

“CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE FLUIDOS
GEOTERMALES PARA LA GENERACIÓN DE
ENERGÍA GEOTÉRMICA, EL EDÉN, LA
LIBERTAD - 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autores:

Brayan Jushein Encarnacion Ruiz

Yuri Melissa Novoa Lucano

Asesor:

Mg. Ing. Miguel Ricardo Portilla Castañeda

<https://orcid.org/0000-0002-3676-7137>

Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Daniel Alejandro Alva Huamán	43006890
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Rafael Napoleón Ocas Boñón	42811302
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Wilder Chuquiruna Chávez	41245114
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi madre Silvia, pues sin ella no lo había logrado,
gracias por ayudarme a cumplir esta gran meta de mi vida.

A mi hermano Diego y demás familiares que creyeron
en mí. Para ustedes también dedico mi trabajo.

Brayan Encarnacion

A Dios, por darme la fuerza para culminar esta meta, a mis padres, por
brindarme su apoyo moral y motivarme a seguir hacia adelante.

Finalmente, a mis hermanos, quienes me hacían reaccionar
cuando pensaba que no podía continuar

Melissa Novoa

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado la vida y sabiduría, gracias por haberme acompañado a lo largo de mi vida. A nuestro asesor quien nos ha guiado en el proceso, si bien es cierto no ha sido nada fácil, sin embargo, gracias a su conocimiento prestado, esto ha parecido menos dificultoso. Finalmente, a todos los docentes por impartirme sabiamente sus conocimientos y a mi alma mater la Universidad Privada del Norte.

Brayan Encarnacion

A mi familia en general, por el apoyo desde un inicio de mi vida. Quiero agradecerles por todo y expresar lo orgullosa que me hace sentir de tener una familia tan asombrosa. Agradecer a los docentes de la carrera de Ingeniería Geológica de la Universidad Privada del Norte, por sus conocimientos prestados y su apoyo constante.

Melissa Novoa

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad problemática	10
1.2. Formulación del problema	12
1.3. Objetivos	13
1.3.1. Objetivo general	13
1.3.2. Objetivos específicos	13
1.4. Hipótesis	13
1.4.1. Hipótesis general	13
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	14
CAPÍTULO III: RESULTADOS	38
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	66
REFERENCIAS	72
ANEXOS	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ficha de recolección de datos	17
Tabla 2. Etiqueta de muestreo	18
Tabla 3. Coordenadas del sector geotermal.....	35
Tabla 4. Datos de accesibilidad a las aguas termales El Edén.....	36
Tabla 5. Química del sinter de la fuente termal.....	38
Tabla 6. Temperatura de los tres pozos geotermales	48
Tabla 7. Parámetros químicos de los fluidos geotermales El Edén.....	52
Tabla 8. Parámetros Físicoquímicos de El Edén	54
Tabla 9. Análisis químicos y relaciones Iónicas	55
Tabla 10. Clasificación de los fluidos geotermales en El Edén	62
Tabla 11. Clasificación de yacimientos por entalpia	64
Tabla 12. Clasificación de El Edén según la entalpia de yacimientos geotérmicos.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cadena custodia	19
Figura 2. Material de muestreo para agua.....	21
Figura 3. Preparación para la toma de muestras de agua	22
Figura 4. Recolección de muestra	23
Figura 5. Se agrega ácido sulfúrico concentrado (H ₂ SO ₄)	24
Figura 6. Se sella el depósito de muestra	25
Figura 7. Codificación de muestras en las aguas de El Edén.....	26
Figura 8. Finalización de muestreo.....	27
Figura 9. Toma de temperatura con termómetro digital	28
Figura 10. Toma de temperatura del pozo geotermal	29
Figura 11. Diagrama de Piper-Hill Langellie.....	31
Figura 12. Diagrama de Schoeller-Berkaloff	32
Figura 13. Diagrama SAR	33
Figura 14. Interfaz Easy Quim v5.0.....	34
Figura 15. Llenado de datos en Easy Quim v5.0.....	34
Figura 16. Mapa de ubicación	37
Figura 17. Colina sinter de la fuente termal El Edén	39
Figura 18. Mezclas de capas delgadas de lutitas grises	40
Figura 19. Arenisca con estratificación paralela	41
Figura 20. Mapa geológico a nivel local.....	44
Figura 21. <i>Plegamiento anticlinal</i>	45
Figura 22. <i>Coloración de la fuente termal debido a la temperatura</i>	46
Figura 23. Temperaturas promedio percibidas	47
Figura 24. <i>Termómetro digital</i>	48
Figura 25. <i>Toma de temperaturas de los fluidos geotermales (1 pozo)</i>	49
Figura 26. <i>Toma de temperatura de los fluidos geotermales (2 pozo)</i>	50
Figura 27. <i>Toma de temperaturas de los fluidos geotermales (3 pozo)</i>	51
Figura 28. Análisis químico y relaciones iónicas.....	56

Figura 29. Características químicas de los fluidos don el diagrama de Piper.....	57
Figura 30. Representación de datos utilizando el diagrama de Piper.....	58
Figura 31. Diagrama de Scholler-Berkaloff	59

RESUMEN

El sector de estudio se encuentra ubicado en el departamento de La Libertad. En un área, donde emergen fluidos geotermales. Se tiene como objetivo general determinar las características geoquímicas de fluidos geotermales para la generación de energía geotérmica en El Edén, La libertad; para ello se consideró análisis fisicoquímicos y la toma de temperatura. El estudio se inició con la toma de temperatura de los fluidos termales usando un termómetro digital, paso seguido se tomó muestras de los fluidos, para su análisis de parámetros químicos en el Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca. Con el análisis de los resultados de campo y laboratorio se realizó el estudio fisicoquímico mediante el software Easy Quim v0.5 y así determinar la clasificación del tipo de agua. Los resultados clasificaron a los fluidos geotermales de El Edén como cloruradas – sódicas con un contenido mayor de Cl, sumada a esta el rango de temperatura obtenida de 59°C. Finalmente se llegó a la conclusión que la caracterización geoquímica de fluidos geotermales permitió determinar la generación de energía geotérmica en El Edén, gracias a los estudios fisicoquímicos y de temperatura.

PALABRAS CLAVES: Caracterización geoquímica, energía geotérmica, fluidos geotermales.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Los fluidos geotermales, a pesar de venir siendo utilizados en fines térmicos desde hace siglos como; curas balnearias, baños turcos, termas romanas etc., es incluso incierta, pero no por ello está desprovista de un gran potencial. A diferencia de la mayoría de las fuentes de energía renovables, la geotérmica no tiene su fuente en la radiación del Sol sino en la diferencia de temperaturas que existe en el interior de la Tierra y la superficie. (Angulo, 2012). La obligación de crear nuevas fuentes de energía y no causar impactos negativos o significativos en el medio ambiente se ha hecho evidente en las últimas décadas, no basta con generar energía quemando crudo, ya que es imperante el estudio y el aprovechamiento de nuevas fuentes de energía que se caractericen por ser limpias. (Ramos, 2015).

Siendo así el uso de energía geotérmica un importante recurso energético cuya explotación tiene un impacto ambiental relativamente insignificante demostrando ser rentable en muchos países, donde la geología, las condiciones hidrológicas y geoquímicas son favorables, para la formación de sistemas geotérmicos. Los recursos geotérmicos representan solo una parte muy pequeña del consumo de energía actual del mundo. Sin embargo, son de gran importancia económica en muchos países en desarrollo, (Arnórsson, 2000). De la misma forma, es referente indicar que nuestro país si bien cuenta con la capacidad geotérmica, la insipiente reglamentación y la falta de expertos nacionales prolonga la consecución de autorizaciones y concesiones para la explotación de los recursos geotérmicos del suelo y subsuelo del territorio nacional, de este modo se debe promover las inversiones en la generación de energías limpias. (Ramos, 2015).

El país cuenta con un considerable potencial geotérmico, pues se ubica geográficamente dentro del cinturón de fuego del Pacífico, caracterizándose por la presencia de volcanes activos como el Ticsani, Sabancaya, Misti y entre otros volcanes inactivos, aguas termales y géiseres (Minem, 2013). El Plan Maestro para el Desarrollo de la Energía Geotérmica en el Perú, calcula que existe un gran potencial de recursos geotérmicos aptos para la generación de energía geotérmica en el Perú. (Ramos, 2015).

Según estudios realizados por él (INGEMMET, 2019) se logró registrar 345 fuentes termales y minerales en el proyecto denominado “Plan Maestro para la Energía Geotérmica en el Perú”. El estudio identifica las aguas termales más importantes en el norte y centro del país, describiendo estas aguas como bicarbonatadas, cloradas y sulfatadas; con predominio de cloro en el norte y sulfatos y bicarbonatos en el centro. Teniendo como objetivo principal evaluar el potencial geotérmico, con el fin de suministrar agua caliente en la zona norte y centro del Perú. Concluyendo así que las fuentes termales del norte y centro se caracterizan por tener temperaturas de reservorio inferiores a las del sur, por lo que sus posibilidades de uso son para el desarrollo de balneología, y sólo algunas podrían ser utilizadas para el suministro de agua caliente para calefacción.

De manera que en el ámbito nacional se encuentra estudios como el de (Tapia, 2017), con su investigación: “Caracterización geoenergética de fuentes termales: Pasanacollo, Acora, Ollachea, Cuyo, Loripongo, y Puente bello”, donde tiene como objetivo principal comprender el tipo de fluidos geotérmicos de cada fuente geotermal, estudiando su pH, conductividad, temperatura y clasificación para luego poder compararlos con yacimientos similares ubicados en Islandia, Estados Unidos, etc. Mencionando también las diferentes tecnologías que se utilizan para la generación de

energía, con ello poder hacer la caracterización geoenergética, para la generación de energía geotérmica. Logrando, así como conclusión que las fuentes termales de estudio, son adecuadas para la generación de energía geotérmica, utilizando la tecnología del ciclo binario cerrado.

A nivel local se muestra un estudio como el caso de (Huamaní, 2000), donde tiene como objetivo evaluar las posibilidades de utilización de las fuentes termales como establecimientos de balnearios y lugares ecoturísticos. Logrando identificar a los fluidos geotermales El Edén como aguas que brotan en forma de fuentes, pertenecientes a las aguas cloruradas con una temperatura entre 58 °C y 67 °C. De esta manera se llegó a la siguiente conclusión que la zona de estudio de El Edén no es apta para proporcionar un potencial geotérmico para la generación de energía eléctrica, excepto en aplicaciones que se pueden utilizar para agua caliente y calefacción. A si mismo, este es un recurso termal potencial para el desarrollo de complejos balnearios.

Esta investigación está orientada a comprender la caracterización geoquímica de fluidos geotermales para la generación de energía geotérmica en El Edén, La Libertad. La generación de este tipo de energía se presenta como sostenible y limpia para su producción, la cual es amigable con el medio ambiente.

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son las características geoquímicas de los fluidos geotermales para la generación de energía geotérmica en El Edén, La Libertad?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la caracterización geoquímica de fluidos geotermales para la generación de energía geotérmica en El Edén, La Libertad - 2022.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el sector geotermal de estudio desde una perspectiva geoquímica, la cual nos ayudara en identificar su potencial energético.
- Describir las características litológicas y geología local del sector estudiado.
- Estimar las temperaturas de los fluidos geotermales que se encuentran en el yacimiento geotermal El Edén.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La caracterización geoquímica de fluidos geotermales permitirá determinar la generación de energía geotérmica, mediante análisis fisicoquímicos, permitiendo así obtener la clasificación de estas aguas, así como también la toma de temperatura determinará a cuantos °C se encuentran los fluidos geotermales de El Edén.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada, pues busca el manejo de los conocimientos alcanzados, así como también se adquieren otros, después de llevar a cabo y organizar la práctica basada en investigación. (Murillo, 2008). Según su alcance es correlacional, donde se utiliza como intención conocer la lista existente entre dos variables mediante un patrón presumible para un grupo de pobladores. Según, (Monje, 2011), existen dos tipos de enfoques de investigación, cuantitativos y cualitativos, por lo tanto, debido a la naturaleza de este estudio se estableció el cuantitativo, pues emplea la recopilación y el análisis de datos. La manipulación en sus variables es no experimental de corte transversal, porque se fundamenta en la indagación. (Rodríguez, 2016).

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

Fluidos geotermales El Edén, La Libertad.

2.2.2. Muestra

Tres pozos de muestreo de los fluidos geotermales El Edén, para la toma de temperatura.

2.3. Materiales, instrumentos y métodos

2.3.1. Materiales de muestreo

- Libreta de campo
- Plano de localización
- Lapiceros de colores
- GPS
- Cámara fotográfica

- Frascos estériles
- Ice Pack
- Cooler
- Guantes quirúrgicos
- Termómetro digital
- Picota

2.3.2. Técnica

2.3.2.1. Observación directa

Es un método de recopilación de datos sobre una situación en específico. Se distingue por el hecho de que los investigadores estuvieron en el lugar donde ocurrió el evento, sin ninguna intervención y sin cambiar el entorno. (Diaz, 2011). Para esta investigación se optó por la observación no participante ya que en esta se recopila los datos desde el exterior sin interferir con grupos sociales, hechos y eventos.

2.3.2.2. Análisis documental

Las funciones de los análisis documentales son dinámicas y para comprenderlas se debe permitir que el contenido de un documento original se difiera, lo que da como resultado la creación de nuevos documentos.

2.3.3. Instrumentos

2.3.3.1. Ficha de observaciones

Se utiliza cuando el investigador procura calcular el objetivo; por ejemplo, para lograr una búsqueda más específica del objeto; esta se direcciona a evaluar una población preestablecida, con indicadores y posiciones preestablecidos.

2.3.3.2. Cuaderno de campo

En el cuaderno de campo se documentan registros principales del objeto de estudio. A menudo se utiliza como instrumento para documentar, observaciones, opiniones o ideas descubiertas por los investigadores. (Arias et al., 2022).

2.3.3.3. Ficha de registro documental

En esta ficha se debe demostrar que el análisis es un proceso observacional y de carácter epistemológico realizado por el investigador. El registro permite recopilar datos e información de las fuentes que se haya consultado y los registros se elaboran y diseñan teniendo en cuenta la información requerida para el estudio. (Arias et al., 2022)

2.3.3.4. Herramientas Informáticas

Las herramientas informáticas utilizadas para el procesamiento de datos de laboratorio obtenidos de los fluidos geotermales de El Edén fueron las siguientes:

- Microsoft Excel
- Microsoft Word
- ArcGIS
- Easy Quim v5.0

2.3.4. Métodos

La finalidad de este estudio fue realizar la caracterización geoquímica de los fluidos geotermales de El Edén, analizando sus propiedades fisicoquímicas, y de temperatura, para la generación de energía geotérmica. Se presentan métodos y técnicas de recopilación y análisis de datos.

Los investigadores observan a primera vista y deben registrar todos los fenómenos presentes como; hidrotermalismos, características geológicas, afloramientos, etc. Para la recolección de datos se utilizan tablas, cadena de custodia y etiquetas proporcionados por el laboratorio regional del agua de Cajamarca, los cuales son los siguientes:

Tabla 1

Ficha de recolección de datos.

	FECHA	POZO	ESTACION
	COORDENADA	Norte	
	COORDENADA	Este	
		Temperatura	
		Entalpía	
		Tipo de agua	
		PH	
		Aniones	mg/l
		HCO ₃ ⁻	
		SO ₄ ⁻	
		CL ⁻	
		NO ₃ ⁻	
		Cationes	mg/l
		Na ⁺	
		K ⁺	
		Ca ⁺⁺	
		Mg ⁺⁺	

Nota. La tabla N°1, nos permite escribir los datos obtenidos en laboratorio y campo.

Tabla 2
Etiqueta de muestreo.

Laboratorio Regional del Agua - Cajamarca				Código del Cliente	
Etiquetas de Muestreo				ID Muestra	
Código de Laboratorio				Localización	
Parámetros Físicos - Químicos - Biológicos					
pH	Cloro	Oxígeno Disuelto	Nc. Totales	Alcalinidad	
Conductividad	Metales Totales	Nitrógeno	Nc. Termo	Ps. Aeruginosa	Fecha y Hora
Turbidez	Mercurio	Cn...	E. Coli		
Aniones	Dureza	Aceites Y Grasas	B. Hetero		
TDS	Metales disueltos	Sulfuros	O.V. L		Muestreador
Color	DQO	Cromo VI	Huevo y Larvas de Helimnitos		
TSS	DBO	Color	Formas parasitarias		

Nota. Esta etiqueta viene junto a los frascos de muestreo proporcionados por el Laboratorio regional del agua de Cajamarca.

En la Tabla N°2, se observa la información que debe ser recolectada por los muestreadores, donde llenan los datos que se le es permitido y los datos restantes por el laboratorio. Es indispensable el etiquetado para la identificación de las muestras

En la figura N°1, se aprecia una herramienta útil para el análisis en laboratorio de los fluidos geotermales. Esto nos garantiza un adecuado acondicionamiento para el registro de los resultados.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Etapa de Pre campo o Gabinete I

Este proceso de recopilación, es importante clasificar la información en diferentes criterios de búsquedas que cumplan una determinada elegibilidad. Empezando por la selección de diversas fuentes de estudio como; artículos, revistas, libros virtuales, tesis, entre otros, los cuales tengan relación con el trabajo de investigación, ayudándonos por diferentes bases de datos digitales como lo es; Scielo Alicia, Google académico, etc.

Seguidamente realizamos el proceso de exclusión e inclusión, revisando minuciosamente cada fuente de información usando palabras claves como: Energía geotérmica, Caracterización geoquímica, Fluidos geotermales, Hidrogeología.

2.4.2. Etapa de Campo

Esta etapa se inicia con el reconocimiento del sector de estudio, para luego identificar los tres pozos más representativos del yacimiento geotermal, paso seguido poder tomar muestra de las aguas termales. Con las indicaciones y protocolos que nos brindó el Laboratorio regional del agua de Cajamarca, se logró recolectar las aguas sin ser contaminadas. Los materiales alcanzados por el laboratorio fueron resistentes a altas temperaturas.

Figura 2

Material de muestreo para agua.



Nota. Material de muestreo proporcionado por el laboratorio.

En la figura N° 02 se puede observar el material de muestreo, brindado por el Laboratorio regional del agua de Cajamarca, siempre se estuvo asegurándose que el material no sufra ningún daño durante el muestreo hasta su trayecto al laboratorio.

Figura 3

Preparación para la toma de muestra de agua.



Nota. Se usa el equipamiento necesario para no contaminar las muestras.

Se aprecia en la figura N° 03, que antes de llevar a cabo el muestreo de los fluidos geotermales del pozo de estudio más representativo, se utilizaron guantes quirúrgicos desechables para evitar la contaminación de las muestras.

Figura 4

Recolección de muestra.



Nota. Se empezó a muestrear las aguas termales.

En la figura N° 04 se comienza con la acción de muestreo de los fluidos geotermales del pozo más representativo del yacimiento geotermal, para su respectivo análisis químico. Además, enjuagamos cada frasco tres veces para ser esterilizados con la misma agua del afloramiento.

Figura 5

Se agrega ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4).



Nota. Se coloca tres gotas de ácido sulfúrico para conservación.

En la figura N° 05 se observa un frasco pequeño, el cual su contenido sirve, para el análisis de las aguas. El laboratorio dio indicaciones que se debería colocar tres gotas de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) para la preservación de la muestra.

Figura 6

Se sella el depósito de muestra.



Nota. Recolección de muestras en El Edén.

En la figura N° 06 se procedió a sellar cada uno de los frascos al terminar de recolectar la muestra del afloramiento, cabe recalcar que el frasco debe presentar un llenado total.

Figura 7

Codificación de muestras en las aguas termales el Edén.



Nota. Recolección de muestras en El Edén

Se observa en la figura N° 07 la codificación de cada frasco. La codificación debe ser diferente según la muestra procesada.

Figura 8

Finalización de muestreo.



Nota. Se observa que al finalizar el muestreo el material se encuentra codificado y en buen estado.

En la figura N° 08 se observa que se concluye con la toma de muestra, para luego pasar a ser analizado en el Laboratorio regional del agua de Cajamarca.

Figura 9

Toma de temperatura con termómetro digital.

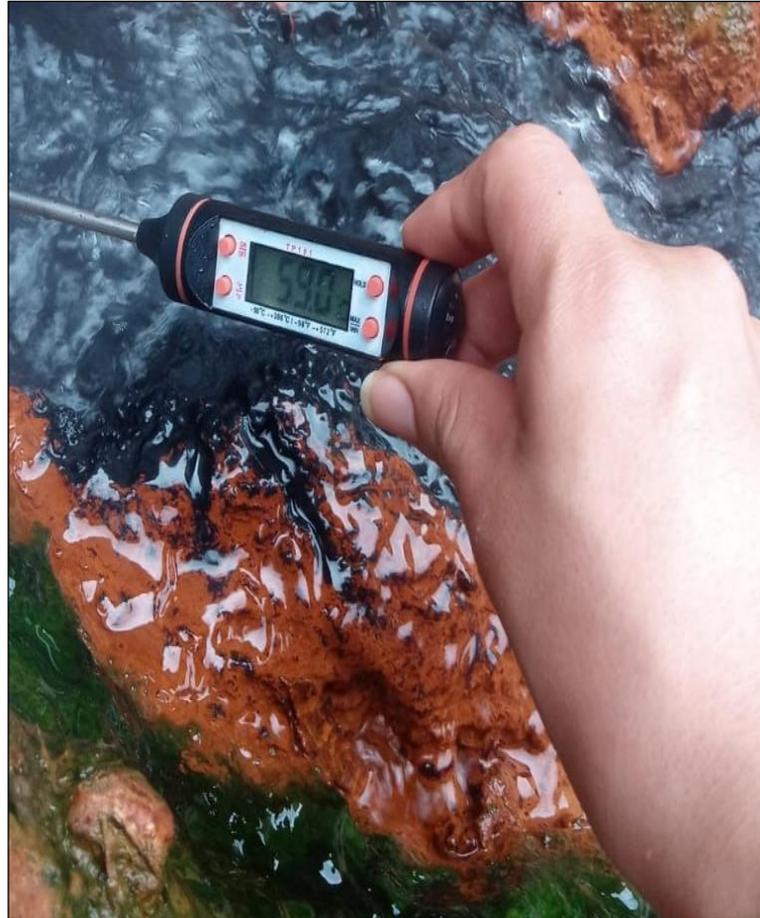


Nota. Con la ayuda del termómetro digital se realizó la toma de temperatura

Como último paso se tomó la medida de la temperatura de los fluidos geotermales en tres de los pozos más representativos del yacimiento geotermal usando un termómetro digital. (Fig. 9).

Figura 10

Toma de temperatura del pozo geotermal.



Nota. Se obtuvo la temperatura del pozo más representativo del
yacimiento geotermal.

Se puede observar la temperatura obtenida del pozo más representativo del
yacimiento geotermal. Así mismo esta temperatura fue la más alta obtenida en el
muestreo. (Fig. 10).

2.4.3. Etapa de Gabinete

La etapa de gabinete inicio en la primera semana de haber sido enviada la muestra al laboratorio, para ello se utilizaron los siguientes softwares para su respectiva elaboración:

- **ArcGIS**, Este software SIG, permite guardar, administrar y observar con precisión la información espacial en planos.
- **Cartas geológicas del INGEMMET**, Nos ayuda a obtener una macro referencia para los estudios geológicos en un área determinada.
- **Google Earth**, El software permite a los usuarios ver y analizar imágenes satelitales y aéreas 3D, que van desde grandes características geológicas hasta edificios urbanos.
- **Easy Quim v5.0**, Este software calcula balances químicos en representaciones graficas (Piper, Schöeller y Sar). Utilizado para apreciar el tipo de composición de agua es la que se encuentra en el fluido geotérmico de nuestra área de estudio.

2.4.4. Procesamiento de datos

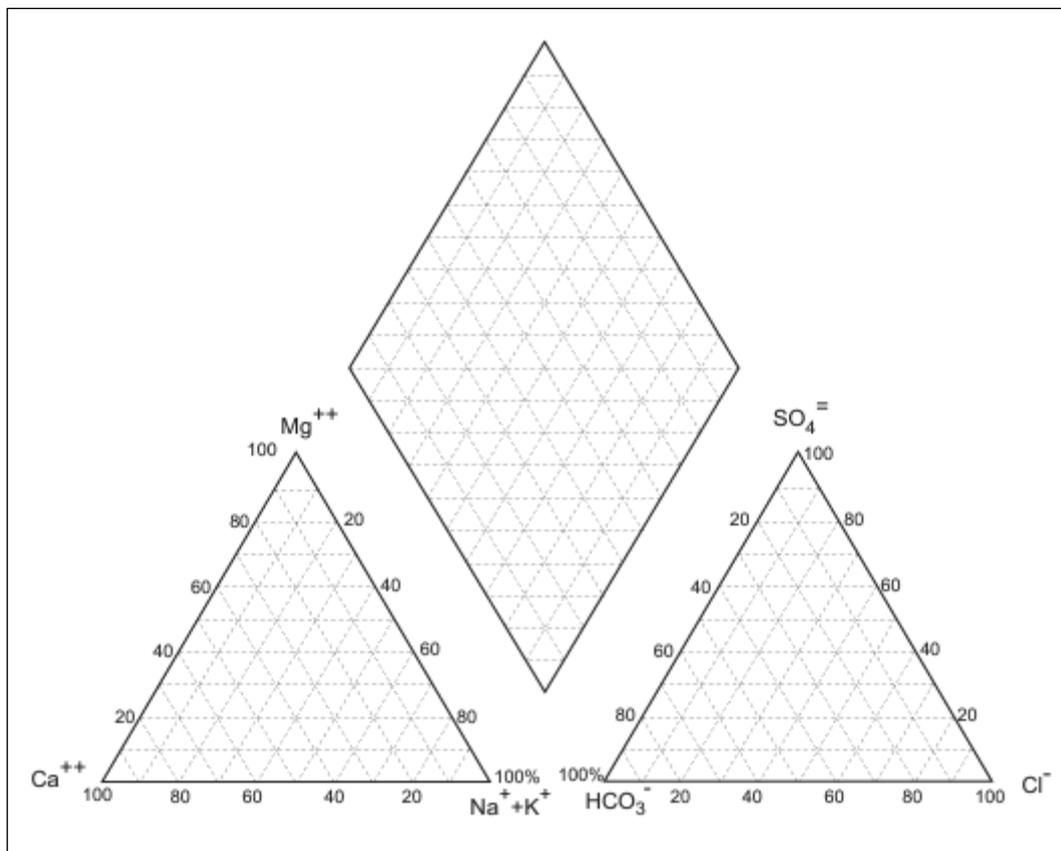
El procesamiento de base de datos de hidroquímica se desarrolló con diagramas calculados por el software de Easy Quim v5.0. Entre estos diagramas se incluye el Piper, Schoeller y Sar.

Diagrama de Piper: Este diagrama triangular permite representar las proporciones de tres componentes en la composición de un todo o sustancia. Está formado por dos triángulos con un rombo que recoge la información de ambos triángulos:

Los cationes ($\text{Na}^{++} + \text{K}^{+}$ sumados) están representados en uno de los triángulos, mientras que los aniones principales están representados en el otro triángulo. Como se muestra, los pasos de dos triángulos a un rombo son simples y muy fáciles. Por lo tanto, cada análisis está representado por tres puntos (dos triángulos y un rombo). (Sánchez, 2019).

Figura 11

Diagrama de Piper-Hill-Langellie.

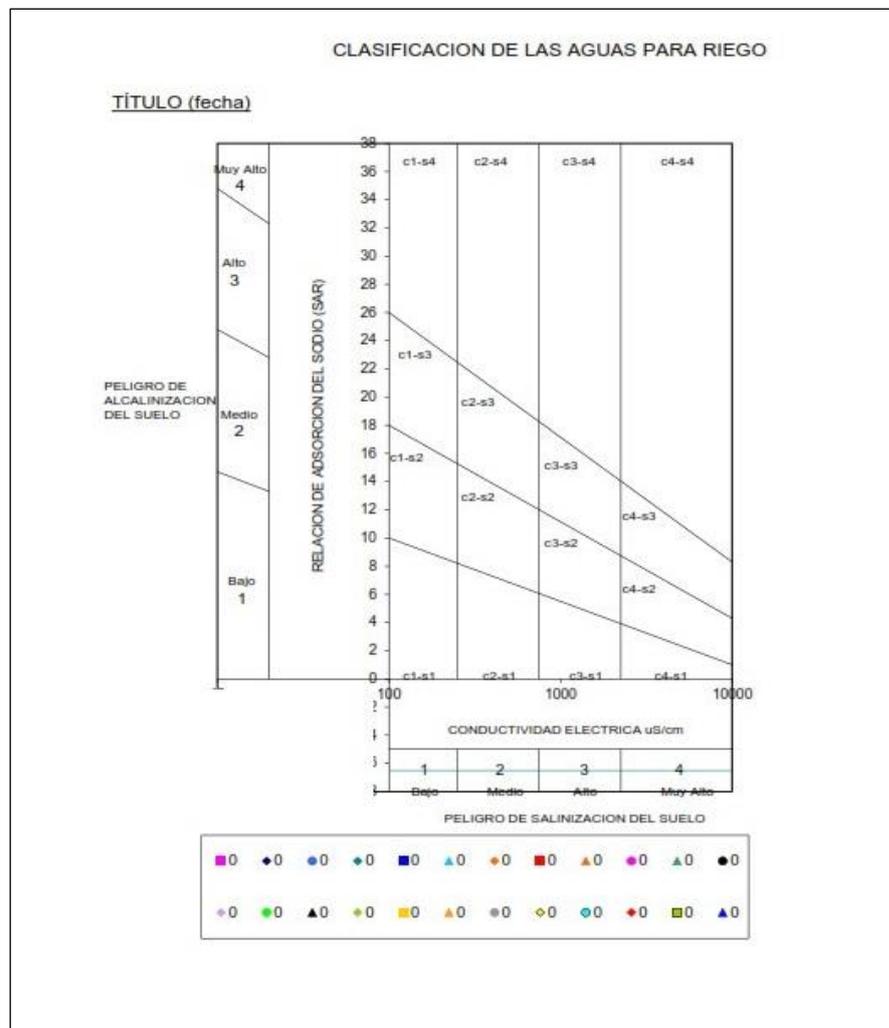


Nota. Se utiliza como un gráfico efectivo para la representación de muestras de agua en estudios hidrogeológicos.

Diagrama de SAR: Se utiliza para el diagnóstico de aguas de riesgo, por un lado, es obtener su conductividad eléctrica para evaluar la salinidad del suelo y las pérdidas de producto, y por otro lado se calculaba el SAR (Sodium Adsorption Ratio) del agua de riego para monitorear el impacto negativo del alto contenido de sodio en las propiedades físicas (pérdida de permeabilidad o infiltración) y/o químicas (aumento de pH o alcalinización) del suelo.

Figura 13

Diagrama de Sodium Adsorption Ratio (SAR).

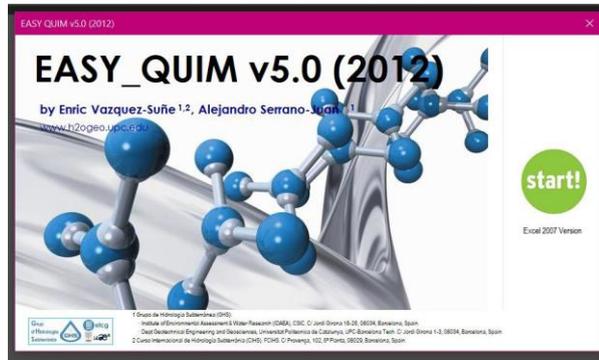


Nota. Gracias a la función de varios de sus parámetros se diagnostica el agua de riego.

Procesamiento de datos en software Easy Quim v5.0:

Figura 14

Interfaz Easy Quim v5.0



Nota. El software determina la concentración de componentes del agua.

Figura 15

Llenado de datos en Easy Quim v5.0

Date	26-Ene-22
SAMPLE	ENSAYO 01
Coord X	175451.7
Coord Y	9127139.1
CE (uS/cm)	3240.00
TEMP (°C)	59.0
pH	6.90
TAC (mg/L CaCO3)	
DUR (mg/L CaCO3)	
TSD (mg/L)	
	<i>Add</i>
Anion	mg/L
HCO3-	0.23
SO4=	10.29
Cl-	727.6
NO3-	0.863
sum aniones	738.983
Cation	mg/L
Na+	415.1
K+	42.85
Ca++	55.04
Mg++	21.23
sum cationes	534.22
	mg/L
NH4+	0
	<i>Add</i>

Nota. Se coloca los datos de laboratorio y campo.

2.5. Aspectos Éticos

En la actividad de reconocimiento e investigación de procesos geológicos e hídricos se procuró la preservación de rocas o afloramientos y de los fluidos geotermales que puedan representar un proceso único en el medio ambiente. Se procuró la seguridad de personas, bienes y la protección del medio ambiente y por último se evitó la transferencia de residuos indeseables que afecten el afloramiento natural.

2.6. Generalidades

- **Ubicación geográfica**

Las aguas termales El Edén, se encuentra cerca al distrito de Curgos, aproximadamente 29 km de Huamachuco, La Libertad.

Tabla 3

Coordenadas del sector geotermal.

Vértice	Coordenadas		COTA (msnm)	Sistema
	Norte	Este	Altitud	
V				UTM
V1	9127170	175310	2910	
V2	9127170	175510	2870	WGS84 -
V3	9126970	175510	2832	18S
V4	9126970	175310	2842	

Nota. Coordenadas UTM-WGS84, zona 18S.

- **Accesibilidad**

El sector de estudio es accesible mediante carretera asfaltada hasta Huamachuco. Teniendo un tramo restante de carretera afirmada hasta las aguas termales El Edén.

Tabla 4

Datos de accesibilidad a las aguas termales El Edén.

Ruta o Tramo	Distancia Km	Tiempo de viaje	Tipo de vía
Cajamarca - El Edén	192 km	5 horas 30 minutos	Carretera asfaltada y afirmada
Trujillo – El Edén	212 km	5 horas 15 minutos	Carretera asfaltada y afirmada
Huamachuco – El Edén	29 km	1 hora 10 minutos	Carretera asfaltada y afirmada

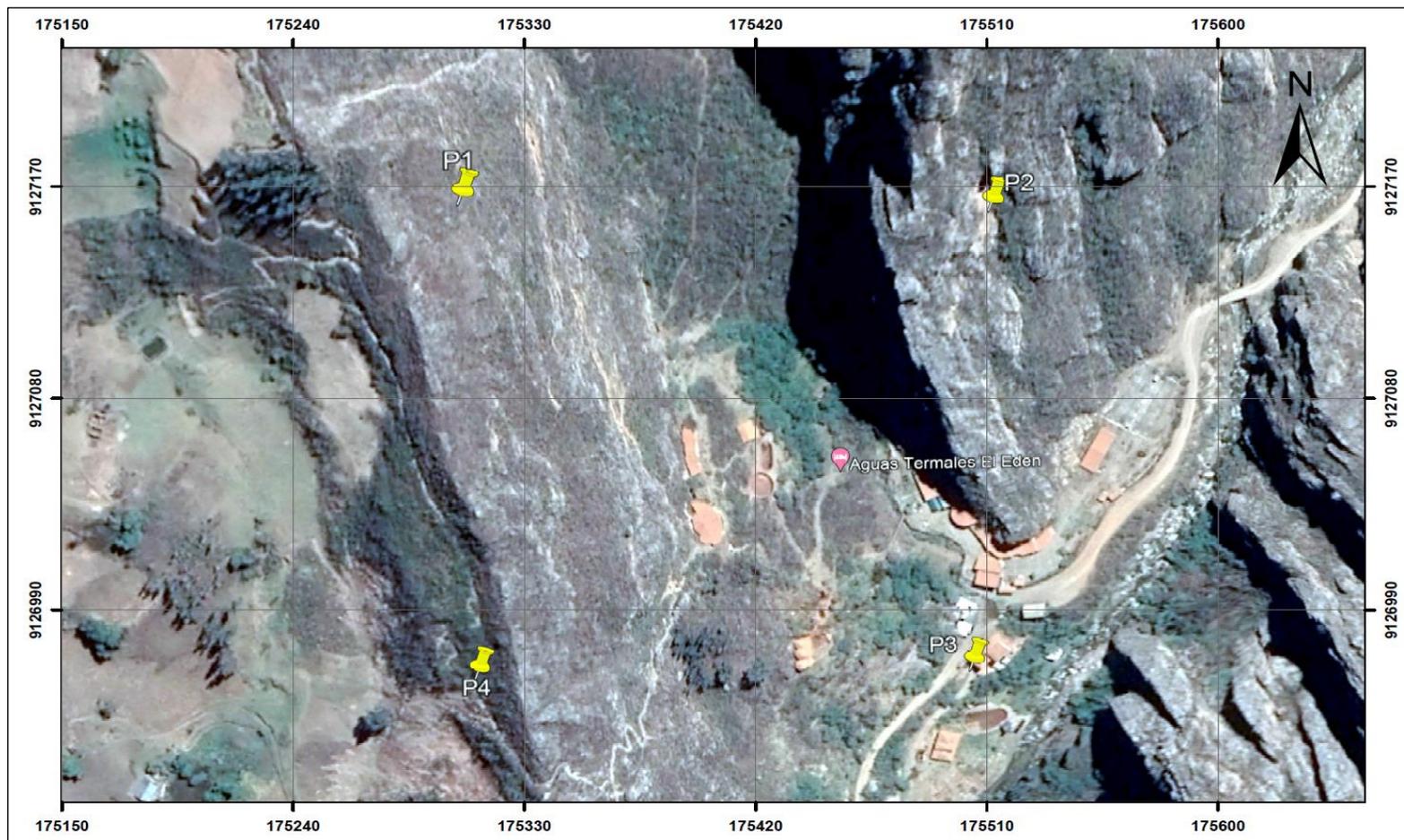
Nota: Accesibilidad vía terrestre hasta la zona de estudio.

2.7. Ubicación política

La ubicación del sector estudiado se encuentra en el distrito de Curgos, provincia de Sánchez Carrión, a unos 29 km de Huamachuco, capital provincial en el departamento de La Libertad en la zona 18 S.

Figura 16

Mapa de Ubicación.



Fuente. Google Earth 2022

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Análisis de la fuente termal

Para el muestreo de los fluidos geotermales de los tres pozos más representativos del afloramiento, se realizó una toma de temperatura a través de un termómetro digital. En tanto a su composición química de los pozos muestreados no varían porque fluyen de una sola misma fuente geotermal. Los datos fueron tomados en un mes en específico, los cuales se tomaron en horas de la mañana para tener resultados más exactos.

3.2. Características de la fuente termal

Tabla 5.

Química del sinter de la fuente termal.

Química del sinter de la fuente termal El Edén						
Au	Pb	Zn	Cu	Ag	As	Hg
< 0.01	12.5	25	5	<0.5	23	0.100
Li	Fe	Mn	Al	Sr	Ba	-
60	1.050	1850	842	2500	1126	-

Fuente. Instituto geológico minero y metalúrgico.

- **Descripción geológica**

Formación Farrat – cuarcitas, los fluidos llega en forma de manantiales y fluyen hacia los márgenes izquierdos del río Cerpaquino. Se presenta una colina de sinter de carbonato.

Figura 17.

Colina Sinter de la fuente termal El Edén.



Nota: La fuente El Edén Presenta una colina de sinter de carbonato.

3.3. Geología local

El distrito en donde se encuentra el área de estudio abarca cinco formaciones geológicas, desde el Jurásico – superior con la presencia del Grupo Chicama hasta todo lo que vendría a ser el Cretáceo inferior. Estando representado por el Grupo Goyllarisquizga (Carhuaz, Santa, Chimú y Farrat) conformado por calizas, limo arcillitas y areniscas.

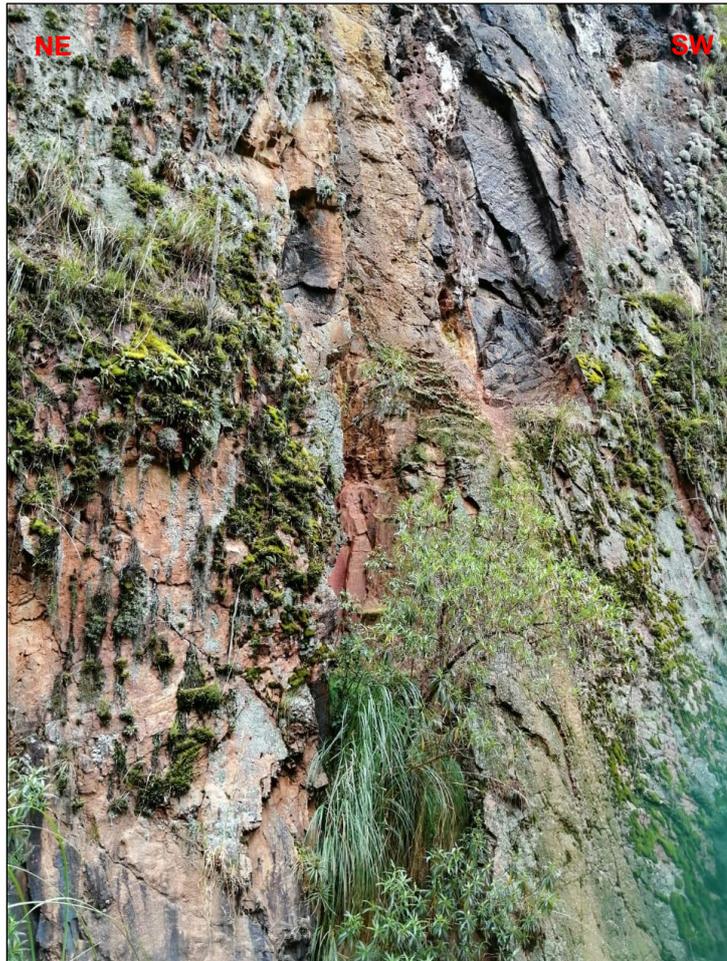
3.3.1. Formación Farrat (Ki-fa):

Esta formación abarca toda nuestra área de trabajo, la cual está conformada por una serie de areniscas cuarzosas y areniscas blancas intercaladas con limolitas grises oscuras. La formación no contiene fósiles y se cree que es de edad Aptiense superior debido a su ubicación estratigráfica.

Está asociado a areniscas, cuya ubicación estratigráfica es representativa de la zona norte del país. (INGEMMET, 2018).

Figura 18

Mezclas de capas delgadas de lutitas grises.



Nota. Se observa una correlación con areniscas, característica de la zona norte del Perú.

Figura 19

Arenisca con estratificación paralela.



Nota. La formación está compuesta por arenisca cuarcita

3.3.2. Formación Santa – Carhuaz (Ki-saca):

Las dos formaciones se identificaron como una sola unidad. Litológicamente, la capa inferior de la Formación Santa consiste en arenisca limosa gris-negra y limolita gris-amarilla o negra, mientras que la formación Carhuaz consta de areniscas cuarzosas grises.

3.3.3. Formación Inca – Chulec y Pariatambo (Ki-ichp)

Estas formaciones presentan sedimentos que albergan areniscas y en menor proporción lutitas grises. Los cuales corresponderían a las capas superiores de la formación Inca e inferiores del piso Chulec. Debido a los ambientes marinos continentales y la transgresión marina en la región, dio paso al desarrollo de las formaciones sedimentarias; Inca, Chulec y Pariatambo.

3.3.4. Formación Chimú (Ki-chi):

Esta formación consta de areniscas cuarzosas de color blanco a gris claro, raras veces oscuras y con tonalidades rojizas por la meteorización, intercalada con lutita negra y limolita. (INGEMMET, 2018).

3.3.5. Formación Chicama (Js-chic)

Geológicamente, esta unidad presenta una fornida secuencia de lutitas densamente fosilíferas. Litológicamente, la formación consiste en una serie fuerte y monótona de lutitas de aspecto pizarrosas bien laminadas, de color gris oscuro a negro, con intercalaciones ocasionales de areniscas y cuarcitas claras y limolitas gris parduzcas debido a la intemperie. (INGEMMET, 2018).

3.4. Geología Estructural

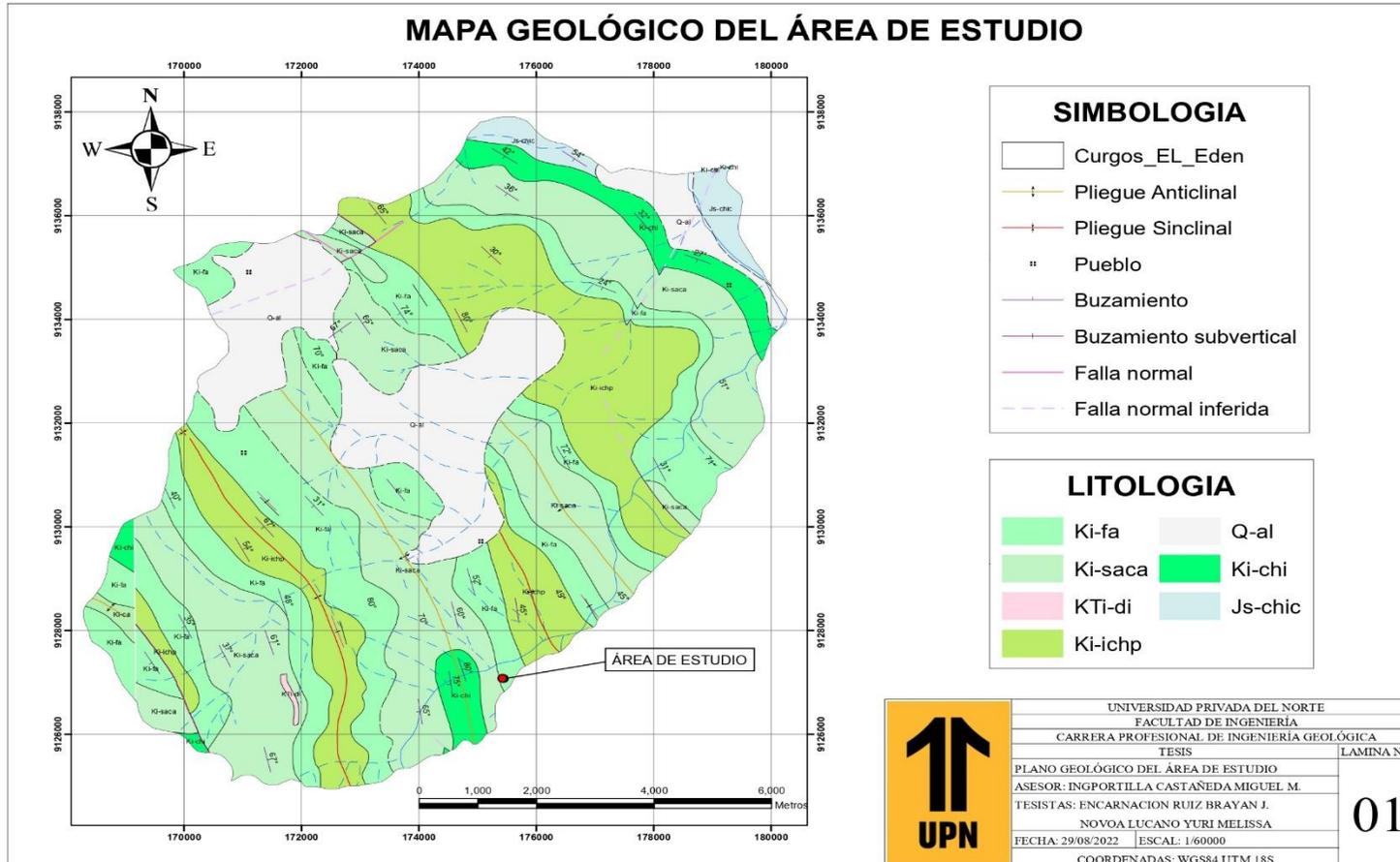
A nivel regional, el área fue plegado en el jurásico superior al cretáceo inferior, debido a los intensos procesos tectónicos debido de la Orogenia Andina. Por otro lado, la geología estructural define con sus afloramientos como pliegues sinclinales, anticlinales. Los ejes del pliegue tienen un rumbo general NW, pues siguen la dirección general de la cordillera de los Andes. Hay fallas normales y algunas normales inferidas, y regionalmente las estructuras están dominadas por una tendencia NW - SE. (INGEMMET, 2018).

3.4.1. Fallas

El sector de estudio presenta fallas normales, esto se debe a que las fuerzas son perpendiculares al acimut de la falla, debido al movimiento predominantemente vertical respecto al plano de falla, se afectaron 3 formaciones las cuales son Santa-Carhuaz, Farrat, Inca-Chulec-Pariatambo, Por otro lado, se encontró fallas normales inferidas, está a sido interpretada por imágenes satelitales.

Figura 20

Mapa Geológico a nivel local.



Nota. Se observa las fallas, plegamientos y buzamientos a nivel local en el sector de estudio.

3.4.2. Plegamientos

Se presentan profundos plegamientos, y la eventual formación de anticlinales y sinclinales, que debido a los efectos de fuertes fuerzas NE-SW, se dobla mediante ejes para mantener una dirección NW-SE. Por otro lado, en el punto de la zona de estudio en el Edén, se observa solo plegamiento anticlinal, esta representa una deformación dúctil.

Figura 21

Plegamiento anticlinal.



Nota. Se representa una deformación dúctil.

3.4.3. Depósitos Cuaternarios.

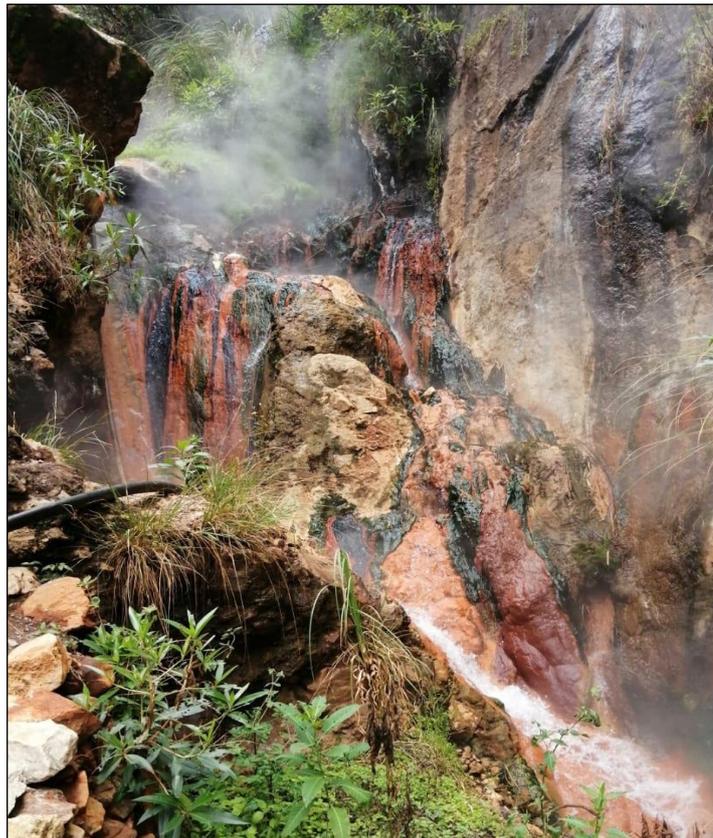
A lo largo del fondo y las laderas de los valles se encontró depósitos aluviales, formando el relleno de causes y terrazas de diferentes longitudes y tamaños. La cual contiene limos moderadamente compactos, grava y arena.

3.4.4. Travertino

Esta roca está formada por depósitos de fuentes termales, cuando el agua subterránea sale a la superficie, las rocas y sedimentos actúan como filtro convirtiendo el bicarbonato cálcico en carbonato. En el sector de estudio, se observa una textura fibrosa con una cierta cantidad de colores como anaranjado, beige, negro; esto sucede por la entrada de agua caliente y el decrecimiento de la presión en las aguas.

Figura 22

Coloración de la fuente termal debido a la temperatura.



Nota. Formación por la trasportación por filtración de agua.

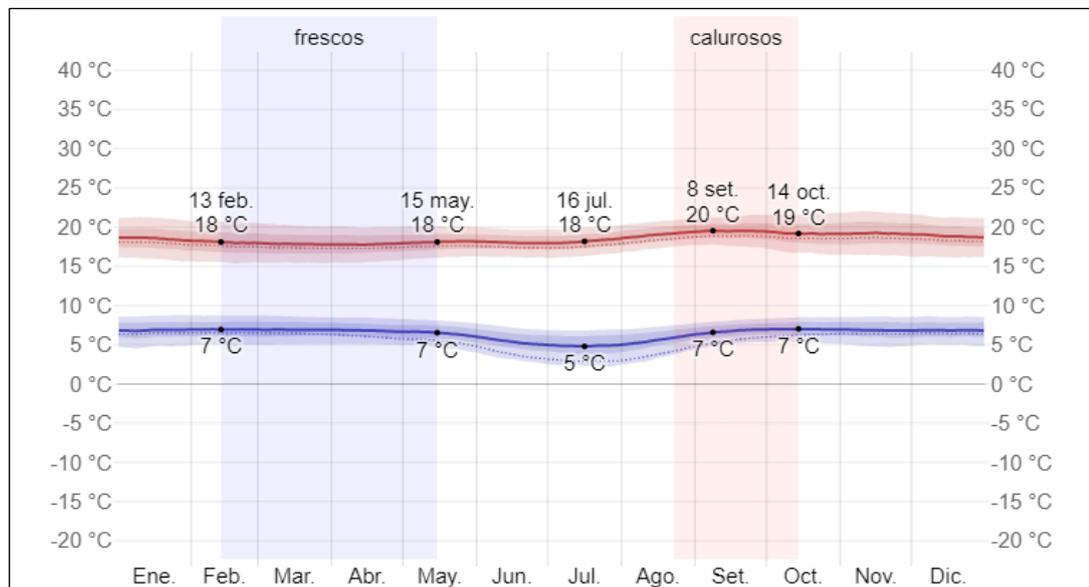
3.5. Temperaturas máximas y mínimas del distrito de Curgos año 2022

La línea roja indica la temperatura máxima y la azul la temperatura mínima.

La línea discontinua delgada es la temperatura promedio correspondiente a lo percibido.

Figura 23

Temperaturas promedio percibidas.



Nota. Se obtuvo una temperatura promedio mensual de entre 5 °C a 20 °C.

3.6. Características geotérmicas

3.6.1. Temperatura

Los fluidos geotérmicos de El Edén, tienen un cambio de acuerdo a su proximidad a la fuente magmática, en la cual también se ven afectados por temperaturas alcanzadas en la superficie. En el caso del sector de estudio las temperaturas de los pozos geotermales fueron tomados por un termómetro digital con un rango de medición de - 50°C a + 300°C.

Figura 24

Termómetro digital.



Nota. Instrumentos para la toma de temperatura de las fuentes termales.

Tabla 6

Temperatura de los tres pozos geotermales.

TEMPERATURA DE LA FUENTE TERMAL			
Fuente termal	Enero		
	Fecha	°C	Tiempo Hora
Pozo 1	26/01/2022	58.5	10:25 a.m.
Pozo 2	26/01/2022	59.0	10:45 a.m.
Pozo 3	26/01/2022	57.5	11:05 a.m.

Nota. Esta tabla muestra la temperatura obtenida de los tres pozos más representativos de la fuente geotermal en un determinado tiempo.

La tabla N° 6 describe las temperaturas alcanzadas de los fluidos geotérmicos de El Edén. Estas fueron tomadas en el mes de enero en una hora determinada iniciando a las 10:25 am. Para el desarrollo del estudio se tomó únicamente la temperatura de los tres pozos más repetitivos.

Figura 25

Toma de temperatura de los fluidos geotermales (1 pozo).

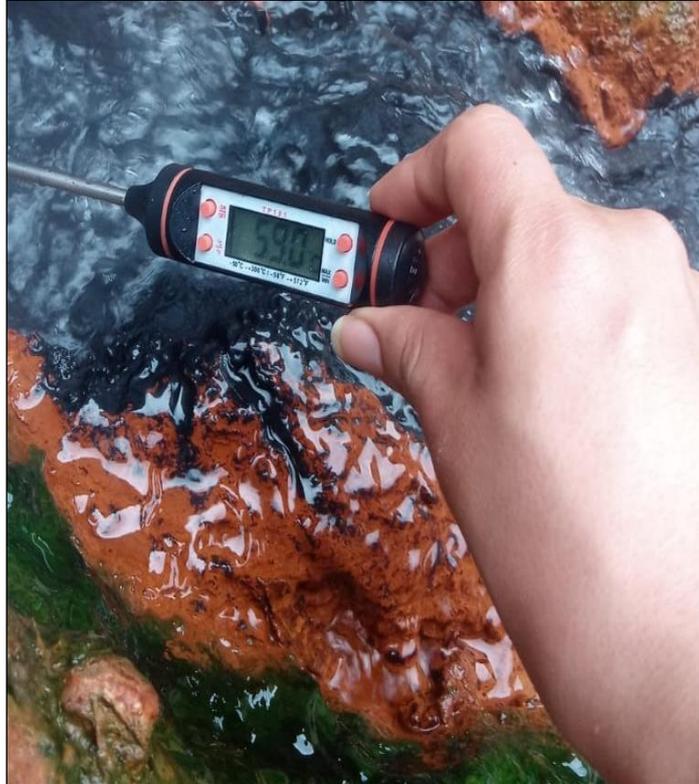


Nota. Utilizando el termómetro digital se pudo obtener la temperatura alcanzada del primer pozo de estudio.

En la Figura N° 25, se observa el muestreo de temperatura de los fluidos geotérmicos del primer pozo de estudio en EL Edén realizado con el termómetro digital el cual nos da a conocer la temperatura de 58.5 C°. Obtenida en superficie.

Figura 26

Toma de temperatura de los fluidos geotermales (2 pozo)



Nota. Utilizando el termómetro digital se pudo obtener la temperatura alcanzada del segundo pozo de estudio.

En la Figura N° 26, se observa el muestreo de temperatura de los fluidos geotérmicos del segundo pozo de estudio en EL Edén realizado con el termómetro digital el cual nos da a conocer la temperatura de 59.0 C°. obtenida en superficie.

Figura 27

Toma de temperatura de los fluidos geotermales (3 pozo).



Nota. Utilizando el termómetro digital se pudo obtener la temperatura alcanzada del tercer pozo de estudio.

En la Figura N° 27, se observa el muestreo de temperatura de los fluidos geotérmicos del tercer pozo de estudio en EL Edén realizado con el termómetro digital el cual nos da a conocer la temperatura de 57.5 C°. obtenida en superficie.

3.7. Características geoquímicas

3.7.1. Resultados de análisis en laboratorio

En los resultados obtenidos en laboratorio se tomaron en cuenta los siguientes parámetros como: metales totales, potencial de hidrogeno (pH) y conductividad eléctrica. Donde se observa un alto contenido de Na (401.8 mg/l) y se muestra que los fluidos geotermales se clasifican como cloruradas (841 mg/l). Al encontrarse Na y Cl con una alta presencia nos indica un fuerte contenido de sales, siendo así que estas aguas provienen de una fuente magmática, (Tabla 7).

Tabla 7

Parámetros químicos de los fluidos geotermales El Edén.

ENSAYOS		QUÍMICOS	
Código de la muestra		CO2TAO1	
Código de laboratorio		0122074-01	
Matriz		Natural	
Descripción		Subterránea	
Localización de la muestra		Curgos - El Edén provincia de Sánchez Carrión	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	<LCM
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	<LCM
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	0.032
Boro (B)	mg/L	0.0260	21.01
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	0.541
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	<LCM

Bismuto (Bi)	mg/L	0.0160	<LCM
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	55.04
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	<LCM
Cerio (Ce)	mg/L	0.0040	<LCM
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	<LCM
Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	<LCM
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	3.943
Potasio (K)	mg/L	0.0510	42.85
Litio (Li)	mg/L	0.0050	4.403
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0190	21.23
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	0.716
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	<LCM
Sodio (Na)	mg/L	0.0260	415.1
Níquel (Ni)	mg/L	0.0060	<LCM
Fosforo (P)	mg/L	0.0240	0.034
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	<LCM
Azufre (S)	mg/L	0.0910	2.875
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	<LCM
Selenio (Se)	mg/L	0.0070	<LCM
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	14.26
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM
Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	1.555
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	<LCM
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	<LCM
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	0.008
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	<LCM
Sílice (SiO ₂)	mg/L	0.2225	30.50

Nota. Límite de Cuantificación de Método (LCM). Concentración del analito es mínima, trazas (<LCM).

Tabla 8
Parámetros Fisicoquímicos de El Edén.

ENSAYOS		QUÍMICOS	
Código de la muestra		CO2TAO1	
Código de laboratorio		0122074-01	
Matriz		Natural	
Descripción		Subterránea	
Localización de la muestra		Curgos - El Edén provincia de Sánchez Carrión	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales
Fluoruro (F)	mg/L	0.0380	<LCM
Cloruro (Cl)	mg/L	0.0650	727.6
N-Nitrito (N-NO ₂)	mg/L	0.0130	<LCM
Bromuro (Br)	mg/L	0.0260	1.293
N-Nitrato (N-NO ₃)	mg/L	0.0040	0.863
Sulfato (SO ₄)	mg/L	0.0700	10.29
Fosfato (PO ₄)	mg/L	0.0320	<LCM
Alcalinidad Total (CaCo ₃)	mg CaCO ₃ /L	0.8500	348.1
pH	pH	NA	6.90
Conductividad	uS/cm	NA	3240.0

Nota. Límite de Cuantificación de Método (LCM). Concentración del analito es mínima, trazas (<LCM).

3.8. Análisis e interpretación de resultados

Con base en los resultados alcanzados por el Laboratorio regional del agua de Cajamarca, preparamos los datos en el software Easy Quim v5.0 para interpretar correctamente cada gráfico obtenido de este software.

Tabla 9

Análisis Químicos y relaciones Iónicas.

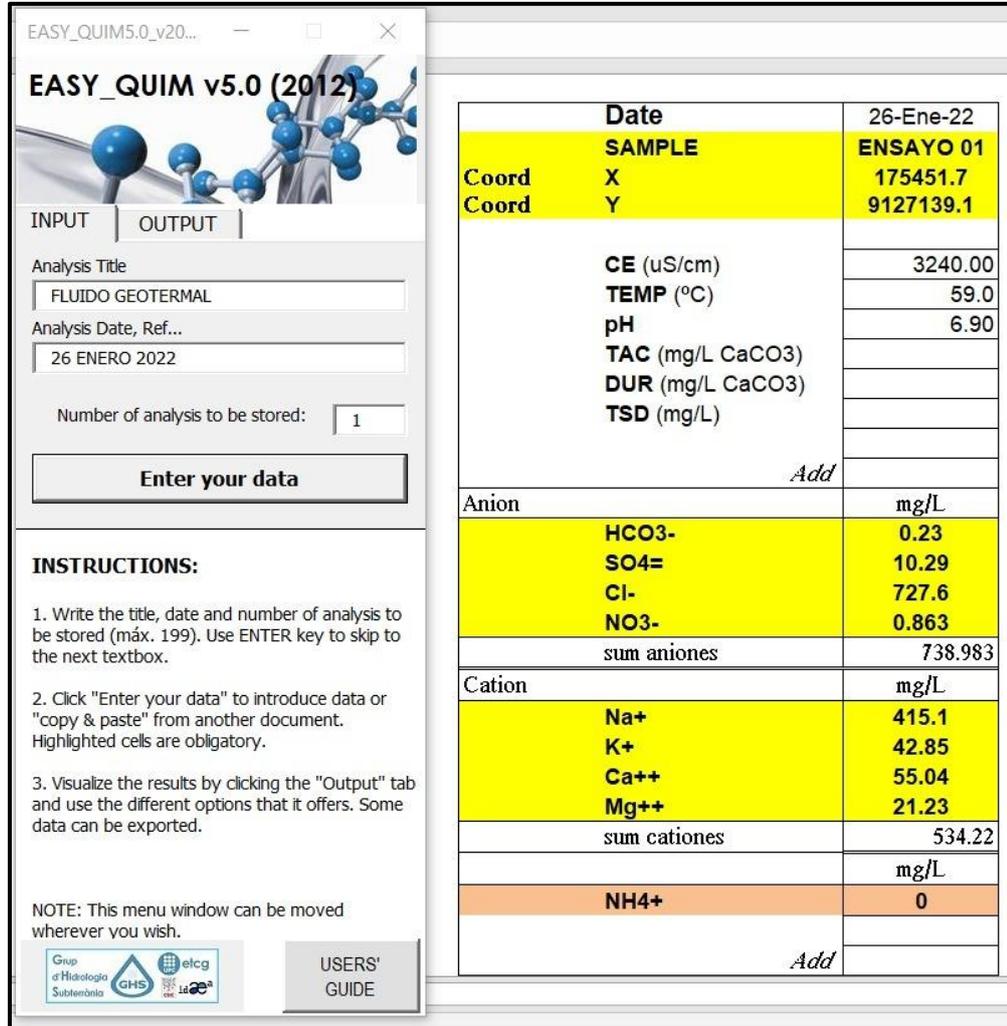
Parámetros	Ensayo	Unidad
Corriente eléctrica	3240	mg/l
pH	6.9	mg/l
Aniones:		
HCO ₃ ⁻	0.23	
SO ₄ ⁼	10.29	
Cl ⁻	727.6	mg/l
NO ₃ ⁻	0.86	
Sum. aniones	738.983	
Cátiones:		
Na ⁺	415.1	
K ⁺	42.85	
Ca ⁺⁺	55.04	mg/l
Mg ⁺⁺	21.23	
Sum. catión.	534.22	

Nota. Para los resultados físico - químicos se utilizó los siguientes parámetros:

pH y conductividad, para luego ser procesados en Easy Quim v5.0

Figura 28

Análisis químico y relaciones iónicas.



EASY_QUIM v5.0 (2012)

INPUT | OUTPUT

Analysis Title
FLUIDO GEOTERMAL

Analysis Date, Ref...
26 ENERO 2022

Number of analysis to be stored: 1

Enter your data

INSTRUCTIONS:

1. Write the title, date and number of analysis to be stored (máx. 199). Use ENTER key to skip to the next textbox.
2. Click "Enter your data" to introduce data or "copy & paste" from another document. Highlighted cells are obligatory.
3. Visualize the results by clicking the "Output" tab and use the different options that it offers. Some data can be exported.

NOTE: This menu window can be moved wherever you wish.

Group of Hidrología Subterránea | GHS | elcg | 1200

USERS' GUIDE

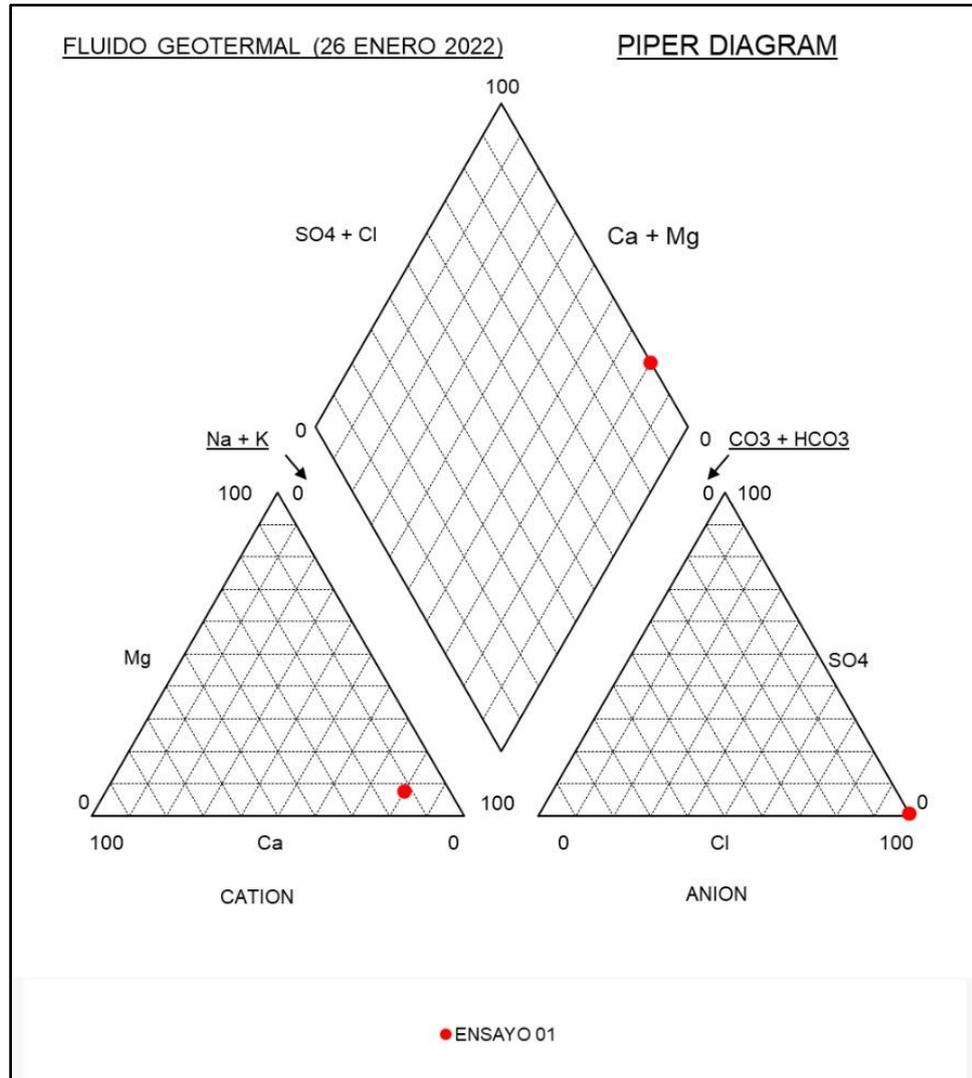
Date	26-Ene-22
SAMPLE	ENSAYO 01
Coord X	175451.7
Coord Y	9127139.1
CE (uS/cm)	3240.00
TEMP (°C)	59.0
pH	6.90
TAC (mg/L CaCO3)	
DUR (mg/L CaCO3)	
TSD (mg/L)	
	<i>Add</i>
Anion	mg/L
HCO3-	0.23
SO4=	10.29
Cl-	727.6
NO3-	0.863
sum aniones	738.983
Cation	mg/L
Na+	415.1
K+	42.85
Ca++	55.04
Mg++	21.23
sum cationes	534.22
	mg/L
NH4+	0
	<i>Add</i>

Nota. Se procedió a colocar los parámetros químicos obtenidos por el laboratorio y la temperatura muestreada en campo, para calcular el análisis químico y las relaciones iónicas.

3.8.1. Diagrama de Piper Hill Langelier

Figura 29

Caracterización Química de los fluidos con el Diagrama de Piper.

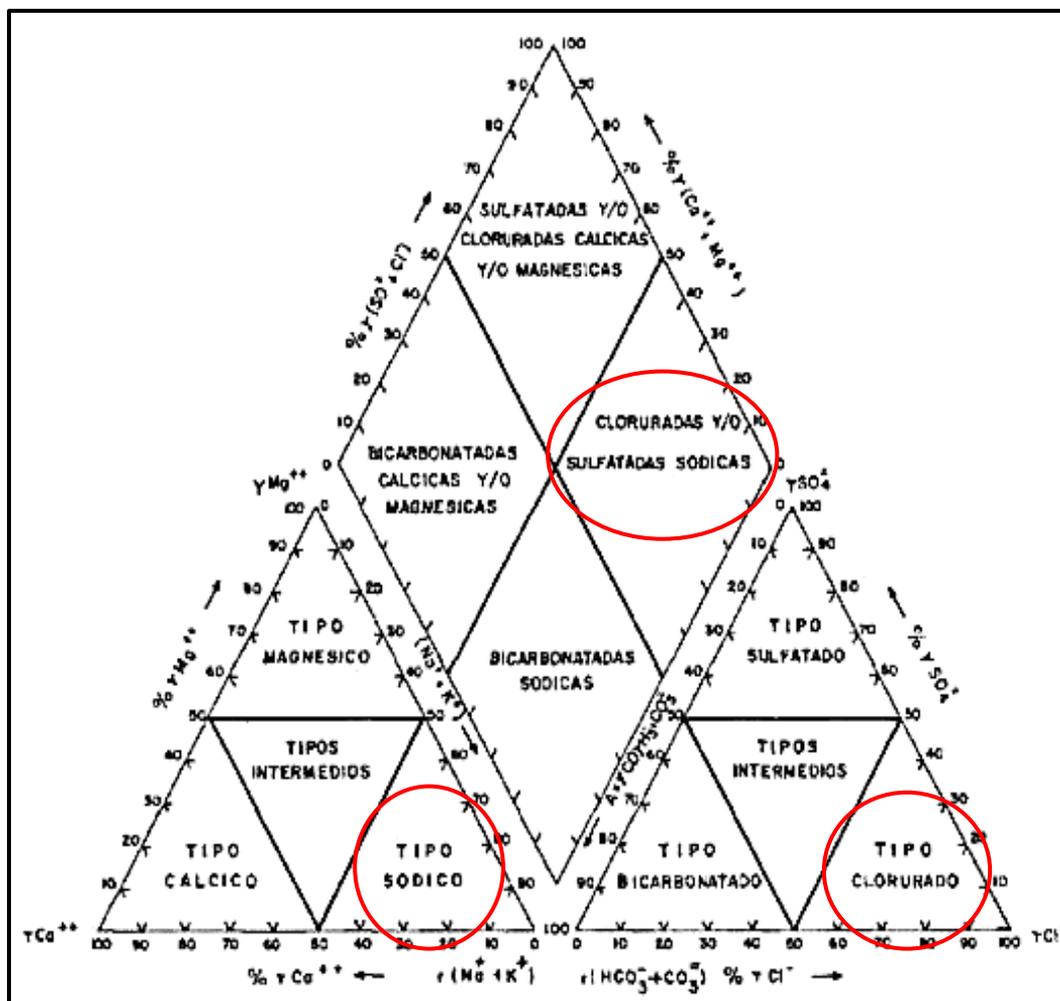


Nota. Con este método hidroquímico se representó el ensayo de composición fisicoquímica de aniones y cationes de los fluidos geotérmicos El Edén. Los aniones se representan en HCO₃, Cl, SO₄ - cationes Mg, Na, Ca y K.

- Representación de datos

Figura 30

Representación de datos utilizando el diagrama Piper-Hill Langerlier.



Nota. Los círculos rojos indican la información química obtenida.

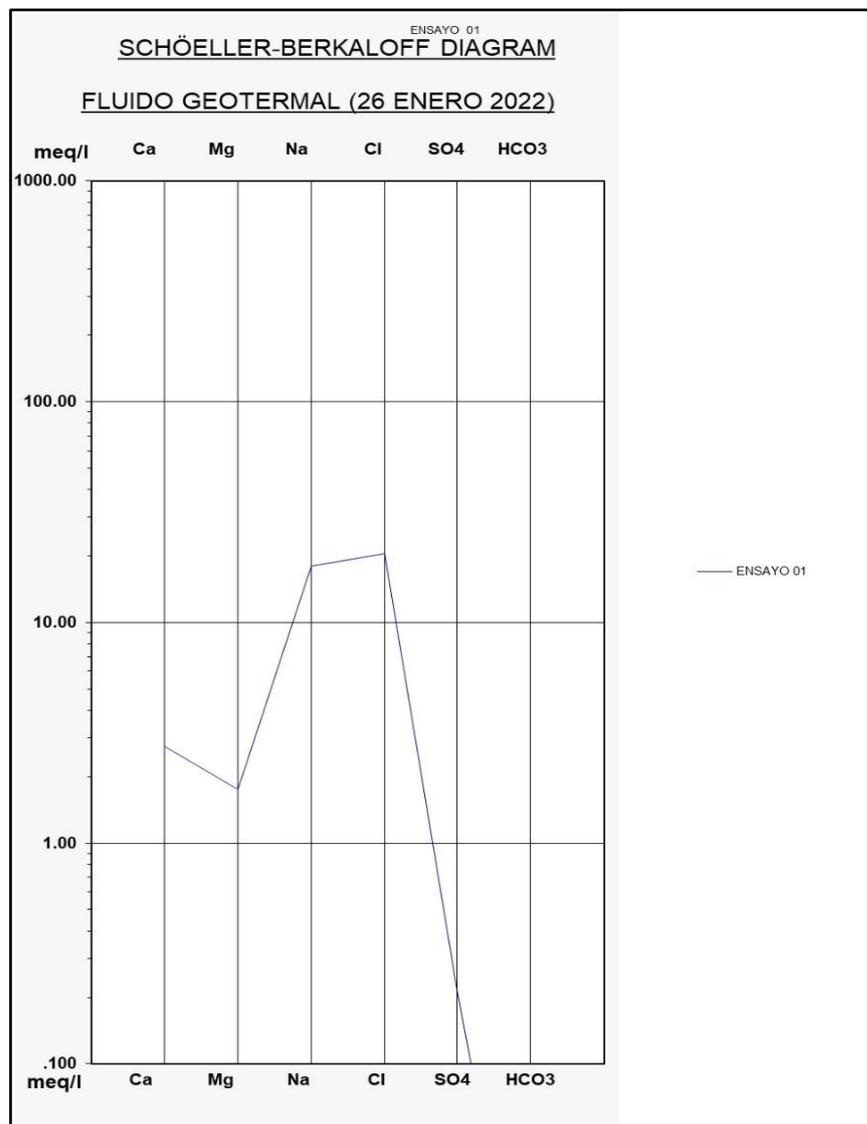
En la figura N° 29, se observa el estudio del ensayo 01, indicándonos tres puntos rojos que nos señalan el resultado de los datos representados en el diagrama de Piper-Hill Langerlier, el cual se logra apreciar más detallado en la figura N° 30, arrojándonos la composición de los fluidos geotermales muestreados en El Edén. Dando como resultado que estos pertenecen a la familia de las cloruradas – sódicas, con un contenido mayor de Cl.

3.8.2. Diagrama de Schoeller – Berkaloff

En él se logra apreciar que en el ensayo 01, hay un alto contenido de Na y Cl de los fluidos geotermales reafirmandonos así la composición clorurada – sódicas de los fluidos, (Figura 31).

Figura 31

Diagrama de Schoeller-Berkaloff



Nota. El diagrama nos indica los valores máximos y mínimos de los fluidos muestreados.

3.9. Clasificación Geoquímica de los fluidos geotermales

Los fluidos geotérmicos se dividen en fluidos primarios y secundarios; basado en diferencias químicas y la presencia predominante de ciertos elementos en el fluido. (Arnórsson, 2000).

3.9.1. Fluidos Primarios

Se determina por su composición y las reacciones de los fluidos incluida la disolución de los minerales primarios, así como la precipitación de minerales secundarios y los procesos de adsorción y desorción.

- **Aguas cloruradas:** Se caracterizan por ser muy comunes en los sistemas geotérmicos. Cierta porción de sal en una solución de agua termal clorada corresponde a Na-Cl. El contenido de cloruro depende de la presencia de sales que pueden ser eliminadas por lavado de la roca huésped o formadas por la reacción del HCl ígneo con minerales formadores de rocas.
- **Aguas Sulfato-ácidas:** Estos fluidos se encuentran comúnmente en sistemas geotérmicos volcánicos, a menudo asociados con volcanes de andesita.
- **Salmueras:** Son el resultado de la concentración de sal para crear salmuera geotérmica. Uno de ellos es la disolución de evaporitas por el agua de meteoritos y su interacción con los minerales primarios de las rocas volcánicas y el HCl ígneo.

3.9.2. Fluidos secundarios

Cuando los fluidos primarios suben a la superficie, se separan y mezclan para producir los fluidos secundarios.

- **Aguas sulfato – acidas vapor calentadas:** Estas aguas tienen un bajo contenido de Cl y un contenido de sulfato relativamente alto. El agua ácida disuelve fácilmente los minerales primarios en las rocas volcánicas comunes (alcanzan un pH <1), dejando un depósito de sílice.
- **Aguas carbonatadas:** Son aguas comunes, tanto en sistemas geotérmicos en áreas volcánicamente activas, como en áreas sísmicamente activas sin volcanes. Son el resultado de mezclar fluidos primarios a alta temperatura con aguas subterráneas frías ricas en HCO₃.
- **Aguas mezcladas:** Estas aguas pueden tener diferentes proporciones de mezcla y se reconocen por la relación inversa entre la temperatura y el caudal, así como por la relación positiva entre los componentes conservados y los isótopos.

Tabla 10
Clasificación de los fluidos geotermales en El Edén.

El Edén		
Fluidos primarios	Aguas cloruradas	X
	Aguas sulfato - acidas	-
	Salmueras	-
Fluidos secundarios	Águas sulfato – acidas vapor calentadas	-
	Aguas carbonatadas	-
	Aguas mezcladas	-

Nota: El fluido primario está representado principalmente por cloruro, sulfato ácido y agua salada.

De acuerdo al análisis químico y el desarrollo en gabinete se determinó que los fluidos geotérmicos de El Edén son primarios, principalmente de tipo clorurado - sódicas. Teniendo como muestra que el agua de meteórica es a menudo la fuente de fluidos geotérmicos.

3.10. Generación de energía geotérmica

Los recursos geotérmicos se utilizan para generar energía a partir de la estructura interna de la Tierra y pueden ser aprovechados por los humanos, donde el calor se transporta hacia la superficie mediante el agua que es el medio para transportar el calor del subsuelo a la superficie, dependiendo de la temperatura y presión a profundidad. (Estrada, 2016).

3.10.1. Entalpia

Es la medida de la cantidad de energía absorbida o liberada por un sistema geotermal, en otras palabras, es la cantidad de energía que el sistema intercambia con su entorno. Las temperaturas en los fluidos geotérmicos se clasifican en:

- Muy Baja Entalpía; esta se presenta en un tipo de terreno de aguas saturadas con una temperatura entre los 5°C a 25°C.
- Baja Entalpía; esta tiene 2 usos principales la cuales son los balnearios y el calor de distrito, en los balnearios se presenta en un tipo de terreno de aguas termales con un rango de temperatura de 22°C a 50°C, en el Calor de distrito se presentan 2 tipos de terrenos que son los sedimentos profundos y las zonas volcánica que tienen un rango de temperatura de menor que 100°C.
- Media Entalpía; su uso principal es la electricidad, ciclos binarios y presenta un rango de temperatura entre los 100°C y 150°C.
- Alta Entalpía; esta tiene un rango de temperatura mayor a 150°C y su uso principal es la electricidad.

Tabla 11
Clasificación de yacimiento geotérmicos por entalpia.

USO DE LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS SEGÚN SU ENTALPIA			
TIPO DE YACIMIENTO	TIPO DE TERRENO	RANGO DE TEMPERATURA	USO PRINCIPAL
Muy baja entalpia	Subsuelo con o sin agua	5°C<T<25°C	Climatización
	Aguas subterráneas	10°C<T<22°C	
Baja entalpia	Aguas termales	22°C<T<50°C	Balnearios
	Zonas volcánicas Sedimentos profundos	T<100°C	Calor de distrito
Media entalpia	-	100°C<T<150°C	Electricidad, ciclos binarios
Alta entalpia	-	T<150°C	Electricidad

Nota. Se incluye el calor de las rocas, el suelo y las aguas termales, independientemente de la temperatura, la profundidad o la fuente.

Tabla 12

Clasificación de El Edén según la entalpía de yacimientos geotérmicos.

EL EDÉN			
Tipo de yacimiento	Tipo de terreno	Rango de temperatura	Uso principal
	Aguas termales	22°C<T<50°C	Balnearios.
Baja entalpía	Zonas volcánicas Sedimentos profundos	T<100°C	Calor de distrito.

Nota. Las temperaturas encontradas se varían entre los 22 °C y los 100 °C.

Un uso adecuado de los fluidos geotermales de El Edén, brindaría diversas alternativas, ya que además de servir para generar energía geotérmica, también puede ser usado para proporcionar, calefacción, invernaderos, pasteurización y entre otros usos. Por otro lado, debido al desarrollo de la tecnología convencional de plantas de ciclo binario, la generación de energía eléctrica en un yacimiento de baja entalpía parece ser más admisible, ya que estas operan a temperaturas mayores a 57° C.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Considerando la relevancia de la generación de energías geotérmicas en el departamento de La Libertad. Es indispensable conocer las características fisicoquímicas y condiciones de temperatura del sector de estudio, para determinar e identificar su comportamiento geotérmico para su uso energético. Por consiguiente, se acepta la hipótesis del estudio; La caracterización geoquímica de fluidos geotermales permitirá determinar la generación de energía geotérmica, mediante análisis fisicoquímicos, permitiendo así obtener la clasificación de estos fluidos, así como también la toma de temperatura determinará a cuantos °C se encuentran los fluidos geotermales de El Edén, La Libertad.

El estudio comienza con la toma de muestras de agua de los fluidos geotermales para ser observados en el Laboratorio regional del agua de Cajamarca, laboratorio acreditado por INACAL, garantizando así la legitimidad de los resultados. Los parámetros obtenidos fueron: metales disueltos y totales, aniones, conductividad eléctrica, alcalinidad total y potencial de hidrogeno (pH).

De la misma forma se realiza el procesamiento de datos una vez que los resultados están disponibles en el laboratorio, obteniendo así que los fluidos se clasifican como; cloruradas – sódicas, con un contenido mayor de Cl; manteniendo un pH neutro de 6.90. Interpretándose que los fluidos tienen un origen meteórico. Asumiendo así que los fluidos clorurados se han alterado al mezclarse con aguas subterráneas superficiales, puesto que contienen un exceso de cloruro, pues se interpreta como fluidos que han sido tocados por agua de mar y domos de sal.

Enfocándose en la temperatura se recurrió a la toma de esta, en tres de los pozos más representativos del yacimiento geotermal obteniendo lo siguiente: pozo 1 de 58.5 °C, pozo 2 de 59 °C y pozo 3 de 57.5 °C. De esta forma se comprobó que efectivamente el yacimiento geotermal El Edén cumple como un yacimiento geotérmico de baja entalpia donde se observó un rango de temperatura de 59°C.

Paso seguido, se estudió a los fluidos geotermales, para comprobar los resultados analíticos en el laboratorio. Se requirió el software EASY QUIM v5.0, para el estudio de la clasificación de los fluidos, el cual trabaja con diagramas de Piper-Hill Langelier y Scholler Berkaloff siendo este el factor de legitimidad para con los resultados. El proceso de clasificación mediante Piper-Hill Langelier nos arroja que los fluidos son clorurados y/o sódicas y según Scholler-Berkaloff se obtienen altas concentraciones de sodio y cloro.

En cuanto a lo expuesto se logró determinar la clasificación de los fluidos geotermales como cloruradas – sódicas, indicándonos así que son fluidos primarios. Así mismo, se obtuvo un rango de temperatura de 59 °C, siendo estos resultados óptimos para la generación de energía geotérmica. El Edén es un yacimiento geotérmico para proporcionar calefacción a viviendas, balneología, temperar piscigranjas, cultivar en invernaderos, calentar piscinas y además de calefacción factible para la población hoy altamente vulnerable ante las terribles heladas.

Como limitación los resultados de este estudio solo abarcaron un pozo de estudio, para el análisis de laboratorio, siendo este el más representativo. Puesto que nuestro estudio se enfoca principalmente en la toma de temperatura, por lo cual no se pudo realizar el análisis a otros pozos debido al tema económico y difícil acceso a la zona por parte de los tesisistas.

Estudios preliminares realizados por él (INGEMMET, 2018), indican la existencia de yacimientos geotérmicos, de entalpia alta y media, ubicadas en la zona sur del Perú, exactamente en los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna. Dicho estudio concluye que los yacimientos geotérmicos estudiados son aptos para la generación de energía geotérmica, resaltando que en algunos casos sería factible para el uso de generación de energía eléctrica. De la misma forma, en nuestra investigación se menciona a un nuevo yacimiento geotérmico, apto para la generación de energética geotérmica, a través de sus fluidos geotermales, en este caso ubicado en el norte del país exactamente en el departamento de La Libertad.

Por otro lado, se pudo determinar que en caso se priorice generar energía eléctrica se debe optar por tecnología de ciclo binario mostrándose un alcance en el estudio de (Tapia, 2017), donde indica que las fuentes termales de baja entalpia requieren el ciclo binario para generar electricidad. Nuestra investigación hace hincapié en esa posibilidad puesto que para tener a El Edén como una fuente propicia de energía eléctrica se debe utilizar dicha tecnología de ciclo binario, pues cumple con el principal requisito de temperatura que es el tener una mayor a 57° C.

En el proyecto denominado “Plan Maestro para la Energía Geotérmica en el Perú” realizado por él (INGEMMET, 2019). El estudio identifica las aguas termales más importantes en el norte y centro del país, describiendo estas aguas como bicarbonatadas, cloradas y sulfatadas; con predominio de cloro en el norte y sulfatos y bicarbonatos en el centro. Nuestra investigación corrobora dicha clasificación de aguas termales de la zona norte del país brindadas por el INGEMMET, ya que El Edén presenta una clasificación de aguas cloruradas – sódicas con alto contenido de cloro.

Se muestra un estudio realizado por (Huamaní, 2000), donde identifica a la fuente termal de El Edén no apta para proporcionar un potencial geotérmico para la generación de energía eléctrica, excepto en aplicaciones que se pueden utilizar para agua caliente y calefacción. Coincidiendo con nuestra investigación en el uso principal de los fluidos geotermales de El Edén, para calefacción, balneología e invernadero. Sin embargo, se logro identificar que El Edén puede ser una fuente propicia de generación de energía eléctrica utilizando tecnología de ciclo binario, pues cumple con los requisitos esenciales.

Según específico (OSINERGMIN, 2017), la energía geotérmica es una energía continua, rentable y de alto factor de fábrica con baja emisión de dióxido de carbono. Por lo que reduce los costos de producción de energía y beneficia a la sociedad y la industria, ya que el acceso a esta fuente de energía es renovable y contribuye a combatir el cambio climático. De la misma forma nuestra investigación contribuye al estudio de energías renovables en este caso la energía geotérmica, la cual no perjudica el medio ambiente, abriendo así las puertas al uso de fuentes geotérmicas para generar energía.

Por otro lado, él (MINAM, 2018), dijo que las empresas privadas han mostrado un gran beneficio en las fuentes renovables convencionales como la solar y la eólica, y a medida que crezcan, podría aumentar el potencial de inversión en plantas geotérmicas. En tal sentido, el yacimiento geotermal El Edén podría ser aprovechable por su potencial energético geotérmico.

Se recomienda que los fluidos geotermales de El Edén tengan frecuentes estudios hidrogeológicos, ya que se puede presentar anomalías; como agentes contaminantes, fallas geológicas y nuevas composiciones hídricas, que perjudiquen el aprovechamiento de esta fuente termal, pues esta tiene un gran potencial de uso para la comunidad.

Al mismo modo se recomienda hacer unos estudios geofísicos para ayudar a complementar la investigación con un mejor alcance estructural y geológico del recurso geotérmico, como también las fallas y fisuras que contribuyen a la elevación de los flujos geotérmicos hacia la superficie.

También se recomienda realizar una determinación de otros isótopos como Sr o S y/o Tritio para que ayuden a definir el origen o causas que afectan al fluido geotermal y obtener más información sobre cómo funcionan estas estructuras hidrotermales.

Para finalizar se recomienda integrar al estudio una base de datos que contenga una variedad de análisis fisicoquímicos de los fluidos geotermales para validar la clasificación propuesta en este sector de investigación.

4.2. Conclusiones

La caracterización geoquímica de fluidos geotermales nos permitió determinar la generación de energía geotérmica en El Edén, La Libertad, gracias a los estudios químicos-físicos y de temperatura.

Se caracterizó el sector geotermal de estudio desde una perspectiva geoquímica, llevando resultados óptimos de potencial energético, contribuyendo al desarrollo de energías renovables, sin que estas perjudiquen al medio ambiente, abriendo oportunidades al uso de fuentes de energía renovables para la generación de energía geotérmica.

Se logró determinar las características litológicas y geología local de los fluidos geotermales El Edén, al evidenciar la relación entre las formaciones geológicas y los resultados del muestreo del sector geotérmico.

La temperatura estimada de los fluidos geotermales de El Edén, se realizó mediante un termómetro digital, estimando temperaturas desde 57.5 °C a 59 °C. Es así que su clasificación por entalpia es baja, sin embargo, es apta para generar energía geotérmica principalmente para calefacción, invernaderos y balneología.

REFERENCIAS

- Angulo, G. L. (2012). Guía de la Energía Geotérmica. *Madrid Ahorra con Energía*, 9-11.
- Arnórsson. (2000). Sampling Methods, Data Handling, Interpretation. En S. Arnórsson, *Isotopic and Chemical Techniques in Geothermal Exploration, Development and Use: Sampling Methods, Data Handling, Interpretation* (págs. 1-5). Vienna: International Atomic Energy Agency.
- Arnórsson, S., Sigurdsson, S., & Svavarsson, H. (1982). The chemistry of geothermal waters in Iceland. *Geochimica et Cosmochimica*, 65-72.
- Arnórsson, S., Stefánsson, A., & Bjarnason, J. (2007). Fluid-Fluid Interactions in geothermal systems. *Reviews in mineralogy & geochemistry*, 259-262.
- Calderón-Chaparro, R. A. (2019). Determinación de Prospectos Hidrotermales. *Revista de Investigación de Ciencias de la Tierra*, 1-3.
- Cerpa, A. (2018). *Caracterización del potencial geotérmico a partir de análisis geoquímicos de fuentes termales, en el Volcán Cerro Machín, Colombia*. Universidad EIA. Obtenido de <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/2250>
- Chandrasekharam, D., & Bundschuh, J. (2008). Low Enthalpy Geothermal Resources for Power Generation. *Taylor & Francis*, 23-26.
- Cruz Pauccara, V., Pajuelo Aparicio, D., & Yupa Paredes, G. R. (2019). Caracterización de los sistemas geotermales asociados a los volcanes activos Ubinas y Huaynaputina, región Moquegua. *INGEMMET*, 131-132.
- Cruz, V., Gonzales, K., Macedo, O., & Fournier, N. (2018). Caracterización geoquímica de las fuentes termales y frías asociadas al volcán Ubinas en el sur del Perú. *Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET*, 3-17.
- Díaz, L. (2011). La Observación. *Textos de Apoyo Didáctico UNAM*, 8.
- Díaz-Gonzalez, L., & Reyes-Reyes, J. (2008). Tres nuevos geotermómetros mejorados de Na/K usando herramientas computacionales y geoquimométricas. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 465-471.

- E. Barbier, M. F. (2009). Los isótopos en la exploración de energías geotérmicas. *Energía geotérmica*, 5-6.
- E.CUSTODIO, M. (1983). *Hidrología subterránea*. Barcelona: Ediciones Omega S.A.
- Estrada, R. E. (2016). Geoquímica de fluidos como herramienta para la prospección de sitios geotérmicos. *Unión geofísica Mexicana A.C.*, 1-2.
- Giggenbach, W. F. (1991). Chemical techniques in geothermal exploration. *Application of geochemistry in geothermal reservoir development*, 119-122.
- Gupta, H., & Roy, S. (2007). Geothermal Energy: An alternative resource for the 21st century. *Elsevier publications*, 42-46.
- Huamaní, A. (2000). Aguas termales y minerales en el norte del Perú. *Riesgos volcánicos e hidrotermalismo en el Perú*, 51.
- IGME. (2010). Muestreo de Agua. *Instituto Geológico y Minero de España*, 1.
- INGEMMET. (2018). Prospección Geológica-Minera Regional en la Región La Libertad. *Dirección de Recursos Minerales y Energéticos*, 11-15.
- INGEMMET. (2019). Evaluación geotérmica en el Perú. *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico*, 15-17.
- International Atomic Energy Agency. (2000). *International Atomic Energy Agency*. Obtenido de iaea.org.
- Law Engineering Iberica. (1985). Resumen General. En L. I. Iberica, *Análisis metodológico de las técnicas geoquímicas empleadas en prospección geotérmica* (pág. 9). Instituto Geológico y Minero de España.
- Lillo, J. (2007). Técnicas Hidrogeoquímicas. *Repositorio Universidad Rey Juan Carlos*, 140.
- Matsuda, V. C. (2007). Caracterización geoquímica de las fuentes termales en el campo. *INGEMMET*, 1-3.
- MINAM. (2018). Energía geotérmica: Modelo propio de sostenibilidad. *Ministerio del Ambiente*, 5-12.
- Monje, C. (2011). Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. *Guía didáctica de metodología*, 18-20.

- Murillo, W. (2008). La investigación científica. *Textos de Apoyo Didáctico*, 15.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. (1990). Estudios geotérmicos. *The IAEA*, 4-10.
- OSINERGMIN. (2017). La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático. 3-6.
- Pérez Porto, J. (2012). Definición de temperatura. *Definición.de*, 1-2.
- Ramos, J. (2015). Aprovechamiento sostenible de los recursos geotérmicos. *Universidad de San Martín de Porres*, 1-3.
- Robilliard Chiozza, C. (2009). Generación de electricidad a partir de energía geotérmica. *Ingeniería Industrial*, 27.
- Rodríguez, V. (2016). Diseño de la investigación. *Textos de Apoyo Didáctico*, 1-3.
- Sánchez, J. (2019). Diagramas de Piper. *Departamento de Geología Universidad Salamanca (España)*, 1-4.
- Solís, I. (2018). Guía para el análisis documental. *Red de Bibliotecas Virtuales de Ciencias Sociales de América Latina y el Caribe*, 6.
- Tapia, E. (2017). “Caracterización geoenergética de fuentes termales: Pasanacollo, Acora, Ollachea, Cuyo cuyo, Loripongo, y Puente bello”. *Repositorio UNA*, 14-17.

ANEXOS

Anexo 1. Clasificación de los recursos geotérmicos por entalpía.

Clasificación por Entalpía			
Tipo Yacimiento	Tipo de Terreno	Rango de Temperatura	Uso Principal
Muy Baja Entalpía	Subsuelo con o sin agua	5°C<T<25°C	Climatización
	Aguas Subterráneas	10°C<T<22°C	
Baja Entalpía	Aguas Termales	22°C<T<50°C	Balnearios
	Zonas Volcánicas	T<100°C	Calor de Distrito
	Sedimentos Profundos		
Media Entalpía		100°C<T<150°C	Electricidad, Ciclos Binarios
Alta Entalpía		T>150°C	Electricidad

Fuente: Energías bienes comunes.org

Anexo 2. Etiqueta de frascos de muestreo.

Laboratorio Regional del Agua - Cajamarca					Código del Cliente
Etiquetas de Muestreo					ID Muestra
Código de Laboratorio:					Localización
Parámetros Físicos - Químicos - Biológicos					
pH	Cloro	Oxígeno Disuelto	Nc. Totales	Alcalinidad	
Conductividad	Metales Totales	Nitrógeno	Nc. Termo	Ps. Aeruginosa	Fecha y Hora
Turbidez	Mercurio	Cn...	E. Coli		
Aniones	Dureza	Aceites Y Grasas	B. Hetero		
TDS	Metales disueltos	Sulfuros	O.V. L		Muestreador
Color	DQO	Cromo VI	Huevo y Larvas de Helimnitos		
TSS	DBO	Color	Formas parasitarias		

Anexo 3. Ficha de recolección de datos.

FECHA:	POZO:	ESTACION
COORDENADA	Norte	
COORDENADA	Este	
	Temperatura	
	Entalpía	
	Tipo de agua	
DATOS OBTENIDOS EN LABORATORIO	PH	
	Aniones	mg/l
	HCO ₃ ⁻	
	SO ₄ ⁻	
	CL ⁻	
	NO ₃ ⁻	
	Cationes	mg/l
	Na ⁺	
	K ⁺	
	Ca ⁺⁺	
	Mg ⁺⁺	

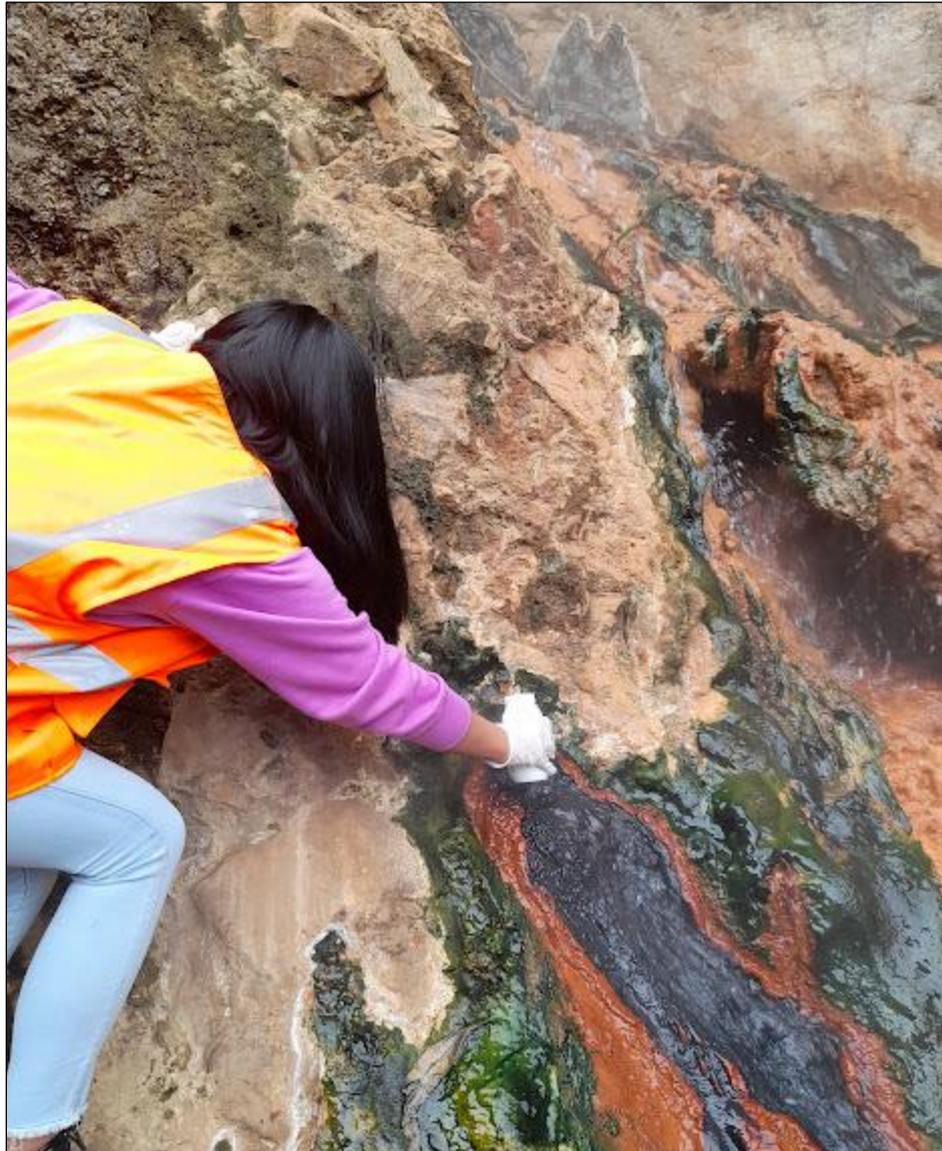
Anexo 4. Lectura de planos geológicos del sector de estudio.



Anexo 5. Sector de estudio: Fluidos geotermales de El Edén.



Anexo 6. Sector de estudio: Toma de muestra de agua.



Anexo 7. Fin de muestreo y frascos listos para el análisis de laboratorio.



Anexo 8. Toma de temperatura con el termómetro digital.



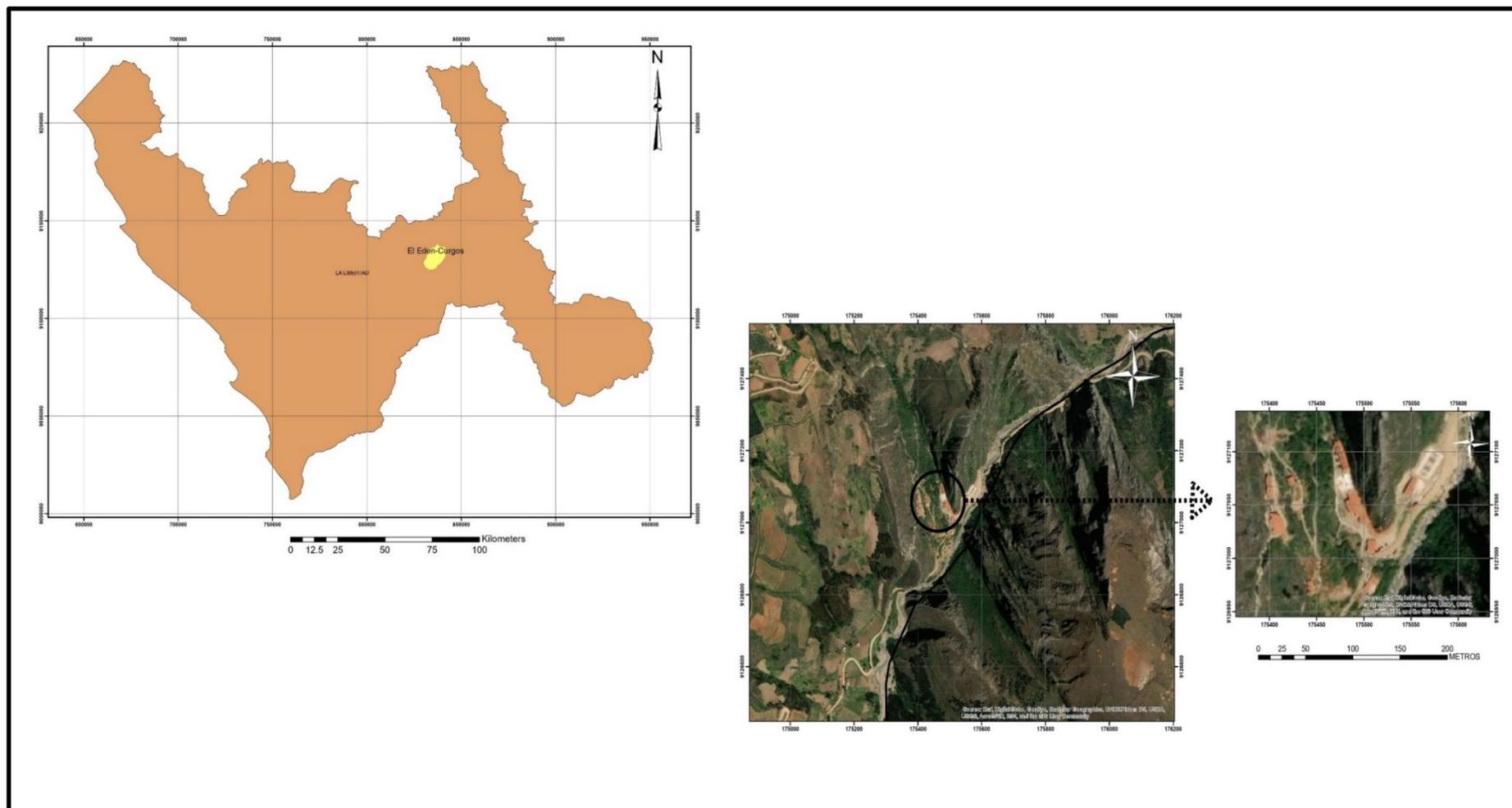
Anexo 9. Estudio geológico del sector de estudio.



Anexo 10. Apuntes relevantes en el cuaderno de campo.



Anexo 11. Mapa de ubicación aguas termales El Edén



Anexo 13a: Informe de ensayo del Laboratorio regional del agua.

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA		GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA		INACAL	
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084				Registro N° LE - 084	
INFORME DE ENSAYO N°			IE 0122074		
DATOS DEL CLIENTE					
Razon Social/Nombre	BRAYAN ENCARNACION RUIZ				
Dirección	-				
Persona de contacto	BRAYAN ENCARNACION RUIZ	Correo electrónico	-		
DATOS DE LA MUESTRA					
Fecha del Muestreo	26.01.22	Hora de Muestreo	12:30		
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-		
Procedimiento de Muestreo	-				
Tipo de Muestreo	Puntual				
Número de puntos de muestreo	01				
Ensayos solicitados	Químicos				
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación				
Referencia de la Muestra:	-				
DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO					
N° Contrato	SC-075	Cadena de Custodia	CC - 074 - 22		
Fecha y Hora de Recepción	27.01.22	14:40	Inicio de Ensayo	27.01.22	15:15
Reporte Resultado	23.02.22	15:55			
 Edder Neyra Jaico Responsable de Laboratorio CIP: 147028					
Cajamarca, 23 de febrero de 2022					
Página: 1 de 3					
<small> "LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO" JR. LUIS ALBERTO SANCHEZ S.N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ e-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe 599000 anexo 1140 </small>					

Fuente: Laboratorio regional del agua – Cajamarca.

Anexo 13b: Informe de ensayo del Laboratorio regional del agua.

ENSAYOS		INFORME DE ENSAYO N°					QUÍMICOS
Código de la Muestra	CO2TA01						-
Código Laboratorio	0122074-01						-
Matriz	Natural						-
Descripción	Subterránea						-
Localización de la Muestra	Curgos- El Edén, provincia de Sánchez Carrión						-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales				
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	<LCM	-	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	<LCM	-	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	0.032	-	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.0260	21.01	-	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	0.541	-	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	<LCM	-	-	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0160	<LCM	-	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	55.04	-	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	<LCM	-	-	-	-
Cerio (Ce)	mg/L	0.0040	<LCM	-	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	<LCM	-	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	<LCM	-	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	<LCM	-	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	3.934	-	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.0510	42.85	-	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.0050	4.403	-	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0190	21.23	-	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	0.716	-	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	<LCM	-	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.0260	415.1	-	-	-	-
Níquel (Ni)	mg/L	0.0060	<LCM	-	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.0240	0.034	-	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	<LCM	-	-	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.0910	2.875	-	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	<LCM	-	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.0070	<LCM	-	-	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	14.26	-	-	-	-
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	-	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	1.555	-	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	<LCM	-	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	<LCM	-	-	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM	-	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	0.008	-	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	<LCM	-	-	-	-
Silice (SiO2)	mg/L	0.2225	30.50	-	-	-	-

Cajamarca, 23 de febrero de 2022

Página: 2 de 3

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO
JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
e-mail: laboratorio@regioncajamarca.gob.pe 599000 anexo 1140

Fuente: Laboratorio regional del agua – Cajamarca.

Anexo 13c: Informe de ensayo del Laboratorio regional del agua.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



IE 0122074

INFORME DE ENSAYO N°

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código de la Muestra	CO2TA01							-
Código Laboratorio	0122074-01							-
Matriz	Natural							-
Descripción	Subterránea							-
Localización de la Muestra	Curgos- El Edén, provincia de Sánchez Carrión							-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.0380	<LCM	-	-	-	-	-
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.0650	727.6	-	-	-	-	-
N-Nitrito (N-NO ₂)	mg/L	0.0130	<LCM	-	-	-	-	-
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.0350	1.293	-	-	-	-	-
N-Nitrato (N-NO ₃)	mg/L	0.0140	0.863	-	-	-	-	-
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.0700	10.29	-	-	-	-	-
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.0320	<LCM	-	-	-	-	-
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg CaCO ₃ /L	0.8500	348.1	-	-	-	-	-
pH a 25°C	pH	NA	6.90	-	-	-	-	-
Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	3240.0	-	-	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Metales Disueltos y Totales por ICP-OES (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Ce, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Hg, K, Li, Na, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, SiO ₂ , Sn, Sr, Ti, Tl, U, V, Zn)	mg/L	EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado) 2020. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Sulfato, Nitrato, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 2510. B. 23rd Ed. 2017. Conductivity. Laboratory Method
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23rd Ed. 2017: Alkalinity. Titration Method.
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF. Part 4500-H+ B. 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrometric Method.

NOTAS FINALES

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
 (**) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 23 de febrero de 2022

Página: 3 de 3

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
 JR. LUIS ALBERTO SANCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERU
 e-mail: laboratorio@regioncajamarca.gob.pe 599000 anexo 1140

Fuente: Laboratorio regional del agua – Cajamarca.

Anexo 14: Mapa geológico del área de estudio

