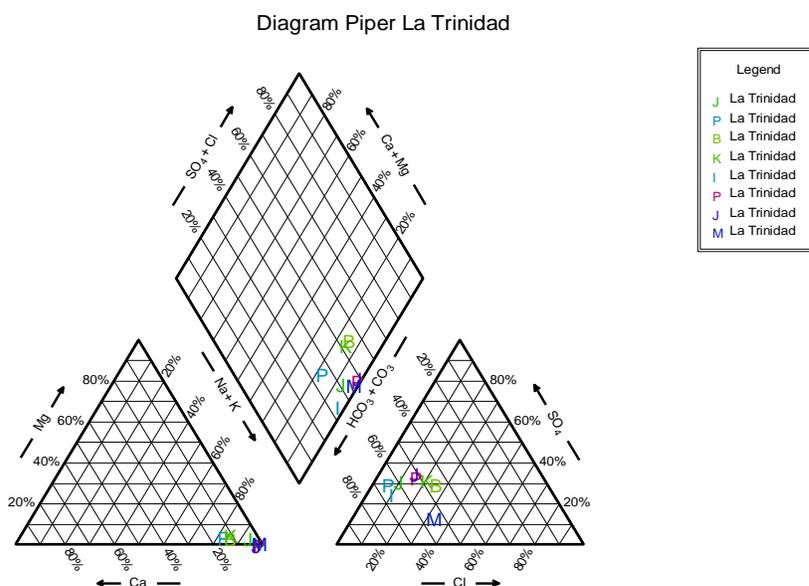


Figura 5. Diagrama de Piper de la finca La Trinidad

Caracterización de las aguas La Trinidad

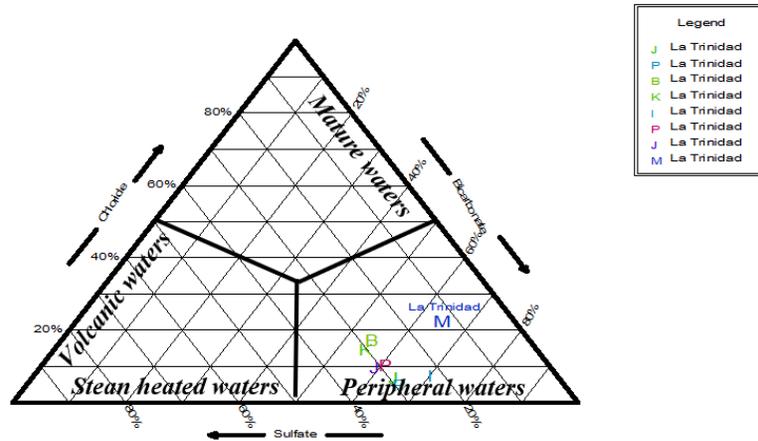


Figura 6. Diagrama ternario para finca La Trinidad

Diagram Schoeller La Trinidad

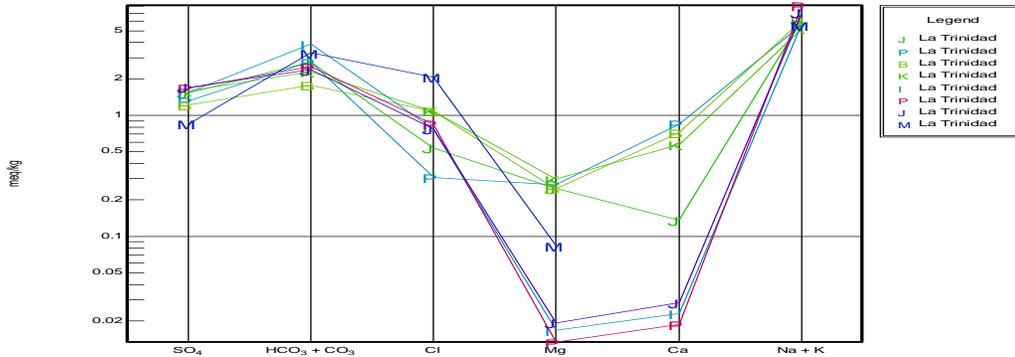


Figura 7. Diagrama de Shoeller, finca La Trinidad

Diagrama Piper San Juan de las Pencas

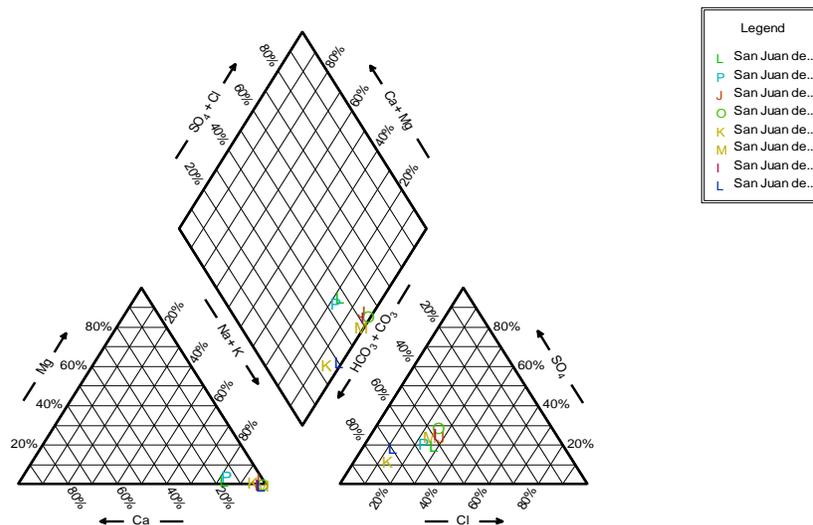


Figura 8. Diagrama de Piper de la finca San Juan de las Pencas

Caracterización de aguas san juan pencas

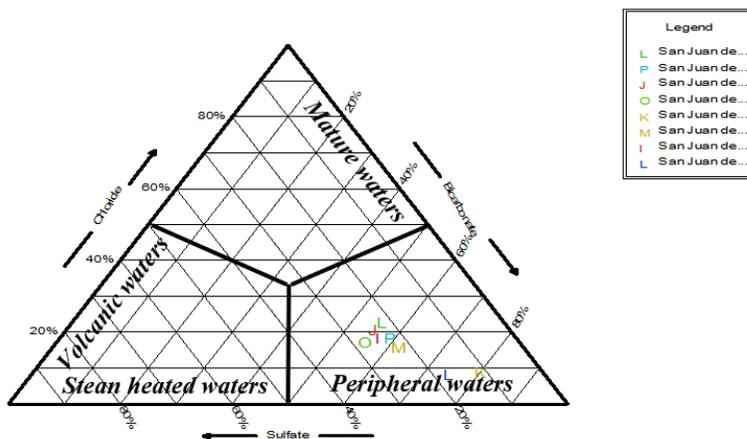


Figura 9. Diagrama ternario de la finca San Juan de las Pencas.

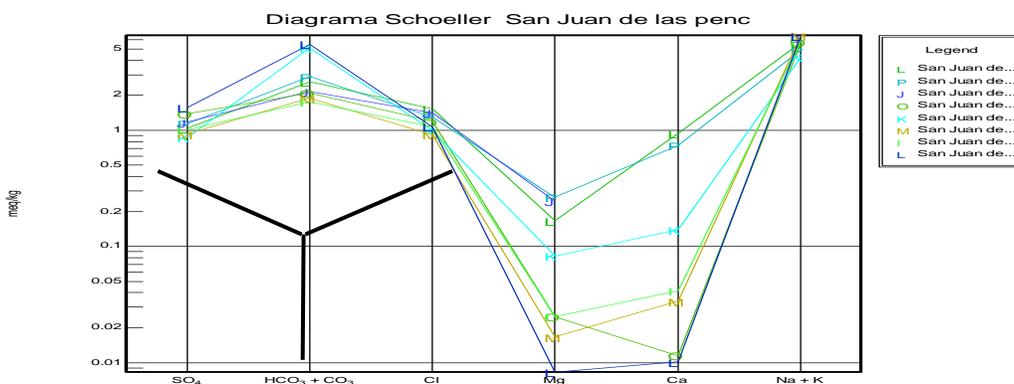


Figura 10. Diagrama Schoeller de la finca San Juan de las Pencas

Piper Diagram Las Grietas

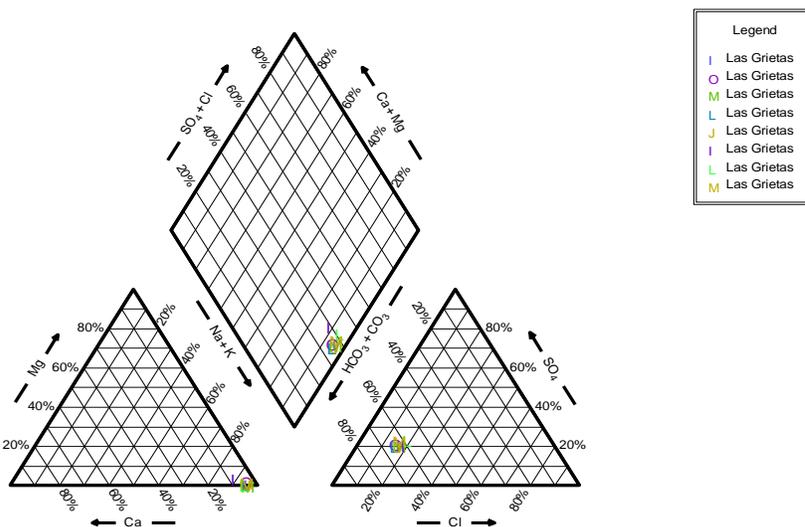


Figura 11. Diagrama de Piper, finca Las Grietas

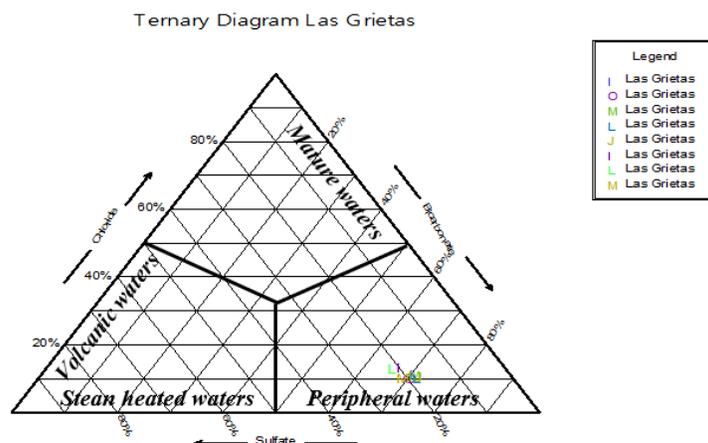


Figura 12. Diagrama ternario de la finca Las Grietas

Los diagramas de Piper de las muestras de agua de la finca San Juan de Las pencas, La Trinidad y las Grietas muestra aguas de tipo sodio-bicarbonatadas con intercambios de cationes en los procesos evolutivos geoquímicos de las aguas subterráneas meteóricas. Los diagramas ternarios indican que son aguas periféricas localizadas en el área de HCO₃. Las temperaturas de estas aguas según los diagramas se encuentran entre un rango de 40° a 60°C con valores de pH entre 6.88 a 8.45.

CONCLUSIONES

Los resultados de los análisis obtenidos por este estudio han demostrado que las aguas analizadas son predominantemente de origen meteórico las cuales han sido alteradas térmicamente por medio de un calentamiento conductivo por parte de una fuente de calor de origen magmático poco profunda.

De acuerdo a los estudios fisicoquímicos las aguas de san juan de las pencas muestran una composición química con alto contenido de bicarbonatos lo cual indica que son aguas someras poco profunda de origen meteórico, cabe mencionar que esta agua fue utilizada en su momento como agua de consumo humano y en la actualidad es un pozo abandonado.

En el caso de las muestras de la trinidad es un agua que es usada para la agricultura y la ganadería, se pudo observar que esta agua presenta una anomalía térmica con una temperatura promedio de 55°C.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CNE, Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua, Vol. 3, Disponible en.
<http://www.mem.gob.ni/media/file/DIRECCION%20DE%20RECURSOS%20ENERGETICOS%20RENOVABLES/GEOTERMIA/Plan%20Maestro%20Geot%C3%A9rmico%20de%20Nicaragua/vol%20III%20-%20Volcan%20Casita%20-%20San%20Cristobal.pdf>
Acceso el 12 de octubre del 2014.
- GIGGENBACH, WF., (1986), *Graphical techniques for the evaluation of water/rock Equilibration conditions by use of Na, K, Mg and Ca contents of discharge Waters*. Proc. 8th NZ Geothermal Workshop.
- Giggenbach, W.F., 1988: Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52, 2749-2765.
- GEORGSSON, LS., (2005), *Geothermal Training in Iceland*, Orkustofnun, pp. 333-351.
- HANZLETT, R.W., (1977), *Geology and hazards of the San Cristobal volcanic complex, Nicaragua*, Thesis (Master de Arts)-Dartmouth College, Hanover, NH., USA.
- HANZLETT, R.W., (1987), "Geology of the San Cristobal volcanic complex, Nicaragua", *Journal of volcanology and Geothermal Research*, vol. 33, No. 1-3, p 223-230.
- MCBIRNEY, A.R. y H. WILLIAMS, (1965), *Volcanic history of Nicaragua*, University of California Publications in Geological Sciences, Vol, 55, p145-154
- MCBIRNEY, A.R., (1955), *The origen of the Nejapa Pist near Managua*, *Bulletin of Volcanology*, Vol, 17, pp.145-154.
- WEYL, R., (1980), *Geology of Central America*, Gebrüder Borntraeger, Berlin y Stuttgart, Germany.
- WEINBERG, R.F., (1992), *Neotectonic development of western Nicaragua*, *Tectonics*, Vol. 11, No. 5, pp. 1010-1017.
- OLADE, (1981), *Estudio de reconocimientos de los recursos geotérmicos de la Republica de Nicaragua*, Informe final, Diciembre 1981. OLADE- Organización Latino Americana de Energía.
- OLADE, (1981), *Estudio de reconocimientos de los recursos geotérmicos de la Republica de Nicaragua*, Informe geofísico, Diciembre 1981. OLADE- Organización Latino Americana de Energía.
- OLADE, (1981), *Estudio de reconocimientos de los recursos geotérmicos de la Republica de Nicaragua*, Informe geoquímico, Diciembre 1981. OLADE- Organización Latino Americana de Energía.
- CUSTODIO, E. (2001), Hidroquímica. En: CUSTODIO, Emilio y LLAMAS, Manuel. Hidrología subterránea, segunda edición. Barcelona: Ediciones Omega, .pp. 1007 – 1095.
- Truesdell, A.H., 1991: Effects of physical processes on geothermal fluids. In: D'Amore, F. (coordinator), Application of geochemistry in geothermal reservoir development. UNITAR/UNDP publication, Rome, 71-92.
- ZHONG-HE, P., ARMANNSSON, H. (2006) *Analytical Procedure and Quality Assurance for Geothermal Water Chemistry*, Orkustofnun, The United National University, p. 24.
- AGUSTO, M., CASELLI, A., TASSI, F., DOS SANTOS AFONSO, M. y VASELLI, O. Seguimiento Geoquímico de las aguas ácidas Del sistema volcán Copahue-Río Agrijo:
Posible aplicación para la identificación de Precursores eruptivos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, citada el 03 de marzo del 2015. URL: <http://ppct.caicyt.gov.ar/index.php/raga/article/view/1520>