

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA**



**TESIS**

**“HIDROGEOLOGÍA DE LAS FILTRACIONES DE AGUA EN LA MINA  
UCHUCCHACUA USANDO TRAZADORES ISOTÓPICOS NATURALES”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO GEÓLOGO**

**ELABORADO POR  
HEINZ PIERRE GALDOS LINDAO**

**ASESOR  
MSc. ING. ESTEBAN DIONICIO MANRIQUE ZÚÑIGA**

**LIMA – PERÚ**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A mi Padres y hermanos quienes me apoyaron en mi formación como ingeniero, me dieron sus consejos y apoyo emocional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional de Ingeniería por formarme en sus aulas para ser un excelente profesional dispuesto a aportar en el crecimiento de mi país.

Agradezco al Instituto Peruano de Energía Nuclear-IPEN por brindarme los conocimientos necesarios para poder realizar esta tesis, en especial al Ingeniero Jacinto Valencia, quien fué mi mentor.

A la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. por permitirme realizar mi tema tesis sobre su unidad minera Uchucchacua.

## RESUMEN

Los isótopos de la molécula de agua  $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$  y  $^3\text{H}$ , son considerados como los mejores trazadores geoquímicos del agua y los de mayor interés hidrológico; las diferentes concentraciones isotópicas del agua son su huella dactilar permitiendo diferenciar su origen y otras características.

La aplicación de los conocimientos isotópicos del agua en este caso en particular es para determinar el origen de las filtraciones de agua en la mina Uchucchacua, las aguas de las galerías Carmen, Socorro y el túnel Patón van a ser estudiadas isotópicamente respecto a las muestras de agua de las lagunas Aguascocha, Culicocha y Cutacocha de las que se presume sean la fuente de las filtraciones.

El túnel y las galerías fueron construidas sobre formaciones calcáreas y las lagunas se hospedan sobre formaciones calcáreas también del cretáceo; las galerías se desarrollan principalmente en la Formación Jumasha y las lagunas modeladas en las Formaciones Jumasha y Celendín. Las características químicas ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , etc.) de las formaciones calcáreas son el respaldo del estudio isotópico, esto se realizó mediante el análisis de la química del agua de cada muestra.

Los eventos tectónicos y el contexto geológico nos han permitido hacer una caracterización hidrogeológica de la zona, la cual sumado a los resultados isotópicos nos permite concluir el origen de las filtraciones de agua en las galerías de la mina.

## ABSTRACT

The isotopes of the water molecule  $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$  and  $^3\text{H}$ , are considered to be the best geochemical tracers of water and those of greatest hydrological interest; The different isotopic concentrations of water are its fingerprint, allowing to differentiate its origin and other characteristics.

The application of isotopic knowledge of water in this particular case is to determine the origin of water filtrations in the Uchucchacua mine, the waters of the galleries Carmen, Socorro and the Paton tunnel are going to be studied isotopically with respect to the samples of water from the Aguascocha, Culicocha and Cutacocha lagoons that are presumed to be the source of the leaks.

The tunnel and the galleries were builded on calcareous Formations and the lagoons are hosted on calcareous Formations too of the Cretaceous; the galleries are mainly developed in the Jumasha Formation and the lagoons are modeled in the Jumasha and Celendín Formations. The chemical characteristics ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , etc.) of the formations mentioned are the support of the isotopic study, this was done by analyzing the water chemistry of each sample.

The tectonic events and the geological context have allowed us to make a hydrogeological characterization of the area, which added to the isotopic results, allows us to conclude the origin of the water leaks in the galleries of the mine.

## PRÓLOGO

Una adecuada caracterización Hidrogeológica sumado a la precisión de los análisis isotópicos del agua es capaz de resolver problemas en la industria minera, agrícola y otras donde el recurso hídrico es el protagonista.

En el presente estudio se pretende exponer la técnica isotópica resolviendo el problema de filtración en labores mineras.

Esta tesis consta de cinco capítulos: en primero detalla los aspectos generales de la zona de estudio, el planteamiento del problema y objetivos; el segundo hace una descripción de la geología, siendo la descripción del tipo de litología, tectónica y geológica estructural la que va permitir caracterizar hidrogeológicamente la zona de estudio; el tercero, explica el marco teórico necesario para la comprensión de la técnica isotópica y la hidro geoquímica; en el cuarto, se analizará los resultados isotópicos y geoquímicos los cuales fueron adquiridos en mi proceso formativo en el IPEN y en el quinto capítulo se esquematiza el modelo hidrogeológico indicando las distintas concentraciones isotópicas y químicas en figuras 3D y secciones geológicas.

## ÍNDICE

<b>Capítulo I INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1 Generalidades</b> .....	1
1.1.1 Ubicación y acceso.....	1
1.1.2 Clima.....	3
1.1.3 Flora y Fauna. ....	3
1.1.4 Vertiente hidrográfica. ....	3
<b>1.2 Planteamiento del Problema</b> .....	5
<b>1.3 Objetivo</b> .....	5
<b>1.4 Metodología del Trabajo</b> .....	5
<b>1.5 Antecedentes</b> .....	6
<b>Capítulo II CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	8
<b>2.1 Geología Regional</b> .....	8
<b>2.2 Estratigrafía</b> .....	12
2.2.1 Rocas Sedimentarias. ....	12
2.2.2 Volcánicos.....	16
2.2.3 Rocas Intrusivas. ....	16
2.2.4 Cuaternario.....	17
<b>2.3 Geomorfología</b> .....	19
<b>2.4 Tectónica</b> .....	20
<b>2.5 Geología Estructural</b> .....	21
2.5.1 Fallas.....	21
2.5.2 Pliegues.....	23
2.5.3 Sobreescurremientos.....	24
<b>2.6 Hidrogeología</b> .....	28
2.6.1 Acuífero.....	28
2.6.2 Acuitardo.....	29
<b>Capítulo III MARCO TEÓRICO</b> .....	33
<b>3.1 Los isótopos del agua</b> .....	33
3.1.1 Deuterio $^2\text{H}$ y $^{18}\text{O}$ .....	33
3.1.2 Tritio $^3\text{H}$ .....	35
<b>3.2 Ciclo hidrológico y los isótopos</b> .....	37
<b>3.3 Línea Meteorica Mundial (LMM)</b> .....	39

<b>3.4 Hidro geoquímica.....</b>	<b>40</b>
3.4.1 Hidro geoquímica de las rocas sedimentarias.....	40
3.4.2 Origen de las sustancias disueltas en el agua.....	42
3.4.3 Evolución geoquímica del agua.....	43
<b>Capítulo IV OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>45</b>
<b>4.1 Isotopos Estables.....</b>	<b>49</b>
<b>4.2 Tritio.....</b>	<b>50</b>
<b>4.3 Diagrama de Piper.....</b>	<b>51</b>
<b>4.4 Diagrama de Schoeller.....</b>	<b>54</b>
<b>4.5 Diagrama de Stiff.....</b>	<b>56</b>
<b>Capítulo V MODELAMIENTO HIDROGEOLÓGICO.....</b>	<b>65</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>76</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>79</b>

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> Mapa de acceso a la Mina Uchucchacua. ....	2
<b>Figura 2</b> Mapa de Subcuencas - Cuenca del rio Huaura. ....	4
<b>Figura 3</b> Mapa Geológico regional de Uchucchacua. (Galdos H. 2019, modificado de GEOCATMIN. 2019).....	9
<b>Figura 4</b> Sección Geológica AA´. ....	10
<b>Figura 5</b> Sección Geológica BB´.....	11
<b>Figura 6</b> Calizas grises, Formación Jumasha Medio.....	14
<b>Figura 7</b> Formación Jumasha (Jm) y Jumasha Superior (Js). Foto tomada desde la carretera (314359; 8821929. UTM WGS84) .....	15
<b>Figura 8</b> Calizas margosas con estructuras load marks invertidas. ....	15
<b>Figura 9</b> Columna Estratigráfica de Uchucchacua. (Galdos H.2019, modificado de Gabriel, R.2014) .....	18
<b>Figura 10</b> Imagen satelital de la zona de estudio. ....	19
<b>Figura 11</b> Vista frontal de quebrada que evidencia el sobrecurrimiento Cutacocha. Foto tomada desde la carretera, Formación Jumasha (J), Formación Celendín (Ce). (315008; 8822364, UTM WGS84).....	24
<b>Figura 12</b> Mapa Estructural de Uchucchacua. (Galdos H.2019, modificado de Campos, E.2006) .....	25
<b>Figura 13</b> Modelo evolutivo estructural de las principales formaciones de Uchucchacua - (1/2). ....	26
<b>Figura 14</b> Modelo evolutivo estructural de las principales formaciones de Uchucchacua - (2/2). ....	27
<b>Figura 15</b> Mapa Hidrogeológico de Uchucchacua. ....	30
<b>Figura 16</b> Sección Hidrogeológica AA´.....	31
<b>Figura 17</b> Sección Hidrogeológica BB´. ....	32
<b>Figura 18</b> Relación entre el deuterio $^2\text{H}$ y el $^{18}\text{O}$ en las aguas naturales. Ferronsky y Polyakov. (como se citó en Instituto Tecnológico GeoMinero de España,1991). ....	34
<b>Figura 19</b> Ciclo hidrológico y los isotopos ambientales. (Atomic Energy Authority – AEA).....	38

<b>Figura 20</b> Mapa de muestreo de las lagunas. ....	46
<b>Figura 21</b> Valores isotópicos de las muestras de agua y la LMM.....	49
<b>Figura 22</b> Diagrama de Piper de las muestras de las lagunas.....	52
<b>Figura 23</b> Diagrama de Piper de las muestras de las galerías. ....	53
<b>Figura 24</b> Diagrama de Schoeller de las muestras de las lagunas. ....	54
<b>Figura 25</b> Diagrama de Schoeller de las muestras de las galerías.....	55
<b>Figura 26</b> Diagrama de Stiff de muestra Cuta-1. ....	56
<b>Figura 27</b> Diagrama de Stiff de muestra Cuta-2. ....	57
<b>Figura 28</b> Diagrama de Stiff de muestra Aguasco. ....	57
<b>Figura 29</b> Diagrama de Stiff de muestra Culi-1. ....	58
<b>Figura 30</b> Diagrama de Stiff de muestra Culi-2. ....	58
<b>Figura 31</b> Diagrama de Stiff de muestra Patón-1. ....	60
<b>Figura 32</b> Diagrama de Stiff de muestra Patón-2. ....	60
<b>Figura 33</b> Diagrama de Stiff de muestra Patón-3. ....	61
<b>Figura 34</b> Diagrama de Stiff de muestra Soco-1. ....	61
<b>Figura 35</b> Diagrama de Stiff de muestra Soco-2. ....	62
<b>Figura 36</b> Diagrama de Stiff de muestra Car.....	62
<b>Figura 37</b> Modelo según Deuterio $^2\text{H}$ y Oxígeno $^{18}\text{O}$ . ....	66
<b>Figura 38</b> Modelo según el Tritio.....	67
<b>Figura 39</b> Modelo según la Química del Agua. ....	68
<b>Figura 40</b> Sección LitoHidrogeológica B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> ´. ....	70
<b>Figura 41</b> Sección LitoHidrogeológica CC´. ....	71
<b>Figura 42</b> Sección LitoHidrogeológica DD´. ....	72
<b>Figura 43</b> Sección LitoHidrogeológica EE´. ....	73

## **Lista de tablas**

<b>Tabla 1</b>	Concentraciones del Tritio y su interpretación, (ITGME, 1991) .....	36
<b>Tabla 2</b>	Valores isotópicos de los puntos de muestreo en Uchucchacua. ....	47
<b>Tabla 3</b>	Análisis químico de los puntos de muestreo en Uchucchacua. ....	48

## **Lista de Anexos**

**Anexo A Mapas..... 79**

Mapa de Subcuencas de la Cuenca del río Huaura.

Mapa Geológico regional de Uchucchacua.

Mapa Hidrogeológico de Uchucchacua.

Mapa de muestreo de las lagunas.

## **Capítulo I**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 Generalidades.**

##### **1.1.1 Ubicación y acceso.**

La zona de estudio se sitúa en la vertiente occidental de los Andes, correspondiente al departamento de Lima, provincia y distrito de Oyón a una altitud promedio de 4300 msnm. Con las siguientes coordenadas; 8825148.8N / 315249.2 E, UTM WGS84 18S. |

La ruta más corta es Lima - Sayán – Churín – Oyón - Uchucchacua, con 257 Km., otra alternativa de ruta de acceso es la que une Lima – La Oroya – Cerro de Pasco con 312 Km. y de Cerro de Pasco - Uchucchacua con 71 Km. En la Figura 1 se muestra en mapa de ubicación y acceso a la zona de estudio.

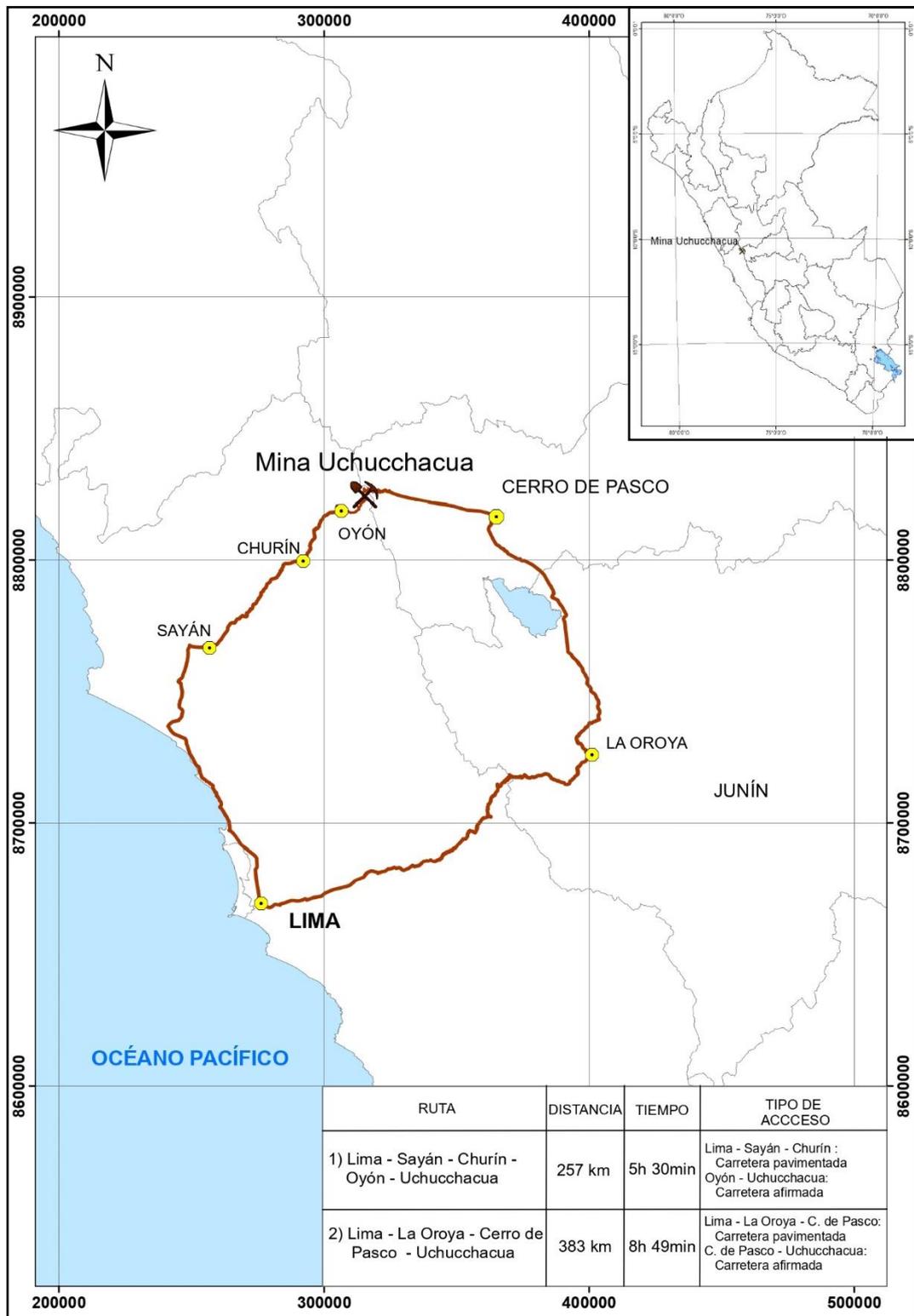


Figura 1 Mapa de acceso a la Mina Uchucchacua.

### **1.1.2 Clima.**

Clima tundra, hace mucho frío casi todo el año, se reconocen dos estaciones; una seca comprendida entre los meses de abril - diciembre con temperaturas aproximadas entre  $-2^{\circ}\text{C}/15^{\circ}\text{C}$  con nevada y 2mm de lluvia y una estación húmeda entre los meses de enero-marzo con temperaturas aproximadas entre  $3^{\circ}\text{C}/15^{\circ}\text{C}$  con 120mm de lluvia. (Climate-data.org)

### **1.1.3 Flora y Fauna.**

En Oyón la flora y fauna es característica de una zona de alta montaña.

La fauna está conformada por los siguientes animales: alpaca, burro, llama, vaca, vicuña, venado, vizcacha, zorro, zorrillo, puma, perdices; en aves: cóndor, gallinetas, gaviotas, patos silvestres, gavián, gorriones; en peces, truchas, bagres, challhuas.

La flora está conformada por las siguientes vegetaciones: en árboles, el quinual, cipres, guinda, pino, eucalipto; en pastos, ichu, grama; en plantas aromáticas, por el cedrón, muña, manzanilla, menta, ruda; en hortalizas, zanahoria, betarraga, apio, poro, rabanito, col.

### **1.1.4 Vertiente hidrográfica.**

La zona de estudio pertenece a la subcuenca Pampahuay-Patón de la cuenca del río Huaura y tiene como fuentes hídricas el deshielo de nevados, lagunas y las precipitaciones de carácter estacional. La laguna Patón descarga en el río Patón, que es afluente del río Huaura. En la Figura 2 (ver mapa Anexo A) se observa la subcuenca Pampahuay-Patón.



Figura 2 Mapa de Subcuencas - Cuenca del río Huaura.

## **1.2 Planteamiento del Problema.**

La unidad minera Uchucchacua es una mina subterránea, la cual en sus galerías Carmen, Socorro y el túnel Patón presentan filtraciones de agua lo que dificulta la actividad minera. Se plantea que las filtraciones pueden ser producidas por las aguas de las lagunas Aguascocha, Culicocha y Cutacocha ubicadas en la cercanía de la mina.

## **1.3 Objetivo.**

- Determinar el origen de las filtraciones mediante el estudio hidrogeológico usando trazadores isotópicos naturales y la química del agua.
- Elaborar un modelo hidrogeológico de las filtraciones de agua en la Mina.

## **1.4 Metodología del Trabajo.**

- Trabajo de Pre-Campo; identificación de la zona de estudio, del contexto geológico, de las formaciones geológicas y sus características regionales estructurales e hidrogeológicas.
- Salida de campo; descripción de las formaciones geológicas y estructuras observadas, obtención de muestras de las aguas superficiales y de las galerías en los siguientes puntos:
  - Cuta-1, Laguna Cutacocha, 8827494 N/ 314797 E
  - Cuta-2, Laguna Cutacocha, 8827700 N/ 315280 E
  - Aguasco, Laguna Aguascocha, 8827840 N/ 317590 E
  - Culi-1, Laguna Culicocha, 8825740 N/ 314925 E
  - Culi-2, Laguna Culicocha, 8825480 N/ 315110 E
  - Patón-1, Túnel Patón 3+300

- Patón-2, Túnel Patón 3+200
  - Patón-3, Túnel Patón 1+460
  - Soco-1, Nivel.240 galería 928
  - Soco-2, Nivel 120 veta Bony sub nivel 184
  - Car, Nivel 1220 veta 4A
- Trabajo Post-Campo; Análisis de laboratorio y su posterior interpretación; los análisis isotópicos de  $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$  y química del agua se desarrollan en un espectrómetro de masas, los de  $^3\text{H}$  en un espectrómetro de centelleo líquido. Interpretación de la geología observada, elaboración de mapas y secciones geológicas e hidrogeológicas.

### **1.5 Antecedentes.**

La mina Uchucchacua es un yacimiento tipo skarn desarrollado en el Terciario superior (Boletín N°55, 1995), cuya mineralización radica en una variedad de minerales de plata, manganeso, plomo y zinc.

Estos minerales se disponen en vetas y cuerpos masivos, localizados alrededor de intrusiones menores de dacita. Las rocas hospedantes son calizas cretácicas de la formación Jumasha que controlan estratigráficamente la mineralización y que están fuertemente plegadas y desplazadas por fallas inversas (Busell y otros (1990). Como se citó en Villacorta, Chira, Ochoa, Sánchez y Pari, 2010, p.29).

Este yacimiento es administrado por Cía. de Minas Buenaventura S.A. y cuenta con tres minas en explotación: Socorro, Carmen y Huantajalla. Los métodos de explotación utilizados son los de corte y relleno ascendente Bench & Fill. El acceso

principal a las zonas de minado se realiza a través de una rampa descendente. Para la ventilación de las labores se cuenta con tres ventiladores principales y ventiladores secundarios para las exploraciones y desarrollos. Para el drenaje de mina se cuenta con dos estaciones de bombeo de agua en serie, con una capacidad de 1 000 y 750 l/s que evacúa el agua. ([www.buenaventura.com](http://www.buenaventura.com))

El proceso metalúrgico de Uchucchacua consta de dos circuitos: el circuito 1 de una capacidad de 2 810 T/D y el circuito 2 de una capacidad de 1 100 T/D. Los concentrados de piritas de ambos circuitos son enviados a la planta de cianuración, cuya capacidad es de 300 T/D. El proceso de cianuración se realiza en tanques y espesadores. La capacidad de tratamiento actual es de 3910 TMD. ([www.buenaventura.com](http://www.buenaventura.com))

## **Capítulo II**

### **CONTEXTO GEOLÓGICO**

#### **2.1 Geología Regional.**

En el cretáceo las rocas sedimentarias; como lo son el Grupo Goyllarisquizga, Grupo Machay, las Formaciones Jumasha y Celendín están concordantes entre sí, en cambio las Formaciones Casapalca del Paleógeno y el Grupo Calipuy del Neógeno están en discordancia a las del cretáceo.

Todo este paquete sedimentario fue afectado desde el hundimiento de la placa de Nazca en el Santoniano, por esfuerzos compresivos, siendo los más importantes la fase Peruana, Inca y Quechua provocando la deformación de las rocas sedimentarias y formando importantes antiformas como el anticlinal de Cachipampa. (Sánchez, 2017, p.21). En el flanco occidental del anticlinal Cachipampa se concentra la mayor cantidad de fracturas que permeabilizan las rocas para generar posibles acuíferos.

La Figura 3 (ver mapa Anexo A), corresponde a la geología regional de la Mina Uchucchacua. La Figura 4 y Figura 5 representa secciones geológicas donde se aprecian distintas fallas y antiformas producto del tectonismo en la zona.







## **2.2 Estratigrafía.**

En la zona de Uchucchacua las series del Cretáceo son esencialmente marinas, el ciclo mundial eustático se encuentra con trasgresiones al Valangiano y al Albiano y la regresión al Cretáceo terminal. (Según Romani, 1982. Como se citó en Sánchez, 2007, p.11)

### **2.2.1 Rocas Sedimentarias.**

La descripción de las rocas sedimentarias nos proporciona información relevante para caracterizarlas hidrológicamente.

Las rocas sedimentarias en la zona de estudio están conformadas por dos grandes grupos y algunas otras formaciones geológicas (Figura 9): El Gpo. Goyllarisquizga conformada por las Formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat; el Gpo. Machay por las Formaciones Pariahuanca, Chulec, Pariatambo, y las Formaciones Jumasha, Celendín y Casapalca. La litología es de suma importancia para la caracterización hidrogeológica. Ellas son:

#### ***Grupo Goyllarisquizga (Ki-g)***

*Formación Chimú (Ki-chi).* - Constituida por areniscas cuarzosas blancas, intercaladas con arcillas y lechos carbonosos. Con una potencia aproximada de 400 a 600 m., observada en el anticlinal Patón. Sobreyace concordantemente a la formación Oyón del Berrasiano e infrayace a la formación Santa del Valangiano, asignándole la edad Berrasiano Superior-Valanginiano Inferior.

*Formación Santa (Ki-s).* - Constituida por calizas con limoarcillitas grises y ocasionales nódulos de chert. Con una potencia de 120 m., se observa en el flanco este y oeste del anticlinal Patón. Se le asigna la edad de Valangiano Superior.

*Formación Carhuaz (Ki-ca).* - Constituida por limoarcillitas grises intercaladas con areniscas finas y una capa superior de arenisca cuarzosa y color rojo. Con una potencia de 600 m., se observa en el flanco oeste del anticlinal Patón. Se le asigna la edad de Valanginiano Superior-Berremiano.

*Formación Farrat (Ki-f).* - Constituida por arenisca cuarzosa blanca con estratificación cruzada. Con una potencia de 50 m., se observa en el flanco oeste del anticlinal Patón. Se le asigna la edad de Aptiano.

***Grupo Machay (Ki-m)***

*Formación Pariahuanca (Ki-ph).* - Constituida por calizas grises, amarillentas y limoarcillitas grises. Con una potencia de 50 m., se observa en el flanco oeste del anticlinal Patón. Sobreyace concordantemente a la Formación Farrat e infrayace a la Formación Chulec, asignándole la edad de Aptiano Superior.

*Formación Chúlec (Ki-chu).* - Constituida por calizas grises y margas. Con una potencia de 200 m., se observa al noroeste de la laguna Patón. Se le asigna la edad de Albiano Inferior.

*Formación Pariatambo (Ki-pt).* - Constituida por calizas bituminosas con limoarcillitas negras. Con una potencia de 50 m., se observa en el flanco oeste del anticlinal Patón. Se le asigna la edad de Albiano Medio.

***Formación Jumasha (Ks-j).*** - Esta formación es la mayor unidad calcárea en el Perú central, en nuestra zona de estudio se evidencia un relieve abrupto por parte de la misma. Se subdivide en tres miembros:

*Jumasha inferior (Ks-ji)*. - Estratos delgados de calizas con limoarcillitas negras. Con una potencia de 560 m.

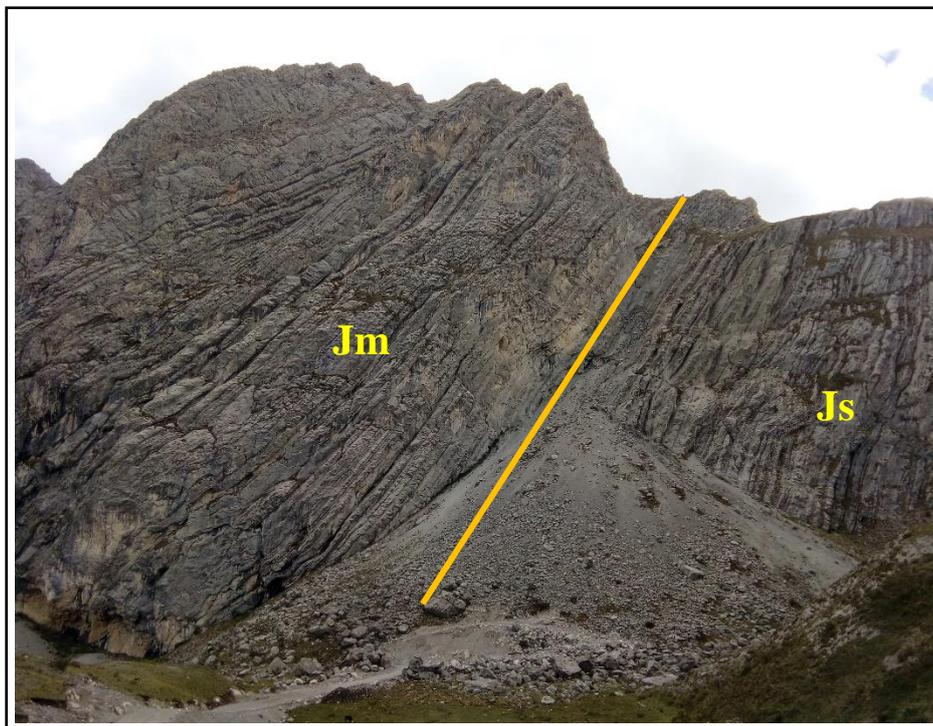
*Jumasha medio (Ks-jm)*. - Estratos medianos a gruesos de calizas grises y algunos horizontes margosos. Con una potencia de 480 m. (Figura 6)

*Jumasha superior (Ks-js)*. - Estratos delgados de caliza intercalado con limoarcillitas grises. Con una potencia de 400 m. (Figura 7)

Jumasha tiene una potencia aproximada de 1400 a 1500 m. se observa al norte de la laguna Patón. Se le asigna la edad de Albiano Superior- Turoniano.



**Figura 6** Calizas grises, Formación Jumasha Medio.



**Figura 7** Formación Jumasha (Jm) y Jumasha Superior (Js). Foto tomada desde la carretera (314359; 8821929. UTM WGS84)

**Formación Celendín (Ks-ce).** - Constituida por calizas margosas, margas blancas que intemperizan a un color amarillo crema. Con una potencia de 200m., se observa al oeste del sobrescurrimiento cutacocha y al este del eje anticlinal Cachipampa. Se le asigna la edad de Coniaciano-Santoniano. (Figura 8)



**Figura 8** Calizas margosas con estructuras load marks invertidas.

**Formación Casapalca (KsP-c).** - Constituida por areniscas y margas de color rojo con algunos lechos de conglomerados y raramente horizontes lenticulares de caliza gris. Con una potencia de 1000 m., se observa al este del anticlinal Cachipampa. Se le asigna la edad de Post-Santoniano.

### **2.2.2 Volcánicos.**

**Grupo Calipuy (PN-c).** - Se observa al norte de Uchucchacua, con una potencia de 500 m. compuesto por derrames andesíticos de edad terciaria. Dataciones de Romaní indican una edad aproximada de 5.56-5.23 Ma, por lo que se le asigna una edad de Plioceno inferior. La fase tectónica Quechua 3 deforma estas rocas, por lo que presentan un ligero plegamiento.

### **2.2.3 Rocas Intrusivas.**

La intrusión de los cuerpos magmáticos posiblemente produce fracturas o microfracturas en las calizas, generando porosidad secundaria en las formaciones geológicas, en Uchucchacua se evidencia dos tipos de intrusivos:

Los pórfidos de dacita forman pequeños stocks de hasta 30 metros de diámetro, también se tiene diques y apófisis de dacita distribuidos irregularmente en el flanco occidental del valle, afectando a las calizas Jumasha - Celendín principalmente en las áreas de Carmen, Socorro, Casualidad y Plomopampa. Los intrusivos forman aureolas irregulares de metamorfismo de contacto en las calizas. (Tarazona, 2014, p.23)

En el norte de Chacua intruyen diques riolíticos en los Volcánicos Calipuy. (Bussell. Como se citó en Tarazona, 2014)

#### **2.2.4 Cuaternario.**

Los depósitos cuaternarios según su características litológicas y extensión pueden ser ideales acuíferos o acuitardos.

*Depósito Glaciar (Q-gl).* - Valles en forma de “U” con depósitos morrénicos frontales y laterales compuestos por fragmentos heterogéneos, pobremente clasificados, estas morrenas permitieron la formación de lagunas como la laguna Patón.

*Depósito Aluvial (Qh-al).* - Depósitos formados en la base de las laderas, material transportado por efecto de la gravedad, representado por material mal clasificado, clastos angulares en matriz arcillosa.

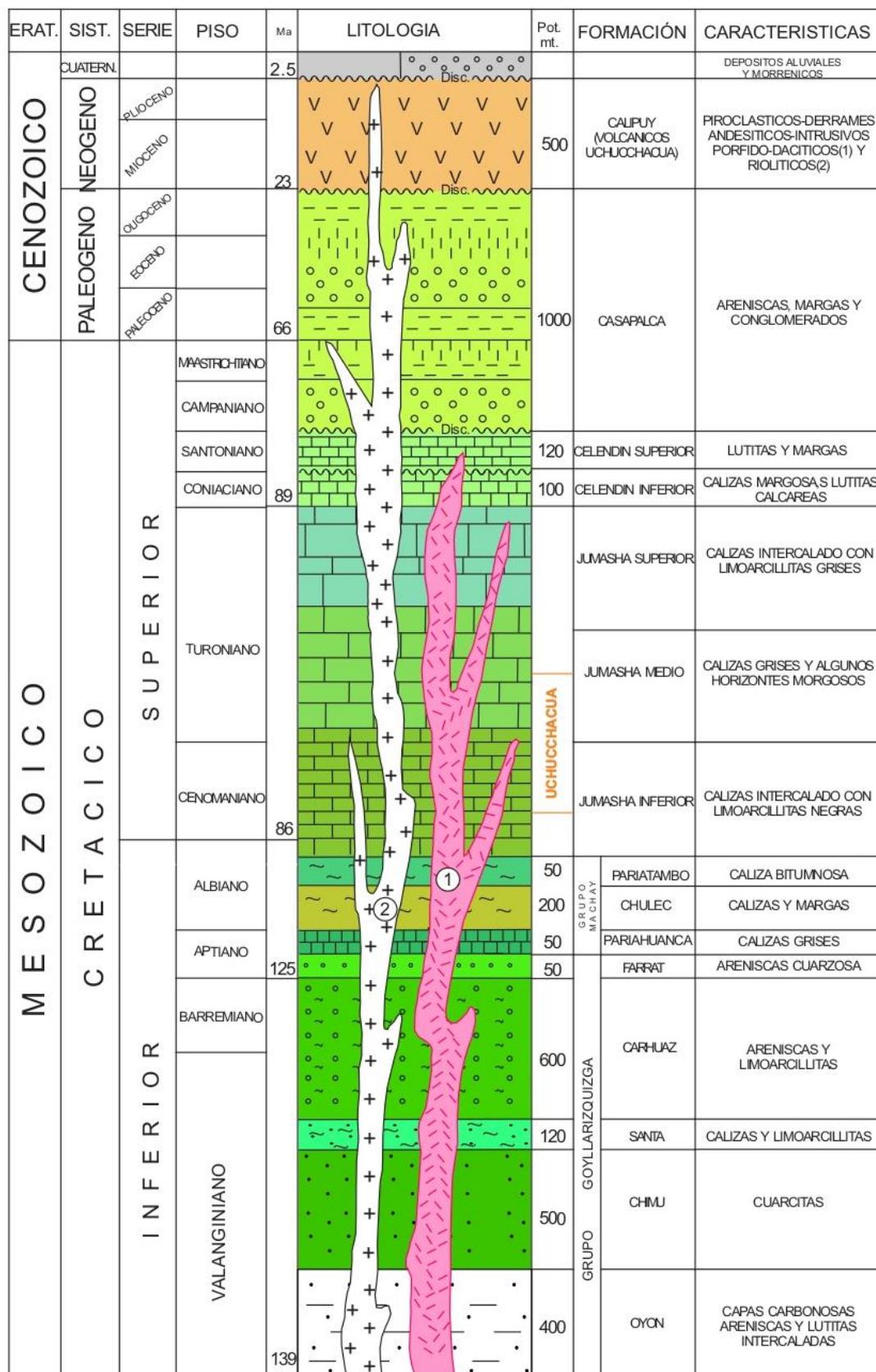


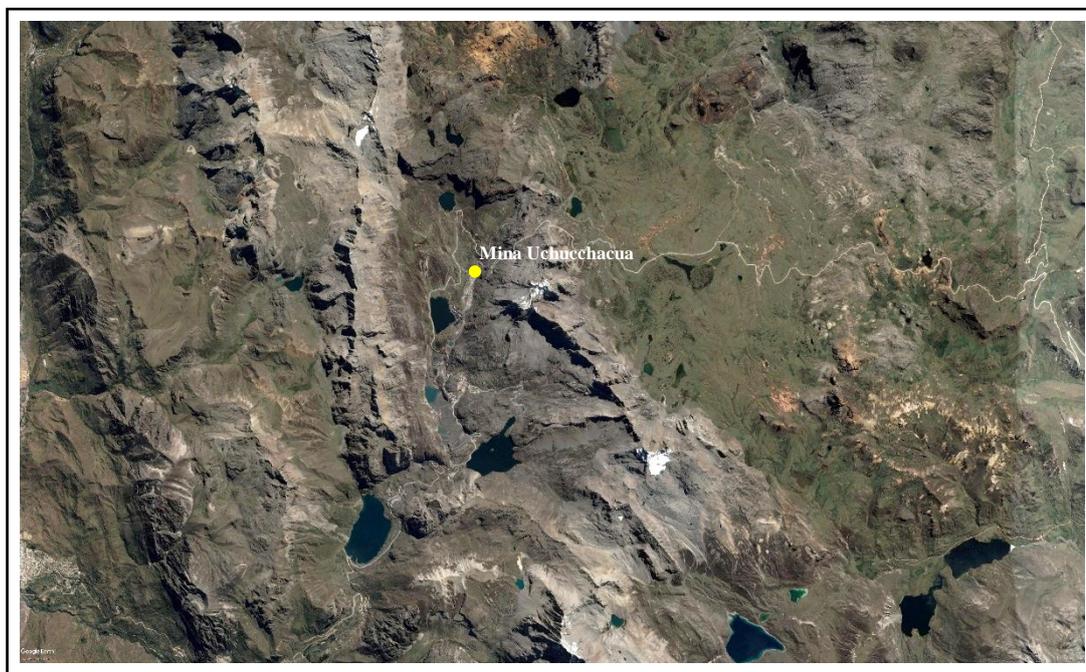
Figura 9 Columna Estratigráfica de Uchucchacua. (Galdos H.2019, modificado de Gabriel, R.2014)

### 2.3 Geomorfología.

Las actividades de la mina Uchucchacua se desarrollan en un circo glaciar cerca a la divisoria continental. La zona tiene un relieve abrupto, con cotas por encima de los 5000 msnm. La zona muestra quebradas en formas de “U” y “V”.

Los valles en “U” fueron el resultado de los efectos de la glaciación pleistocénica. Se evidencian morrenas frontales y laterales en los valles, estas en varios casos, acumularon el agua de los deshielos permitiendo la formación de varias lagunas en el lugar, siendo una de las más importantes la laguna Patón.

En la Figura 10, se muestra una imagen satelital de Uchucchacua donde se aprecia el relieve descrito anteriormente, las lagunas y los remanentes de nevados.



*Figura 10 Imagen satelital de la zona de estudio.*

## 2.4 Tectónica.

La actividad tectónica en la zona de estudio es importante ya que esta genera el mayor fracturamiento en las rocas calcáreas de nuestra zona de estudio.

Según Romani (1982) se describen seis fases tectónicas que tiene influencia en la zona de estudio:

- La Fase Peruana, fini-Cretácea, que se manifiesta en la futura Cordillera Occidental solo por un cambio de régimen de sedimentación.
- La Fase Incaica orientada NO-SE fechada aproximadamente 40Ma.
- La fase Quechua 1 con la misma orientación que la precedente y comprendida entre 21 y 14 Ma.
- La Fase Quechua 2 submeridiano comprendida entre 10.5 y 14 Ma.
- La Fase Quechua 3 orientada E-O, comprendida entre 4.5 y 6 Ma.
- La Fase Cuaternaria N 130 de aproximadamente 2 Ma.

Al NO de la hacienda Otuto, dos brechas Terciarias de edades diferentes, discordantes sobre su substratum permiten separar las tres fases NO-SE (Incaica, Quechua 1) y E-O (Quechua 3). La fase Quechua 2 parece diferenciarse por un pliegue decamétrico de eje NO-SE. La Fase Cuaternaria solo se distingue por una falla que afecta a un dique riolítico, cortando la serie volcánica fini-Miocena al norte de Uchucchacua. (Sánchez, 2007, p.32)

La Fase Quechua 3 posee una intensidad relativamente importante, puesto que acentúa el sobreescurrecimiento occidental y pliega la serie volcánica fechada en su tope en 5.4 Ma. (Sánchez, 2007, p.33)

## **2.5 Geología Estructural.**

La geología estructural de la zona es muy importante para la comprensión del yacimiento y en este caso en particular su influencia en aspectos hidrogeológicos. En la zona de estudio se observan fallas, pliegues y sobreescurrecimientos (Figura 12) los cuales serán descritos y las más importantes servirán para hacer un modelo evolutivo estructural de la zona de estudio (Figura 13 y Figura 14).

Estructuralmente, el yacimiento de Uchucchacua fue afectado por importantes plegamientos ocurridos en la región Central del Perú. Estos pliegues tienen direcciones N 30° - 50° W, siendo sus principales expresiones los anticlinales de Cachipampa y Patón. Asimismo, como parte del plegamiento andino se han producido pliegues invertidos, fallas de cizalla y fallas de tensión. Entre las fallas más importantes relacionadas al plegamiento regional se tiene a las fallas: Uchucchacua, Cachipampa, Socorro, Rosa, Sandra y Plomopampa; las que estructuralmente están relacionadas a la mayor mineralización de Uchucchacua. (Campos, 2006, p.9).

### **2.5.1 Fallas.**

El área ha sido afectada por numerosas fallas en diversas etapas, a nivel regional se observa que las de mayor magnitud son transversales al plegamiento desplazándose en ese sentido, aunque también los movimientos verticales son importantes. (Medina, 2006, p.6)

**Falla Cachipampa.** - Se desarrolla casi paralelo a la falla Socorro, con rumbo entre  $40^{\circ}$  -  $45^{\circ}$  NE y de buzamiento alto. Tiene un movimiento dextral siendo de importancia en la mineralización de la mina Socorro, y desplaza al eje del Anticlinal Cachipampa.

**Falla Mancacuta.** - Pasa por el lago del mismo nombre tiene un movimiento principal dextral, es aproximadamente de rumbo N  $45^{\circ}$  E y de alto ángulo de buzamiento. Corta y desplaza a los anticlinales de Patón y Cachipampa conformados por sus respectivas unidades litológicas. (Medina, 2006, p.6)

**Falla Patón.** - Tiene un rumbo promedio de N  $65^{\circ}$  E, con un desplazamiento de gran magnitud tanto en vertical como en horizontal, en este último en sentido dextral. Se muestra vertical a la altura de Otuto e inclinado progresivamente hasta los N  $40^{\circ}$  W en su extremo NE. (Medina, 2006, p.6)

**Falla Rosa.** -Tiene un rumbo promedio de S  $80^{\circ}$  E y alto ángulo de buzamiento, tiene un comportamiento sinextral – normal. En el rumbo EW se presenta como una zona favorable, emplazándose los principales cuerpos conocidos. (Medina, 2006, p.6)

**Falla Socorro.** – Tiene un rumbo promedio de N $40^{\circ}$ E, de movimiento dextral.

Se le estima un desplazamiento horizontal de 550 m. Esta falla y sus estructuras asociadas son importantes ya que están íntimamente ligadas a los procesos de fracturamiento secundario y actividad hidrotermal de Uchucchacua. (Medina, 2006, p.6)

**Falla Uchucchacua.** - Tiene un rumbo N20°E y buzamiento de alto ángulo, con movimiento dextral y desplazamiento vertical aproximado de 500 m. es de suma importancia en la mineralización de la mina y en el fracturamiento secundario de las calizas.

### 2.5.2 Pliegues.

**Anticlinal Cachipampa.** – Se observa al este de Uchucchacua, dislocado por la falla Cachipampa y en menor grado por las fallas Socorro y Rosa, es el anticlinal Cachipampa la estructura mayor que otorga su disposición general a la serie estratificada en la mayor parte del distrito minero. (Romani, 1982. Como se citó en Sánchez, 2007)

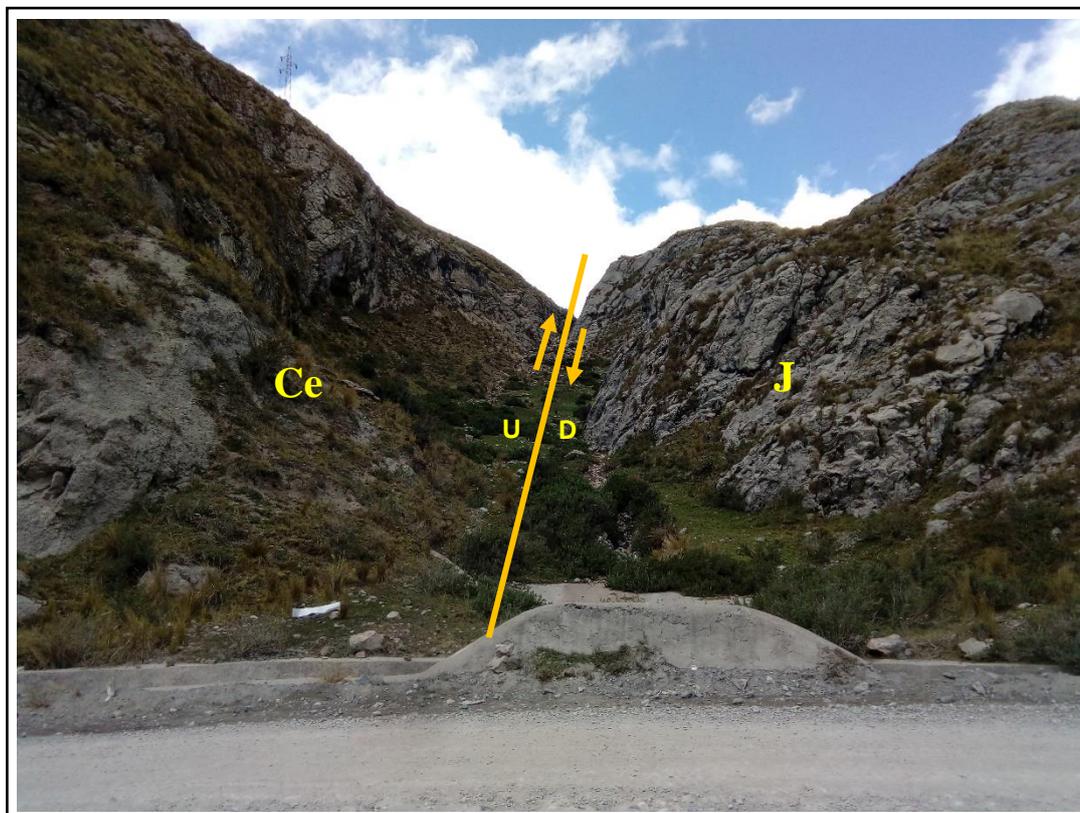
Es un anticlinal asimétrico con rumbo N35°W, su plano axial buza 50° al SW, en el flanco oriental los estratos presentan buzamientos entre 70°-80° NE, en el flanco occidental los estratos presentan buzamientos leves entre 10°-20° SW y por efecto de algunas fallas algunos estratos presentan buzamientos entre 15°- 20° NE.

**Anticlinal Patón.** – Se observa al Sur-Oeste de Uchucchacua, dislocado por la falla Mancacuta. Es un anticlinal volcado con rumbo N15°W, su plano axial buza 60° al SW, en el flanco oriental los estratos se encuentran invertidos, lo que coloca a la formación Jumasha encima de la formación Celendín, los estratos presentan un buzamiento de 60° SW, en el flanco occidental los estratos presentan buzamientos entre 20°- 30° SW.

### 2.5.3 Sobreescurrecimientos.

En Uchucchacua las formaciones cretácicas presentan una base “lubricante” constituida por las lutitas Oyón, que permitió la configuración de pliegues invertidos y sobreescurrecimientos por esfuerzos compresivos. Hacia el Nor-oeste el sobreescurrecimiento Mancacuta pone a la formación Chimú plegada sobre las margas Celendin. (Medina, W. 2006)

En Uchucchacua el sobreescurrecimiento Cutacocha pone al flanco oriental del anticlinal Patón sobre la formación Jumasha, en la Figura 11 se observa una quebrada la cual muestra evidencias de este sobreescurrecimiento, describiendo así un movimiento inverso dextral.



**Figura 11** Vista frontal de quebrada que evidencia el sobreescurrecimiento Cutacocha. Foto tomada desde la carretera, Formación Jumasha (J), Formación Celendín (Ce). (315008; 8822364, UTM WGS84)

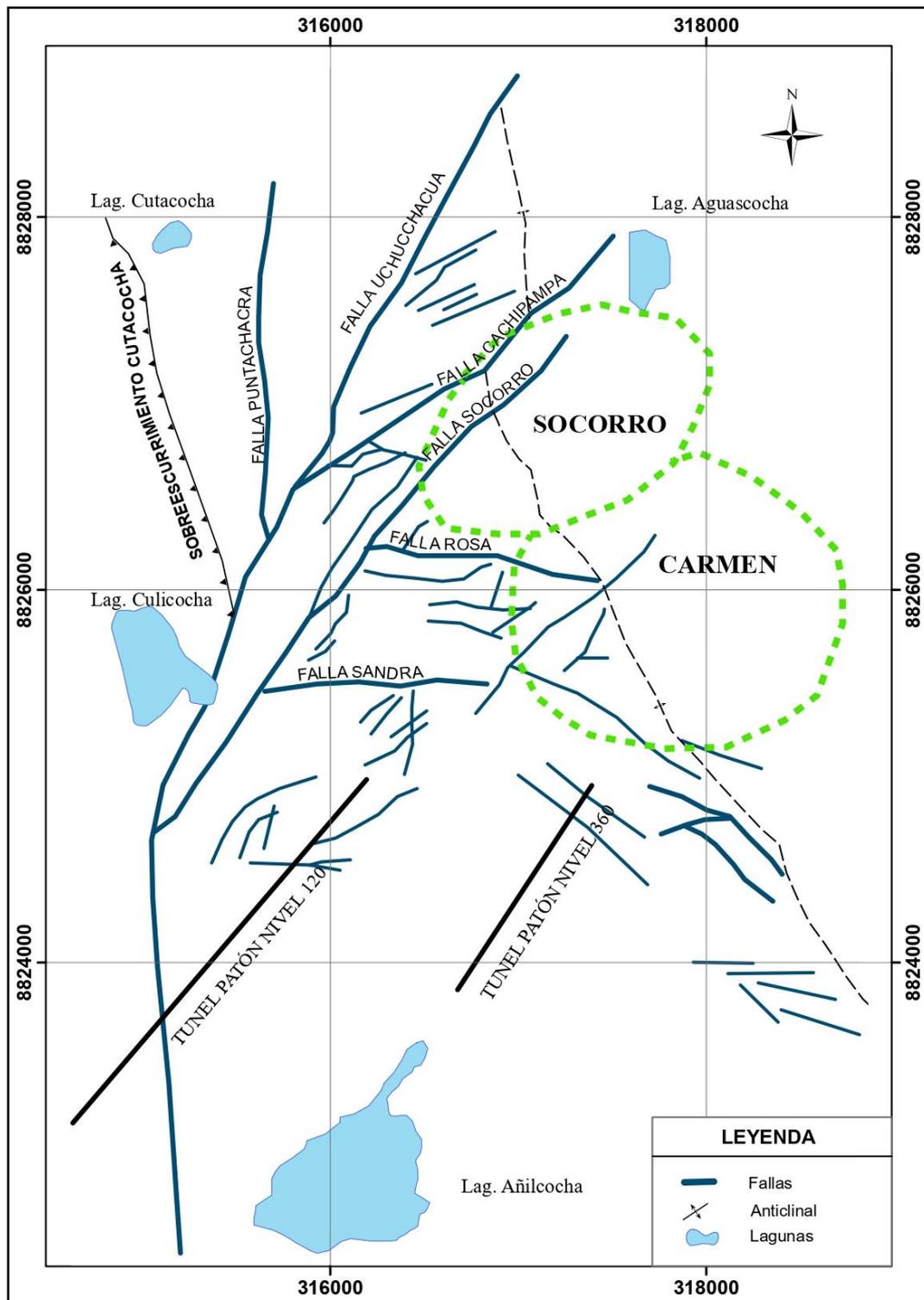
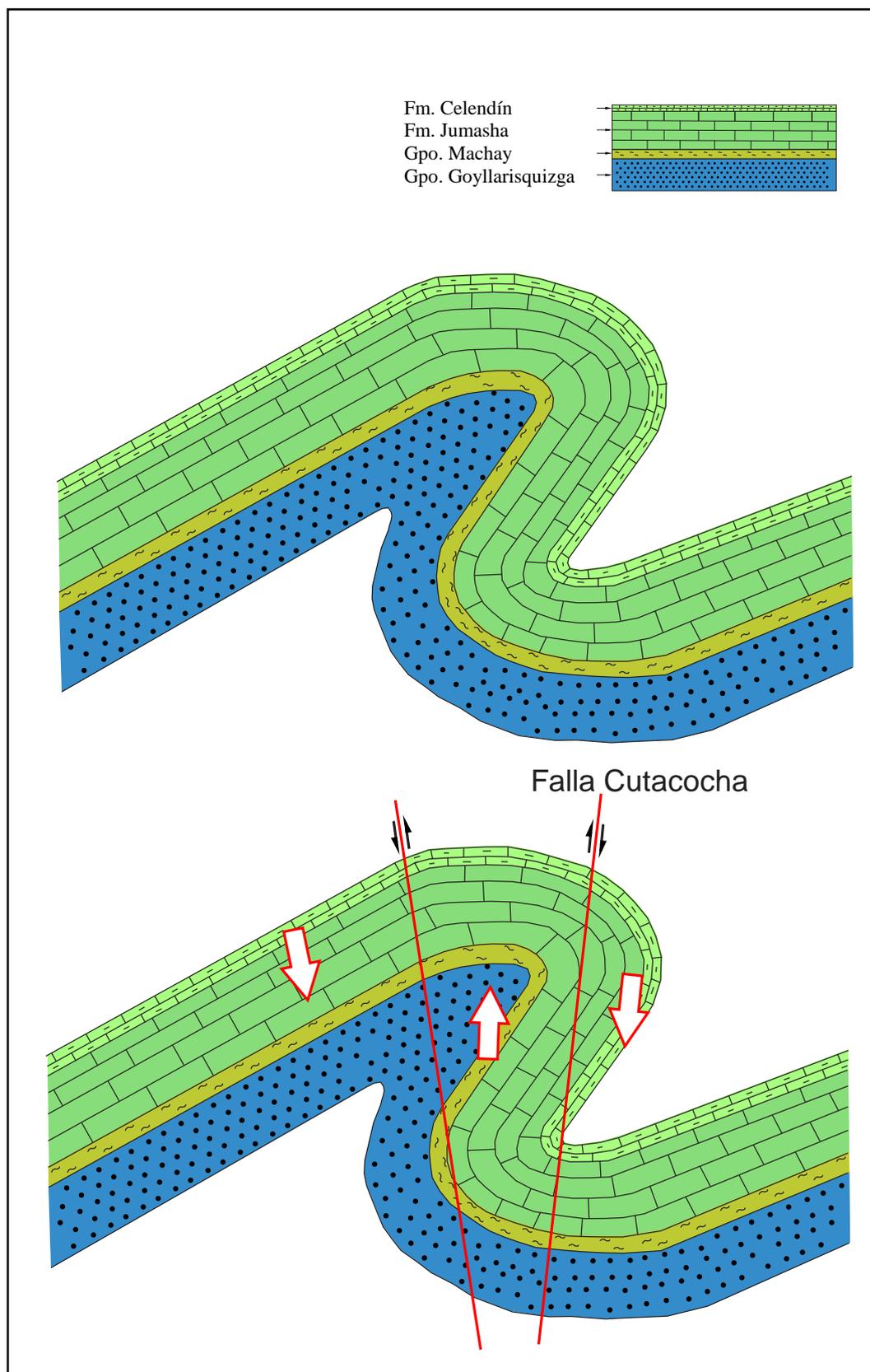
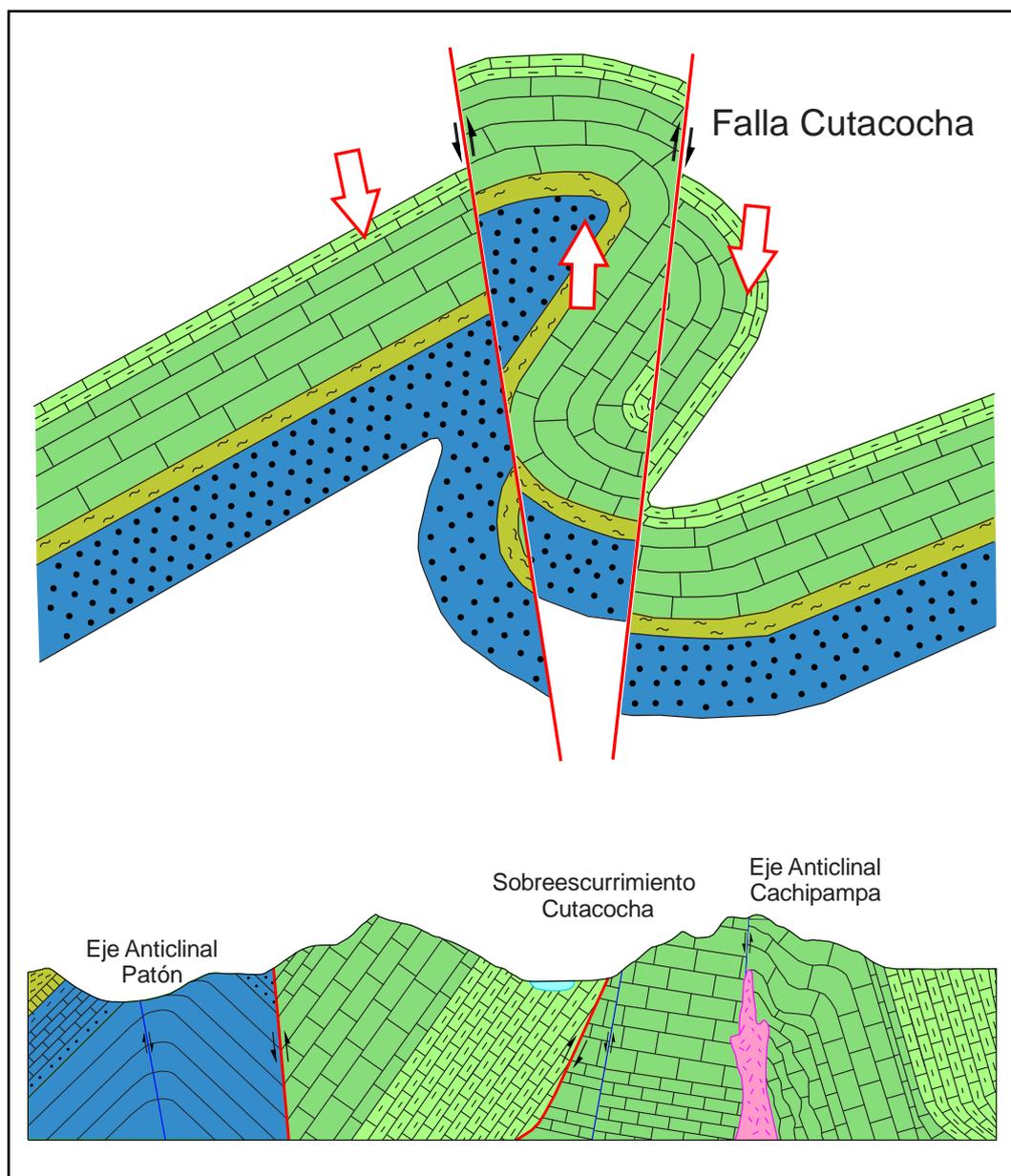


Figura 12 Mapa Estructural de Uchucchacua. (Galdos H.2019, modificado de Campos, E.2006)



**Figura 13** Modelo evolutivo estructural de las principales formaciones de Uchucchacua - (1/2).



**Figura 14** Modelo evolutivo estructural de las principales formaciones de Uchucchacua - (2/2).

## **2.6 Hidrogeología.**

Las unidades hidrogeológicas están agrupadas según sus características hidrogeológicas como acuíferos (Ac) o acuitardos (Act).

Se ha considerado como unidades hidrogeológicas a las formaciones del Grupo Goyllarisquizga y Grupo Machay (Ac-GM), a las Formaciones Jumasha y Celendín (Ac-JCe), a la Formación Casapalca (Ac-C), a el Grupo Calipuy (Act-Ca) y a los Depósitos Aluviales y Glaciares (Ac-AIGl). (Figura 15) (ver mapa Anexo A)

La Figura 16 y Figura 17 son secciones hidrogeológicas que representan las unidades hidrogeológicas mencionadas anteriormente.

### **2.6.1 Acuífero.**

Los acuíferos son formaciones geológicas con capacidad de almacenar y transmitir agua en cantidades significativas.

#### ***Acuífero Poroso no Consolidado. –***

*Grupo Goyllarisquizga y Grupo Machay (Ac-GM):* Formaciones detríticas permeables en general no consolidadas, acuífero generalmente extenso, con permeabilidad elevada, generalmente están compuestas por calizas, areniscas y limoarcillitas.

*Depósitos Aluviales y Glaciares (Ac-AIGl):* Depósitos detríticos permeables en general, no consolidada, con permeabilidad elevada, litológicamente constituida por material aluvial, morrenas, gravas.

***Acuífero Fisurado Sedimentario. –***

*Formaciones Jumasha y Celendín (Ac-JCe):* Formaciones consolidadas y fisuradas, incluye formaciones kársticas, acuífero local o discontinuo productivo, con permeabilidad media, compuesta por calizas, margas y limoarcillitas.

*Formación Casapalca (Ac-C):* Formación consolidadas, con permeabilidad media, compuesta por areniscas, margas y conglomerados.

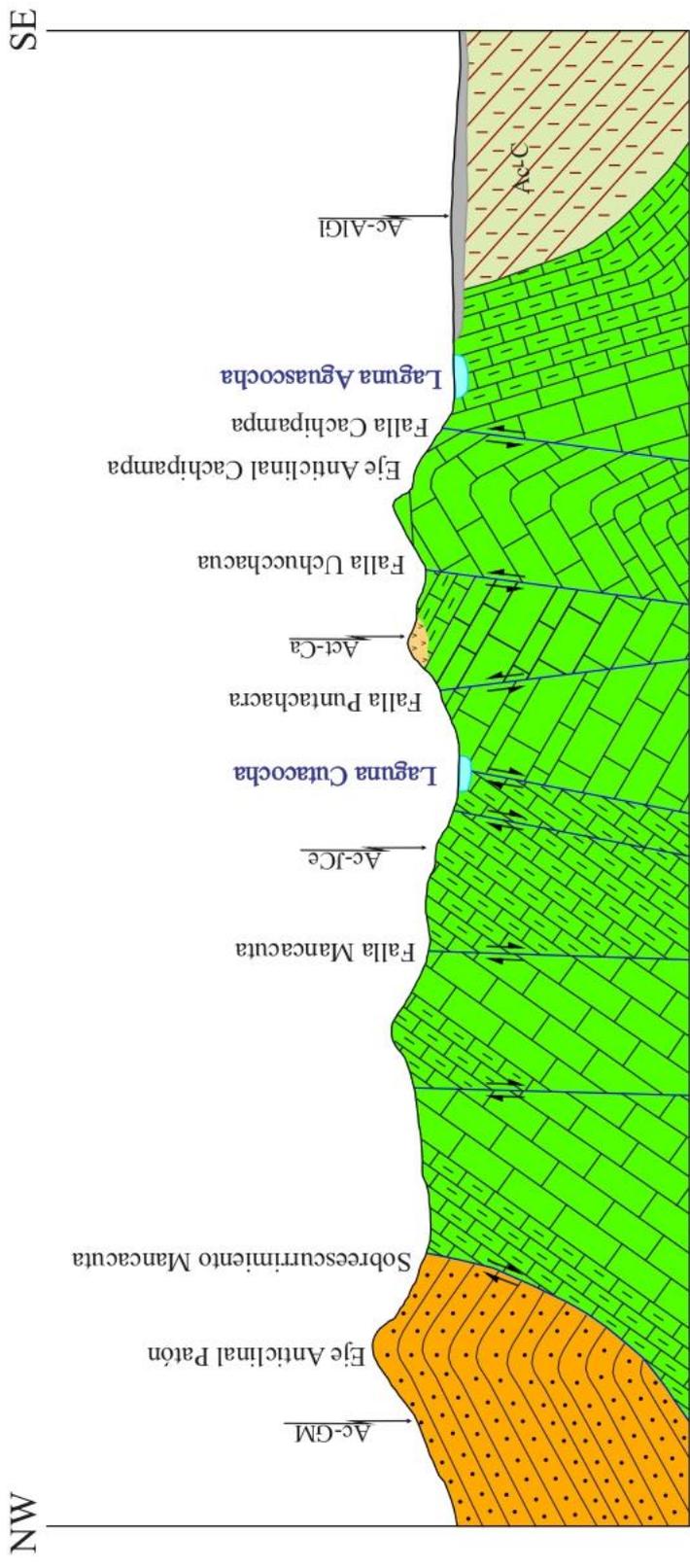
**2.6.2 Acuitardo.**

Los acuitardos son formaciones geológicas con capacidad de almacenar agua, pero que la transmiten dificultosamente.

***Acuitardo Volcánico Sedimentario. –***

*Grupo Calipuy (Act-Ca):* Formación detrítica o fisuradas, acuífero local en zonas fracturadas o meteorizadas, con permeabilidad muy baja a baja, compuesto por derrames andesíticos.





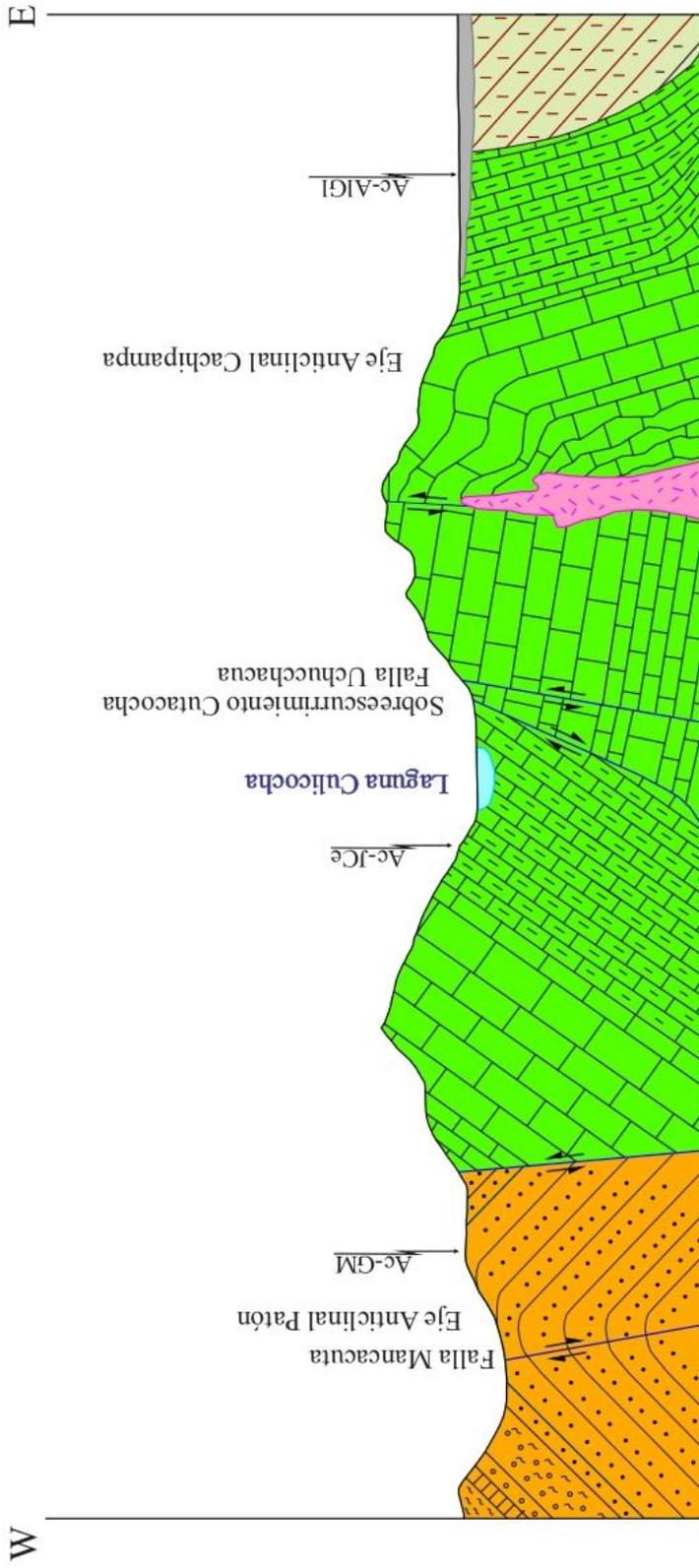
### Sección Hidrogeológica AA' N95°

1:50 000

Heinz Pierre Galdos Lindao

- Depósito Aluvial y Glaciar
- Grupo Calipuy
- Formación Casapalca
- Formación Jumasha y Celendín
- Grupo Goyllarisquizga y Machay

Figura 16 Sección Hidrogeológica AA'.



## Sección Hidrogeológica B B'

N90°

1:50 000

Heinz Pierre Galdos Lindao

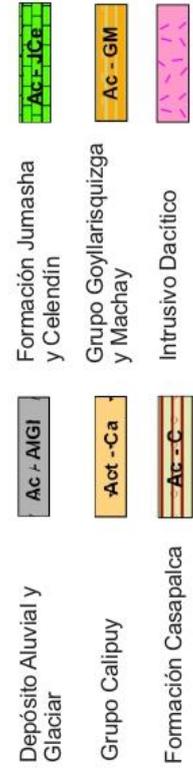


Figura 17 Sección Hidrogeológica BB'

## **Capítulo III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Los isótopos del agua.**

Los trazadores isotópicos naturales también son llamados “Ambientales”.

Los isótopos ambientales de mayor interés en hidrología son los isótopos estables deuterio ( $^2\text{H}$ ) y ( $^{18}\text{O}$ ); el isótopo radiactivo tritio ( $^3\text{H}$ ). Los isótopos del hidrógeno y del oxígeno constituyen trazadores geoquímicos ideales de las aguas, pues sus concentraciones no suelen alterarse por interacción con las materias de los acuíferos. (International Atomic Energy Agency - IAEA, p.42)

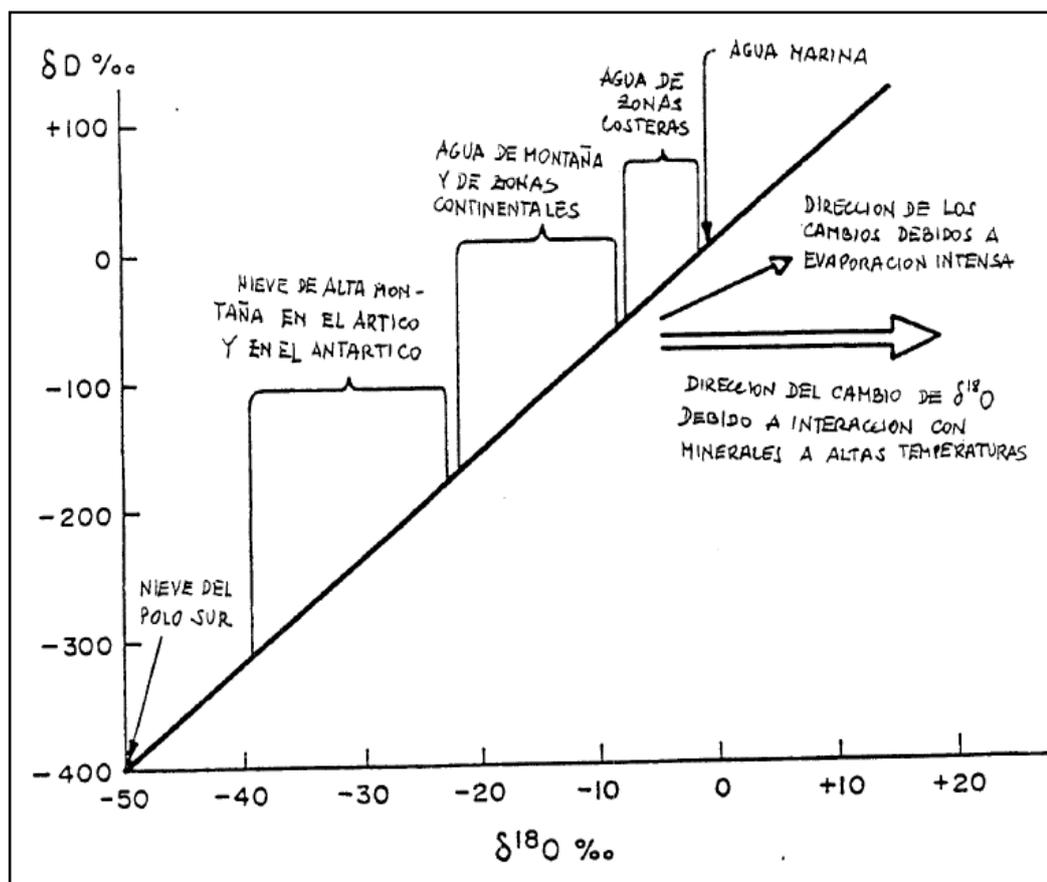
##### **3.1.1 Deuterio $^2\text{H}$ y $^{18}\text{O}$ .**

Los diferentes tipos de agua tienen diferente composición isotópica; la composición isotópica es como su huella dactilar. El agua evaporada del océano está enriquecida en isótopos ligeros ( $^{16}\text{O}$  y  $\text{H}$ ) puesto que tienen mayor presión de vapor que los isótopos pesados. Comparadas con el agua del océano, las aguas de

glaciares, nieve y de fuentes continentales están enriquecidas en  $^{16}\text{O}$ , H y tienen valores de  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$  negativos.

El decrecimiento en isótopos más pesados se incrementa cuando disminuye la temperatura del aire; por tanto, varía estacionalmente, así como con la latitud y la elevación. (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1991, p. 163)

En la Figura 18 se observa la distinta composición isotópica del agua de distintos lugares, las cuales forman una recta que va ser llamada Línea Meteórica Mundial (LMM) y sobre ella se analiza el significado de los cambios isotópicos.



**Figura 18** Relación entre el deuterio  $^2\text{H}$  y el  $^{18}\text{O}$  en las aguas naturales. Ferronsky y Polyakov. (como se citó en Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1991).

### 3.1.2 Tritio $^3\text{H}$ .

La desintegración del tritio isótopo radiactivo del hidrógeno con una vida media de 12.43 años, haría de él un radionucleido apropiado para "datar" el agua subterránea. El tritio se produce en cantidades modestas por procesos naturales en la alta atmosfera y desde 1952 por la detonación de dispositivos termonucleares. Desde entonces, el tritio atmosférico ha sido dominado por tritio generado por el hombre.

Con anterioridad a 1952, la mayor parte del  $^3\text{H}$  natural o tritio, provenía de la interacción de los rayos cósmicos con la atmósfera. Las concentraciones históricas en agua de lluvia en latitudes medias eran del orden de 10 Unidades de Tritio (UT) (una unidad de tritio es igual a un átomo de  $^3\text{H}$  por  $10^{18}$  átomos de hidrógeno estable). La prueba y ensayo de dispositivos de fusión nuclear han inyectado en la atmósfera grandes cantidades de tritio en los últimos 30 años. La primera cantidad masiva de  $^3\text{H}$  fabricado por el hombre tuvo lugar en 1952. Pruebas adicionales tuvieron lugar en los años 1954, 1958, 1961 y 1962, antes de la moratoria nuclear de pruebas atmosféricas entre USA y la URSS.

Desde las pruebas termonucleares, el tritio se ha monitoreado en numerosas localidades en el hemisferio norte y en pocas, pero significativas del sur. En el hemisferio sur los valores de  $^3\text{H}$  son mucho más bajos a causa de la alta proporción área oceánica (sumidero) respecto a la continental. La más larga toma de datos de concentraciones de  $^3\text{H}$  en agua de lluvia está en Ottawa, Canadá, donde el muestreo comenzó en 1952. Se midieron picos de

más de 10 000 UT después de los masivos ensayos nucleares de 1960. Los datos de tritio obtenidos por la International Atomic Energy Agency (IAEA) de una malla de muestreo global permiten estimar la variación de  $^3\text{H}$  en el tiempo. A una determinada latitud, la concentración de tritio en las precipitaciones registrada en las estaciones de muestreo cerca de la costa, son más bajas que en el interior por la dilución con vapor de agua oceánico, que es bajo en tritio. Los valores de la concentración de tritio se incrementan lentamente hacia el continente. En el hemisferio norte durante el verano de 1960 la concentración máxima fue diez veces superior a la mínima del invierno. Hay también una dependencia marcada de la latitud con valores unas cinco veces más bajos en los trópicos. (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1991, p. 79-82)

La medida de la concentración de tritio puede ser muy útil en muchas investigaciones hidrogeológicas. Permite estimar la edad del agua (Tabla1). Los criterios de concentración-edad adoptados para las dataciones, son los siguientes:

*Tabla 1 Concentraciones del Tritio y su interpretación. (ITGME, 1991)*

<b>Concentración UT</b>	<b>Interpretación agua recargada</b>
> 100	Agua recargada durante los ensayos nucleares
10-100	Agua de menos de 35 años
2-10	Agua de menos de 20 años
<2.0	Más vieja de 30 Años
<0.2	Más vieja de 50 años

### 3.2 Ciclo hidrológico y los isótopos.

En la Figura 19 se observa el ciclo hidrológico en el cual se muestra la evolución del contenido de los isótopos ambientales ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^3\text{H}$ ) en dicho ciclo.

El inicio del ciclo está determinado por un contenido 0 ‰ en el agua de mar, el cual después de la evaporación disminuye el contenido de los isótopos más pesados  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$  por ende se representa con nomenclatura negativa, conforme el vapor de agua en la nube es transportado por el viento; el mismo va disminuyendo aún más su contenido de isótopos pesados.

Del mismo modo se describe el comportamiento del tritio en el ciclo hidrológico, describiendo valores altos de tritio en las zonas de mayor altitud lo que indica aguas jóvenes, y conforme las aguas se dirigen hacia la costa por medio de distintas ocurrencias como lagunas, ríos, etc. implica un tiempo de transporte o residencia, reflejado en los valores bajos de tritio que indica agua de mayor edad.

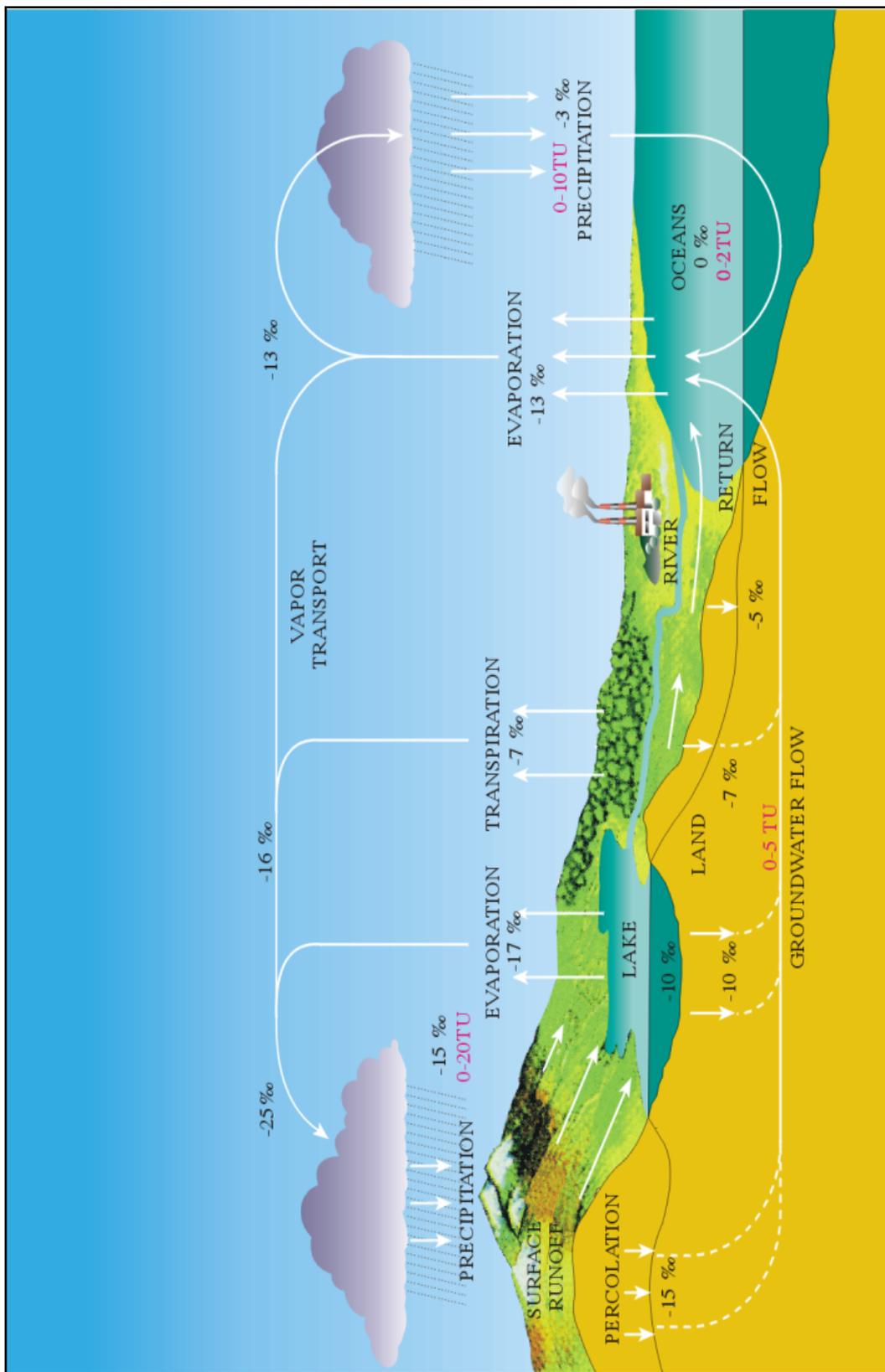


Figura 19 Ciclo hidrológico y los isotopos ambientales. (Atomic Energy Authority – AEA)

### 3.3 Línea Meteorica Mundial (LMM).

El agua de lluvia constituye la principal fuente tanto de recarga de aguas subterráneas como de aporte al agua superficial; por esto, una contribución fundamental para los estudios isotópicos fue determinar que los desvíos  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  del agua de lluvia (a escala global) se relacionan por una recta llamada línea o recta meteorica mundial (LMM o en inglés MWL).

Para la construcción de la LMM, el Organismo Internacional de energía atómica OIEA junto con la Organización Meteorológica Mundial OMM recolectó información meteorológica de distintas partes del mundo y propuso la siguiente fórmula para la elaboración de la LMM:

$$\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10\text{‰}$$

Mediante el estudio isotópico de la molécula de agua se pueden llegar a conocer:

- Las condiciones ambientales en que se infiltró el agua en el acuífero, diferenciando aguas de distintos orígenes (altitud, estación del año, condiciones de evaporación, mezclas de aguas de origen diferente).
- Las posibles fuentes de alimentación que recargan un acuífero: aguas de precipitación directa sobre la cuenca; infiltración a través de las aguas superficiales (ríos, lagos) o procedencia de diferentes altitudes o cuencas limítrofes. (Massone, Martinez y Quiroz, 2014)

### **3.4 Hidro geoquímica.**

Estudia las propiedades químicas del agua superficial y subterráneas, y su relación con la geología regional, analiza los iones disueltos en agua y los procesos de interacción agua-sólido. (Carrillo, 2002, p.4)

#### **3.4.1 Hidro geoquímica de las rocas sedimentarias.**

**Rocas Resistitas.** – Están formadas por materiales que no se disolvieron durante los procesos que dieron lugar a su formación.

Las arenas y gravas formadas por material granítico, basáltico, gnéisico, carbonatado, etc. contienen muchos materiales solubles que pueden ser liberados si el ataque es suficientemente prolongado. Muchas de esas rocas están parcial o totalmente cementadas con materiales más o menos solubles; en general la mayor parte de los materiales que pueden aportar se encuentran contenidos en ese cemento, que con frecuencia es carbonato cálcico. (Custodio y Llamas, 1983, p.1010)

**Rocas Hidrolisitas.** – Están formadas en su mayor parte por partículas derivadas de la hidrólisis de otras rocas. Tales son las arcillas, pizarras, etc. que, en general, resultan muy poco permeables. En su formación atrapan cantidades notables de agua (con la que están en equilibrio iónico). Esta agua atrapada es la principal fuente de sales, en especial si es agua marina.

El lavado de estos materiales proporciona con frecuencia aguas relativamente salinas y además se producen notables fenómenos de intercambio iónico. El contenido en cloruros es en general elevado, lo mismo que el contenido en  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . (Custodio y Llamas, 1983, p.1010)

***Rocas Precipititas.*** – Son el resultado de reacciones químicas que dan lugar a sales insolubles; están representadas principalmente por las calizas y dolomías. Las margas suponen un intermedio entre las rocas precipititas y las rocas hidrolisitas.

Las calizas puras aportan pocas sales con excepción del  $\text{CO}_3\text{H}^-$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , aunque siempre aparecen cantidades variables del magnesio contenido en la propia caliza. En calizas más impuras y sobre todo en margas existen más sales solubles tendiéndose hacia valores correspondientes a rocas hidrolisitas. Similarmente, las dolomias puras aportan  $\text{CO}_3\text{H}^-$  y cantidades iguales de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . (Custodio y Llamas, 1983, p.1010)

***Rocas Evaporitas.*** – Son las formadas por evaporación de aguas y por lo tanto son sales fácilmente solubles. La principal roca evaporita es el yeso como tal o como anhidrita, seguido de la sal común. Como es de esperar, las aguas en contacto toman grandes cantidades de sales, pueden dar concentraciones muy elevadas en  $\text{SO}_4^-$  y  $\text{Ca}^{2+}$ , y con frecuencia también en  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  debido a su disolución preferente cuando el yeso contiene atrapadas sales de esos iones. (Custodio y Llamas, 1983, p.1010)

***Rocas Carbonosas y Bituminosas.*** – Las cuales además de poder ceder en general cantidades notables de sales solubles procedentes de la materia viviente que las originó, crean un ambiente reductor que permite la presencia de cantidades importantes de  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{S}^-$ . El contenido en  $\text{SO}_4^-$  puede ser muy pequeño a consecuencia de la reducción de sulfatos, pero no siempre sucede así. (Custodio y Llamas, 1983, p.1010)

### 3.4.2 Origen de las sustancias disueltas en el agua.

Los principales componentes químicos que teóricamente se encontrarán en cualquier muestra de agua subterránea incluyen a los cationes  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ , y a los aniones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$ . El resto de iones y sustancias disueltas se encuentran por lo general en cantidades notablemente menores y conforman menos del 1% del total de componentes en el agua. (Huerta, 2009, p.24)

#### *Cationes. –*

*Sodio  $\text{Na}^+$* : Procede del ataque sobre los feldespatos, feldespatoides y otros silicatos, del lavado de sedimentos de origen marino. (Custodio y Llamas, 1983, p.1011)

*Potasio  $\text{K}^+$* : Procede del ataque sobre la ortosa y otros silicatos (micas, arcillas, etc.), localmente de la disolución de sales potásicas naturales (silvinita, carnalita, etc.) (Custodio y Llamas, 1983, p.1011)

*Calcio  $\text{Ca}^{2+}$* : Procede de la disolución de las calizas, dolomías, yeso, anhidrita y cemento calcáreo de muchas rocas, del ataque de feldespatos y otros silicatos cálcicos. (Custodio y Llamas, 1983, p.1011)

*Magnesio  $\text{Mg}^{2+}$* : Procede de la disolución de las dolomías y calizas dolomíticas, del ataque sobre silicatos de magnesio y ferromagnésicos, localmente del lavado de rocas evaporitas magnésicas (carnalita, kaiserita, etc.) (Custodio y Llamas, 1983, p.1011)

**Aniones. –**

*Cloruro Cl<sup>-</sup>*: Procede del lavado de terrenos de origen marino; de las aguas congénitas y fósiles que aportan cantidades importantes, del agua de lluvia y su concentración en el terreno. (Custodio y Llamas, 1983, p.1011)

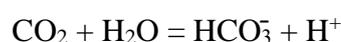
*Sulfato SO<sub>4</sub><sup>=</sup>*: Procede del lavado de terrenos formados en condiciones de gran aridez o en ambiente marino, de la oxidación de sulfuros de las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. También de la concentración en el suelo de agua de lluvia. (Custodio y Llamas, 1983, p.1011)

*Bicarbonato HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y Carbonato CO<sub>3</sub><sup>=</sup>*: Procede de la disolución de CO<sub>2</sub> atmosférico o del suelo, disolución de las calizas y dolomías ayudada por el CO<sub>2</sub> y/o ácidos naturales (húmicos, oxidación de sulfuros, etc.), hidrólisis de silicatos ayudada por el CO<sub>2</sub>. (Custodio y Llamas, 1983, p.1011)

**3.4.3 Evolución geoquímica del agua.**

En general, el origen de las aguas subterráneas, y la composición química primaria que tendrán, se encuentra en el agua de lluvia. Los iones dominantes son el Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup> cerca de la costa, y los iones SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y Ca<sup>2+</sup> predominan hacia el interior de los continentes. (Huerta, 2009, p.30)

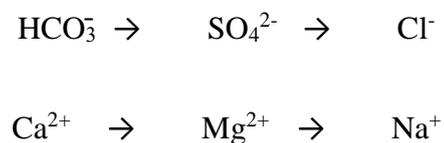
Esta agua de lluvia, al entrar en contacto con el suelo (que a su vez contiene abundante CO<sub>2</sub>), genera la siguiente reacción:



Generándose así en primer lugar  $\text{HCO}_3^-$  y acidificando el agua. Esta relación se favorece a medida que el suelo contenga más  $\text{CO}_2$ .

Una vez infiltrada, la composición química de las aguas subterráneas dependerá directamente de los minerales con que entre en contacto en el acuífero, y del tiempo de interacción que tenga con ellos.

Así, a mayor tiempo de permanencia en el acuífero, mayor será la cantidad de sales presentes en el agua. Se determina una secuencia entonces, la cual dice que las aguas con menor tiempo de permanencia en el subsuelo serán generalmente bicarbonatadas, y con el paso del tiempo se vuelven sulfatadas y finalmente cloruradas. Análogamente para los cationes, aguas inicialmente cálcicas pasan a ser magnésicas y luego sódicas:



Esta secuencia es correcta para un flujo lineal. Sin embargo, las aguas pueden seguir un recorrido corto o un camino de cientos de km de circulación. Así, las aguas más profundas suelen ser más salinas que las más cercanas a la superficie debido a que las oportunidades para disolver sales son mayores (Custodio y Llamas, 1976. Como se citó en Huerta, 2009, p.31).

## Capítulo IV

### OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El análisis de las muestras de las galerías y lagunas para determinar el  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$  (Tabla 2) se desarrolla en un equipo de espectrometría láser o en un espectrómetro de masas. El análisis de las muestras de las galerías y lagunas para el  $^3\text{H}$  (Tabla 2) se desarrolla en un equipo espectrómetro de centelleo líquido o espectrómetro de masa.

El análisis de las muestras de las galerías y lagunas para la química del agua (Tabla3) se desarrolla en un equipo de espectrómetro de masas, los más importantes son los siguientes: Aniones ( $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Cl}^-$ ), Cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ).

En la Figura 20 se ubica los puntos de muestreo de las lagunas en estudio (ver mapa Anexo A). La dirección de drenaje de las lagunas se señala con flechas azules, la laguna Aguascocha drena sus aguas en dirección NE, la laguna Cutacocha tiene drenaje radial centrípeto, la laguna Culicocha tiene un drenaje afluente del NW.

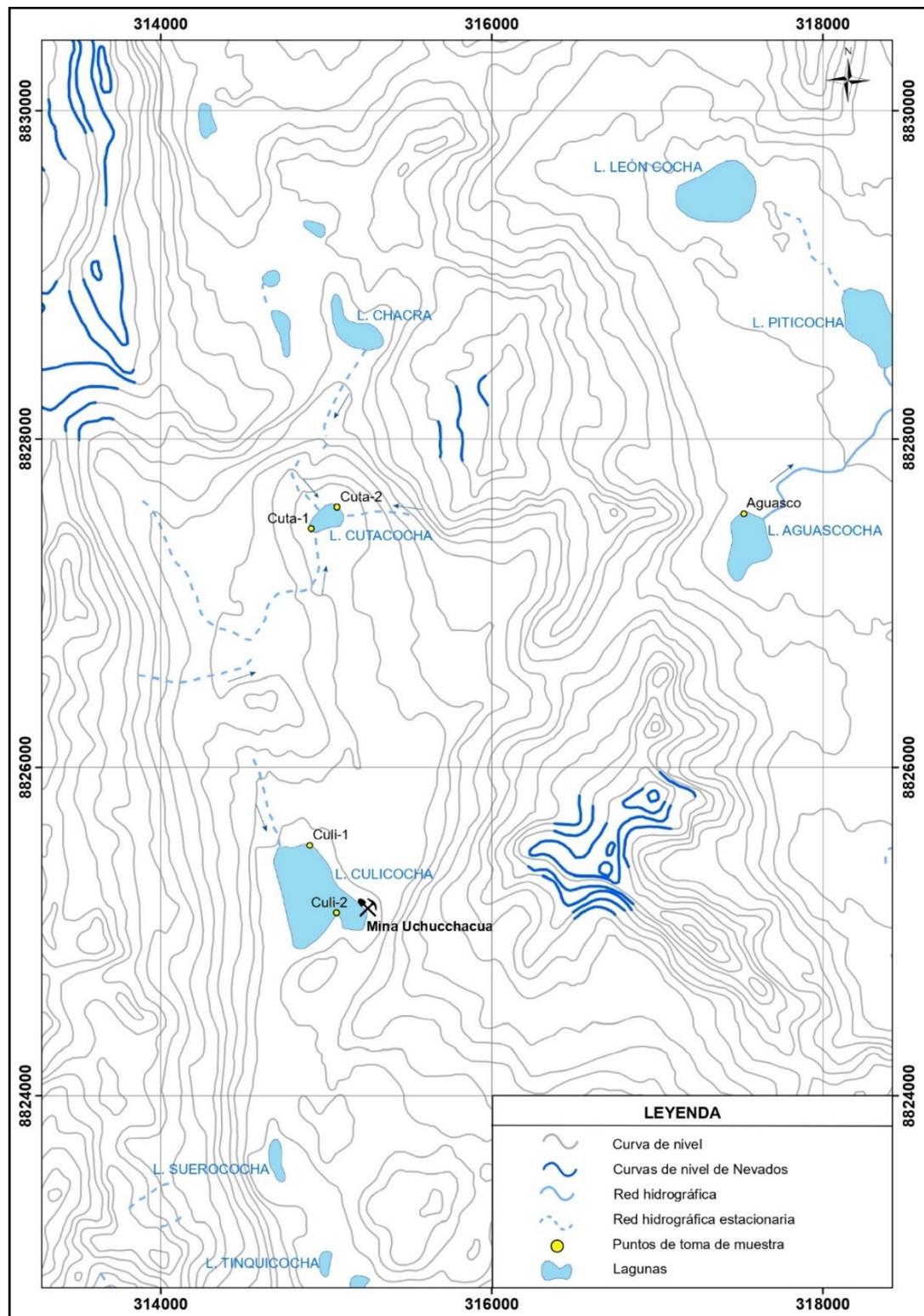


Figura 20 Mapa de muestreo de las lagunas.

**Tabla 2** Valores isotópicos de los puntos de muestreo en Uchucchacua.

N° Mtra	Código	Ubicación	Altitud m.s.n.m.	Coordenadas UTM WGS84		Cond. $\mu\text{S}/\text{cm}$	Temp. $^{\circ}\text{C}$	pH	Isótopos Ambientales ( $\delta$ ‰)		
				Norte	Oeste				$^{18}\text{O}$	$^2\text{H}$	$^3\text{H}$ U.T.
1	Cuta-1	L. Cutacocho	4470	8827494	314797	100	6.9	6.64	-12.09	-90.60	4.2 $\pm$ 0.8
2	Cuta-2	L. Cutacocho	4470	8827700	315280	102.5	10.1	6.8	-11.94	-90.1	--
3	Aguasco	L. Aguascocho	4505	8827840	317590	281	8.9	6.54	-6.40	-61.3	4.2 $\pm$ 0.9
4	Culi-1	L. Culicocho	4430	8825740	314925	1510	10.6	6.23	-10.86	-85.5	--
5	Culi-2	L. Culicocho	4430	8825480	315110	1502	10	5.83	-10.84	-85.3	2.9 $\pm$ 0.8
6	Patón-1	Túnel Patón 3+300	-	-	-	262	6.6	5.78	-15.08	-107	3.4 $\pm$ 0.8
7	Patón-2	Túnel Patón 3+200	--	--	--	264	5.6	5.92	-14.8	-104.9	--
8	Patón-3	Túnel Patón 1+460	--	--	--	454	9.9	6.17	-15.21	-111.5	3.6 $\pm$ 0.8
9	Soco-1	Nv.240, Gal 928, NE, alt. punto 15 NE.	--	--	--	311	6.7	7.1	-14.78	-104.20	3.6 $\pm$ 0.7
10	Soco-2	Nv. 120 Veta Bony, SubNv.184 a 16 m. del tope	--	--	--	214	5.5	6.59	-15.3	-108.1	3.8 $\pm$ 0.7
11	Car	Nv.120 Veta 4A tope de Crucero 405	--	--	--	224	5.8	6.73	-15.17	-107.3	3.7 $\pm$ 0.7

**Tabla 3** Análisis químico de los puntos de muestreo en Uchucchacua.

N° Mtra	Código	Ubicación	Coordenadas UTM WGS84		Análisis Químicos (mg/l)																
			Norte	Oeste	Aniones							Elementos Mayores									
					CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca	Mg	Na	K	Al	Fe T	As	Hg	Si	Li	Sr		
																				CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>
1	Cuta-1	L. Cutacocha	8827494	314797	-	31.8	0.62	5.42	5.42	17	1.8	3	0.45	0.02	0.03	0.01	0.00	1.30	0.01	0.11	
2	Cuta-2	L. Cutacocha	8827700	315280	2.54	29.25	0.62	4.17	4.17	17	1.8	3	0.3	0.02	0.043	0.005	0.0002	1.7	0.01	0.11	
3	Aguasco	L. Aguascococha	8827840	317590	-	45.78	57.46	6.67	6.67	43.00	7.70	3.00	1.2	0.076	0.014	0.005	0.0002	5.3	0.01	0.92	
4	Culi-1	L. Cuitcocha	8825740	314925	-	30.52	828.8	9.17	9.17	280	14.7	14	5.2	0.02	0.062	0.007	0.0002	4.6	0.02	1.89	
5	Culi-2	L. Cuitcocha	8825480	315110	-	30.52	833.4	9.17	9.17	290	14.4	15	5.2	0.02	0.064	0.006	0.0002	4.3	0.02	1.82	
6	Patón-1	Túnel Patón 3+300 m.	-	-	-	71.22	153.4	5.42	5.42	44	5.6	0.6	0.83	0.02	0.012	0.008	0.0002	2.8	0.01	0.27	
7	Patón-2	Túnel Patón 3+200 m.	-	-	-	69.95	18.36	5.42	5.42	46	5.1	0.5	0.63	0.02	0.005	0.005	0.0002	3	0.01	0.37	
8	Patón-3	Túnel Patón 1+460 m.	-	-	-	97.93	67.87	5.42	5.42	53	12.1	22	1.4	0.02	0.023	0.012	0.0002	3.6	0.03	1.56	
9	Soco-1	Nv.240, Gal 928, NE, alt. punto 15 NE	-	-	-	86.48	21.2	5.42	5.42	57	5.8	0.3	0.58	0.02	0.01	0.01	0.00	1.70	0.01	0.50	
10	Soco-2	SubNv.184 a 16 m. del tope	-	-	-	53.41	19.55	6.67	6.67	40	2.5	0.2	0.31	0.02	0.006	0.23	0.0002	5.6	0.01	0.22	
11	Car	Nv.120 Veta 4A tope de Cruceiro 405	-	-	-	55.96	18.52	4.58	4.58	40	4.2	0.1	0.1	0.02	0.005	0.015	0.0002	2.6	0.01	0.21	

#### 4.1 Isotopos Estables.

Según los explicado en el punto 3.3, se construye la LMM y sobre ella se plotea los datos de  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  de la tabla 2 (Figura 21). De acuerdo a la Figura 18, las muestras que estén por debajo de la LMM se interpretan que han sufrido evaporación.

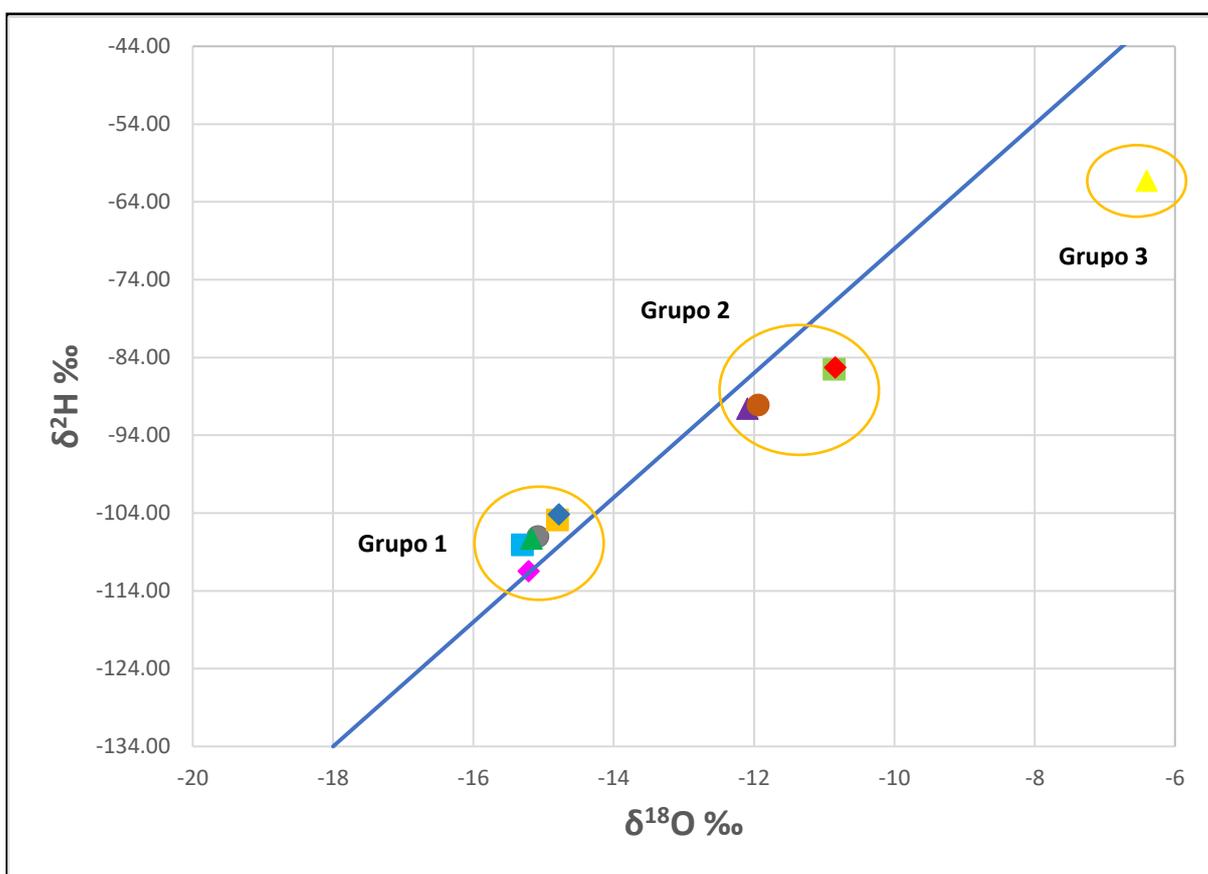


Figura 21 Valores isotópicos de las muestras de agua y la LMM.

Leyenda:

Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3
● Patón-1	◆ Soco-1	▲ Cuta-1	■ Culi-1	▲ Aguasco
■ Patón-2	■ Soco-2	● Cuta-2	◆ Culi-2	
◆ Patón-3	▲ Car			

**Interpretación:**

Se observa que los resultados en el gráfico se agrupan en tres zonas isotópicamente diferentes.

Grupo 1: Conformado por las muestras; Patón-1, Patón-2, Patón-3, Soco-1, Soco-2 y Car. Los resultados de las muestras de este grupo, están sobre la LMM.

Grupo 2: Conformado por las muestras; Cuta, Cuta-1, Culi-1, Culi-2. Los resultados de las muestras de este grupo están por debajo de la LMM.

Grupo 3: Conformado por la muestra Aguasco. El resultado de esta muestra está por debajo y más alejado de la LMM.

Los resultados isotópicos permiten interpretar que las aguas de filtraciones de las galerías con valores de  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  del Túnel Patón, la mina Socorro y Carmen no tienen relación con el agua de las lagunas cuyos contenidos de  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  de las lagunas Cutacocha, Culicocha y Aguascocha indican que estas últimas están expuestas a evaporación y más aun refiriéndonos a la laguna Aguascocha la cual está a mayor altitud (4 505msnm) y tiene valores de  $^{18}\text{O}$  (-6.40) y  $^2\text{H}$ (-61.3) lo que indica que presenta mayor evaporación de aguas, enriqueciendo así su contenido en estos isotopos naturales estables.

**4.2 Tritio.**

En el presente estudio hidrogeológico las concentraciones de tritio permitirán determinar la edad relativa entre las muestras de las aguas, considerando que los valores altos de Tritio corresponden a aguas más jóvenes y que los valores

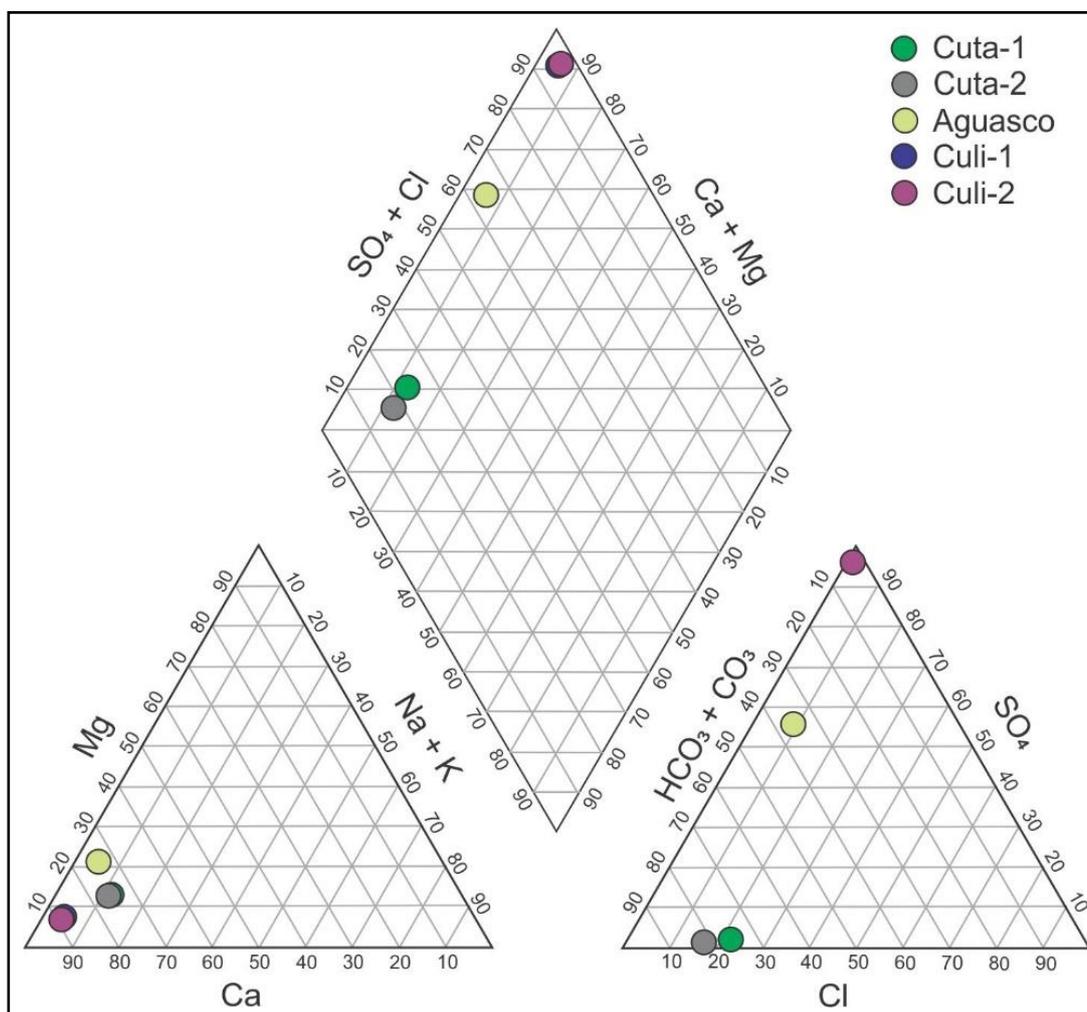
bajos (debido al decaimiento radioactivo del tritio) corresponde a aguas de mayor edad.

De lo observado en los resultados podemos afirmar que los valores de contenido de tritio para las aguas muestreadas en las galerías están entre los valores ( $3.4-3.6 \pm 0.8$  y  $3.6-3.8 \pm 0.7$ ) UT lo que nos indica que son más jóvenes respecto al agua de la laguna Culicocha con 2.9 UT El agua de las lagunas Cutacocha y Aguascocha con valores de  $4.2 \pm 0.8$  UT nos indica que sus aguas son aún más jóvenes que las aguas que filtran en las galerías.

#### **4.3 Diagrama de Piper.**

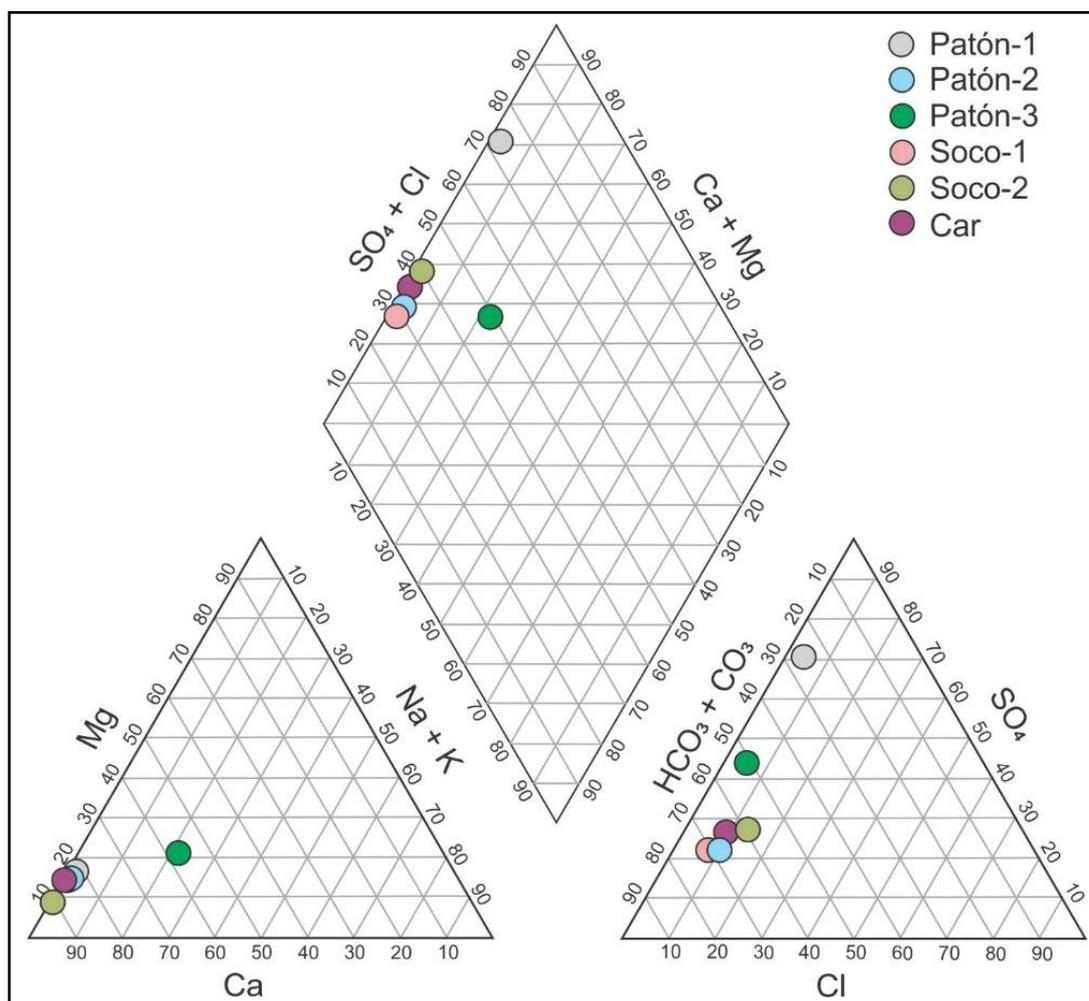
Consiste en un diagrama múltiple triangular en el cual se determina la concentración relativa de los constituyentes disueltos en el agua.

En el triángulo inferior izquierdo se plotean los cationes  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ , en el triángulo inferior derecho se plotean los aniones  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ , posteriormente se plotea la intersección de los resultados de los triángulos en el rombo y clasificamos el tipo de agua.



**Figura 22** Diagrama de Piper de las muestras de las lagunas.

**Interpretación:** La composición química de las muestras de las lagunas tienen dos comportamientos, las muestras Cuta-1 y Cuta-2 son principalmente aguas bicarbonatada-carbonatada cálcicas, mientras que las muestras Aguasco, Culi-1 y Culi-2 son principalmente agua sulfatada cálcica (ver ubicación geográfica de muestras en Figura 20).



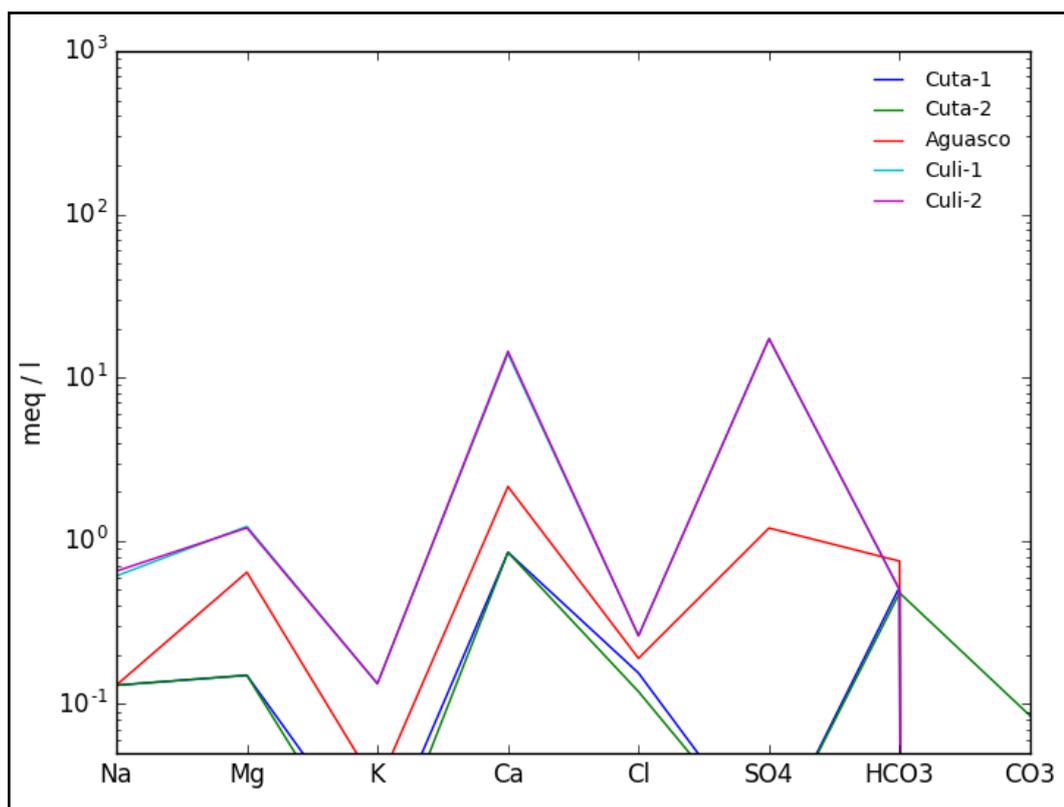
*Figura 23 Diagrama de Piper de las muestras de las galerías.*

**Interpretación:** La composición química de las muestras de las galerías tienen dos comportamientos, las muestras Patón-2, Patón-3, Soco-1, Soco-2 y Car son principalmente aguas bicarbonatada-carbonatada cálcicas, mientras que la muestra Patón-1 es principalmente agua sulfatada cálcica.

#### 4.4 Diagrama de Schoeller.

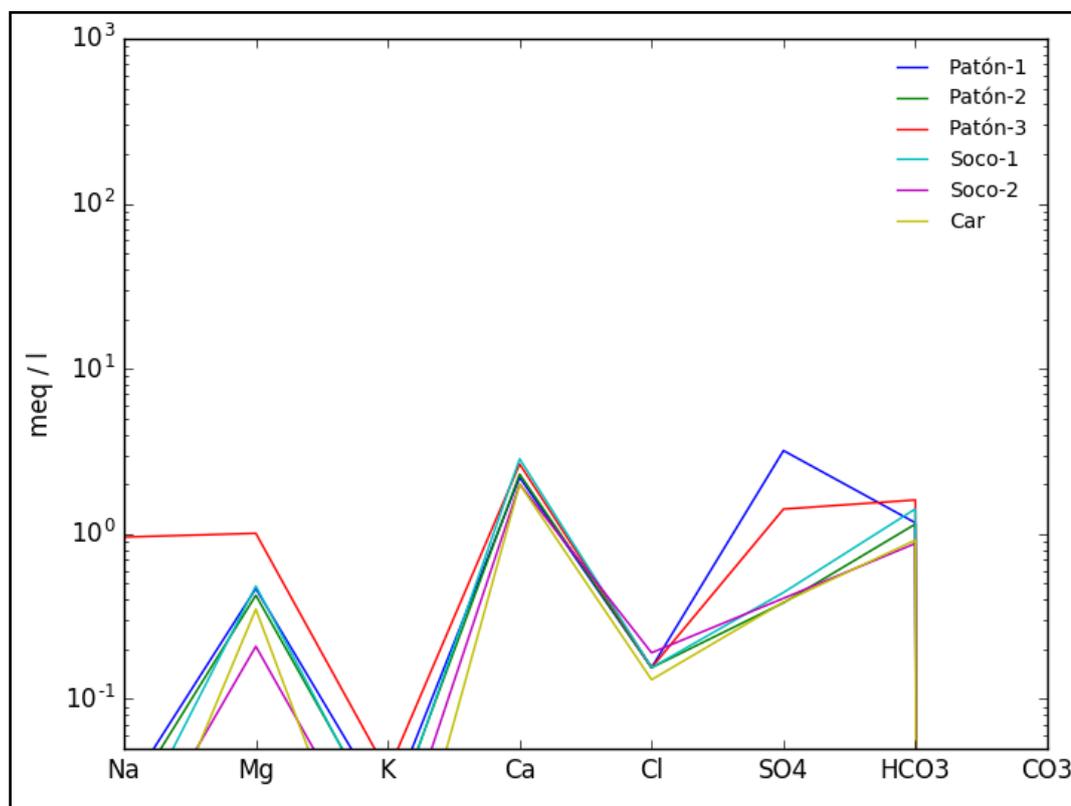
En los Diagramas de Schoeller o de Columnas Verticales se representa el valor en miliequivalentes por litro (meq/l) de distintos aniones, cationes o una suma de ellos, utilizando una escala logarítmica, y uniendo los puntos mediante una secuencia de líneas. (EcuRed)

La interpretación gráfica se basa en observar la acumulación de las distintas líneas que representan a las muestras y de observar paralelismos entre ellas; lo que indicaría que poseen la similar composición, pero en distintas concentraciones.



**Figura 24** Diagrama de Schoeller de las muestras de las lagunas.

**Interpretación:** La composición iónica predominante de las muestras de agua de las lagunas es de composición del tipo cálcica.



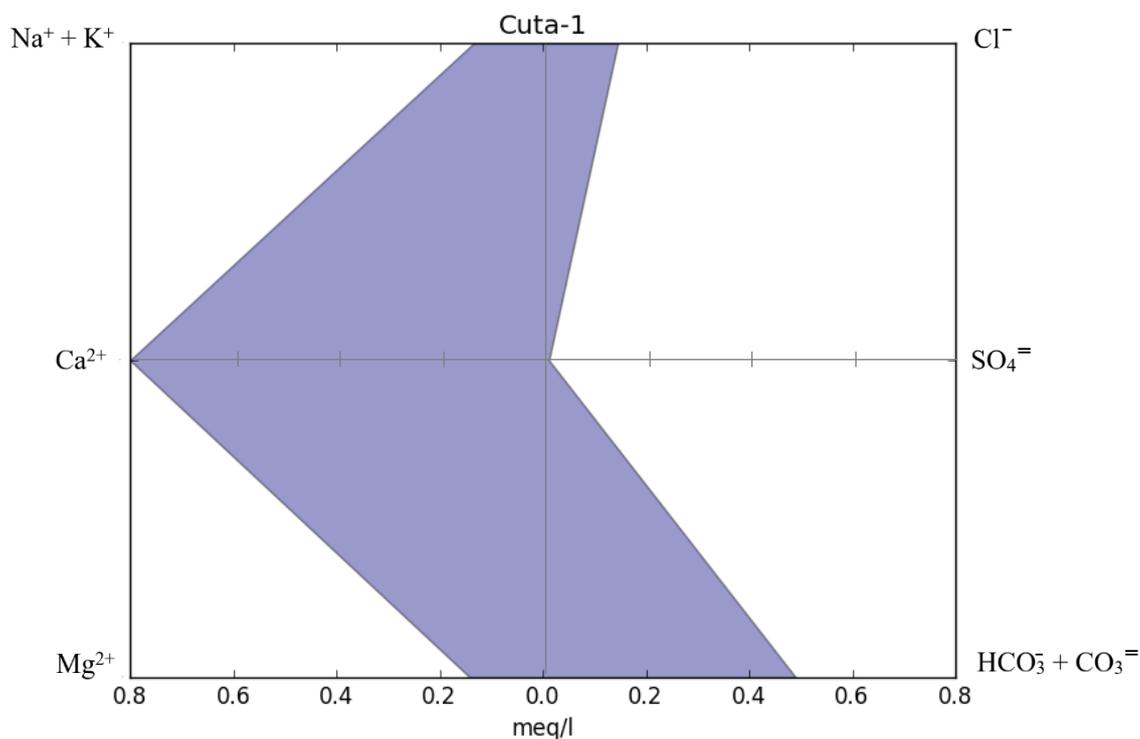
*Figura 25 Diagrama de Schoeller de las muestras de las galerías.*

**Interpretación:** La composición iónica predominante de las muestras de agua de las galerías es de composición del tipo cálcica bicarbonatada.

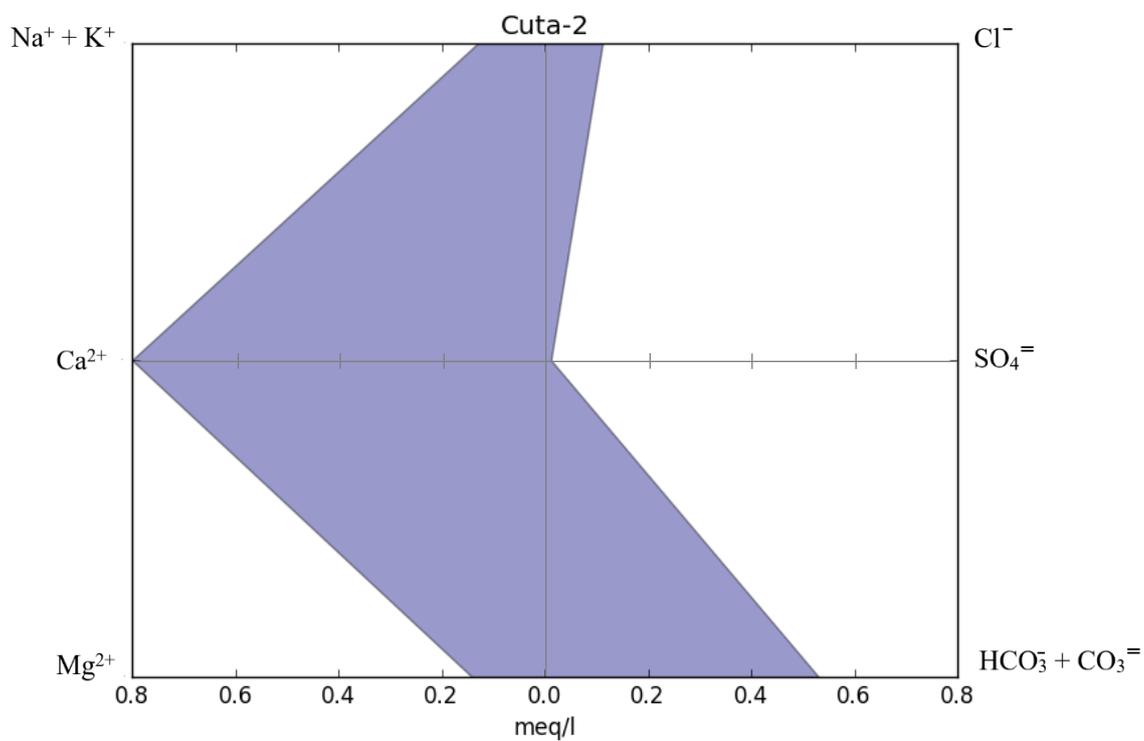
#### 4.5 Diagrama de Stiff.

En este diagrama se grafican rectas horizontales paralelas, las cuales serán cortadas por una recta normal, obteniendo así semirrectas al lado izquierdo las cuales serán asignadas a los cationes y semirrectas al lado derecho las cuales serán asignadas a los aniones. Sobre cada semirrecta se toma un segmento proporcional a los meq/l del ion correspondiente y se unen los extremos formando un polígono. (Custodio y Llamas, 1983, p.1042)

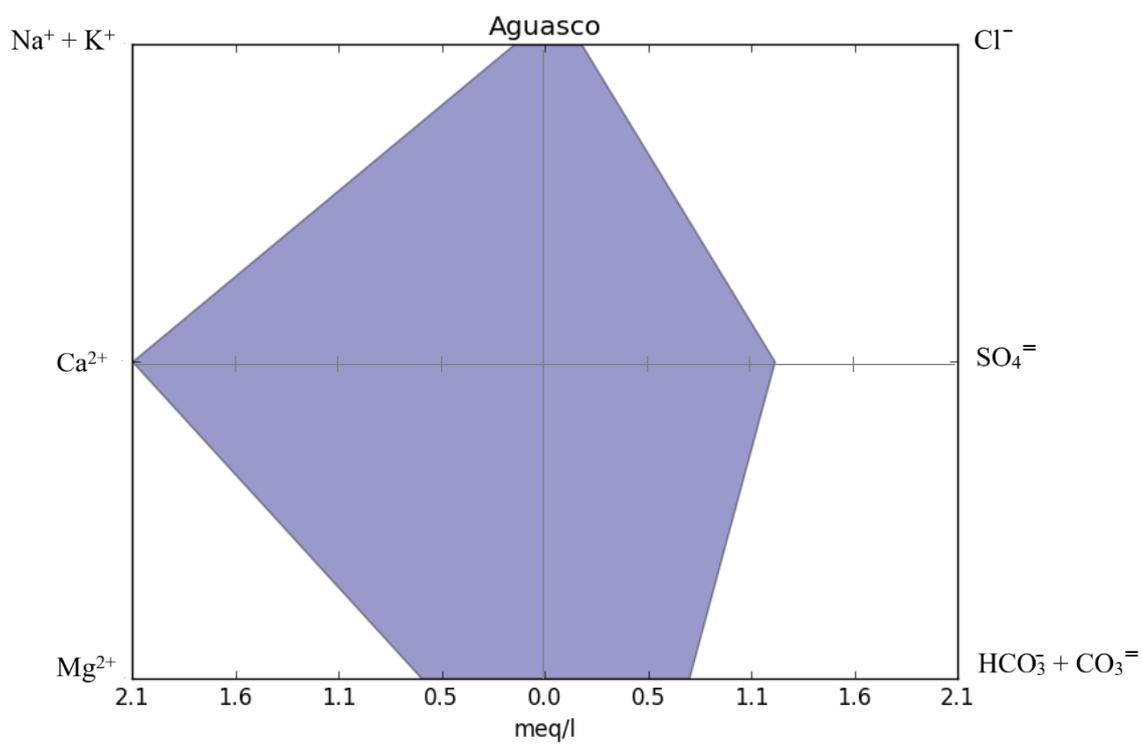
La forma de cada polígono orienta sobre el tipo de agua y su tamaño da una idea relativa del contenido iónico total del agua. Por comodidad de interpretación se puede sumar los cationes  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  y los aniones  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ .



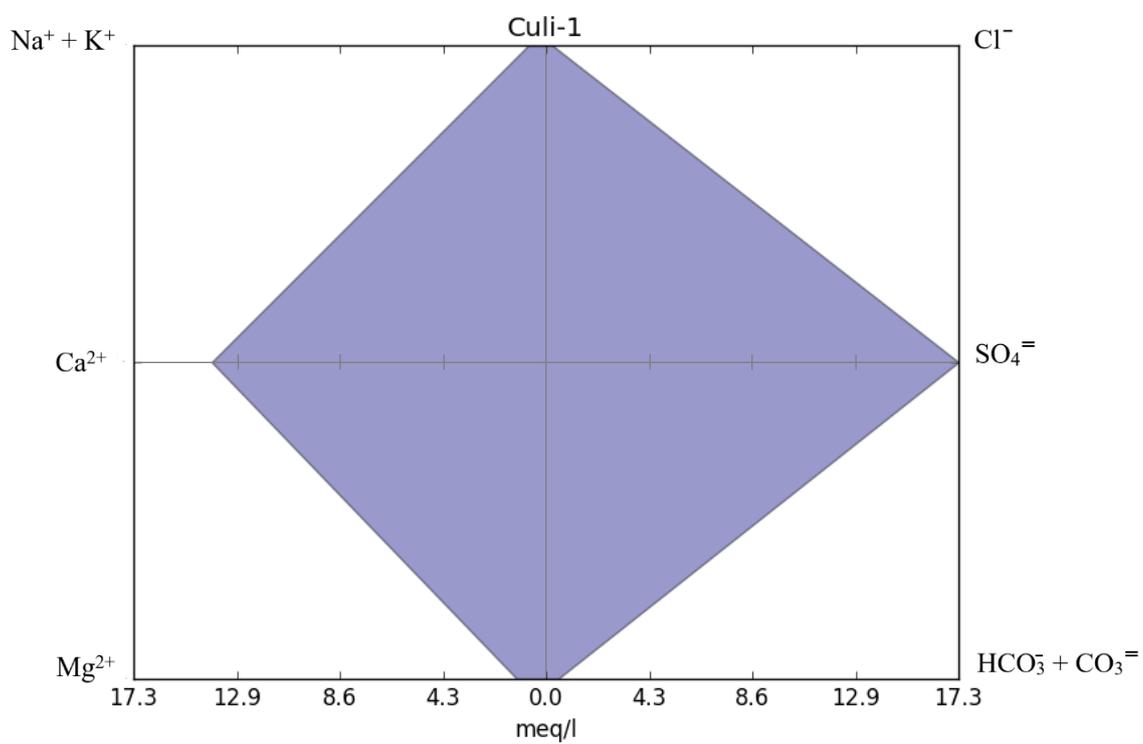
**Figura 26** Diagrama de Stiff de muestra Cuta-1.



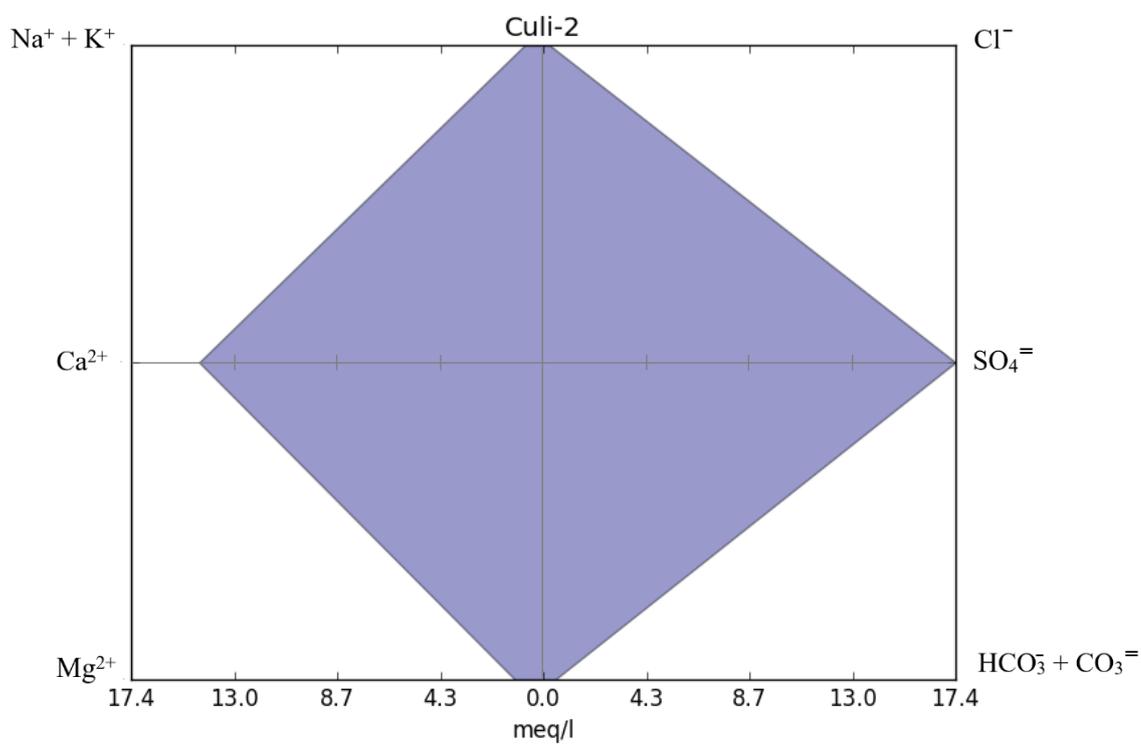
**Figura 27** Diagrama de Stiff de muestra Cuta-2.



**Figura 28** Diagrama de Stiff de muestra Aguasco.



**Figura 29** Diagrama de Stiff de muestra Culi-1.



**Figura 30** Diagrama de Stiff de muestra Culi-2.

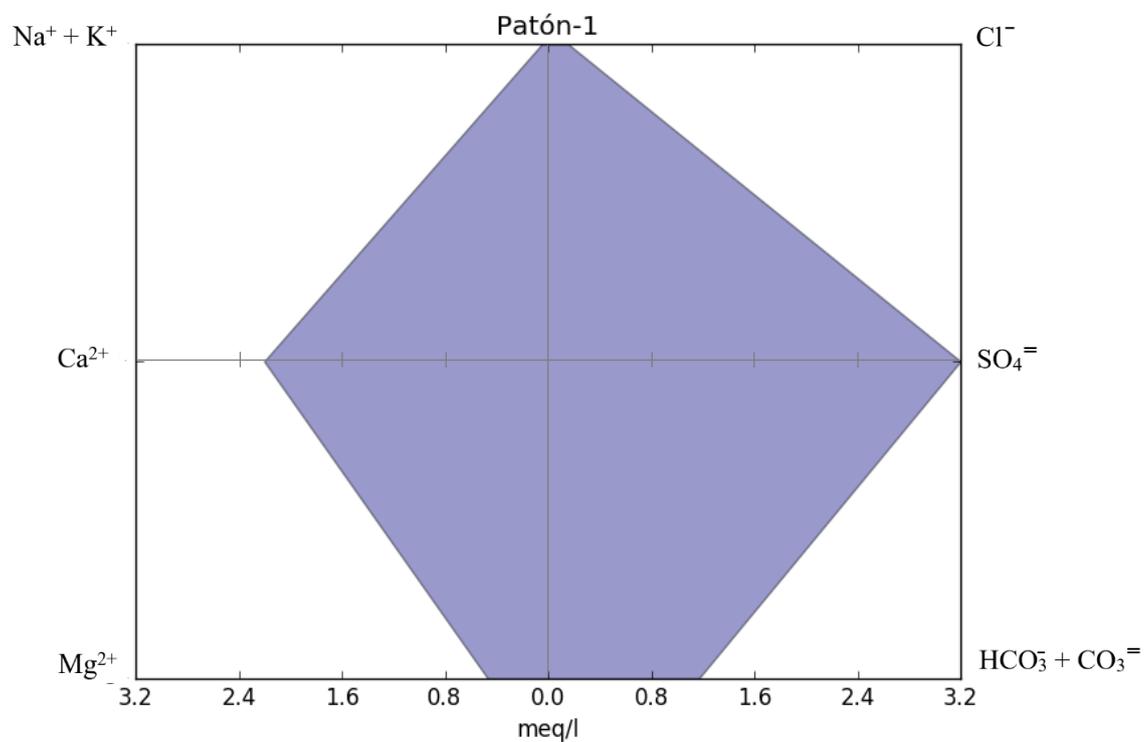
**Interpretación: -**

-Los contenidos de Cl, Na, K de todas las lagunas son menores respecto a los otros iones, lo que corrobora su característica química de procedencia de lluvia en zona cordillerana.

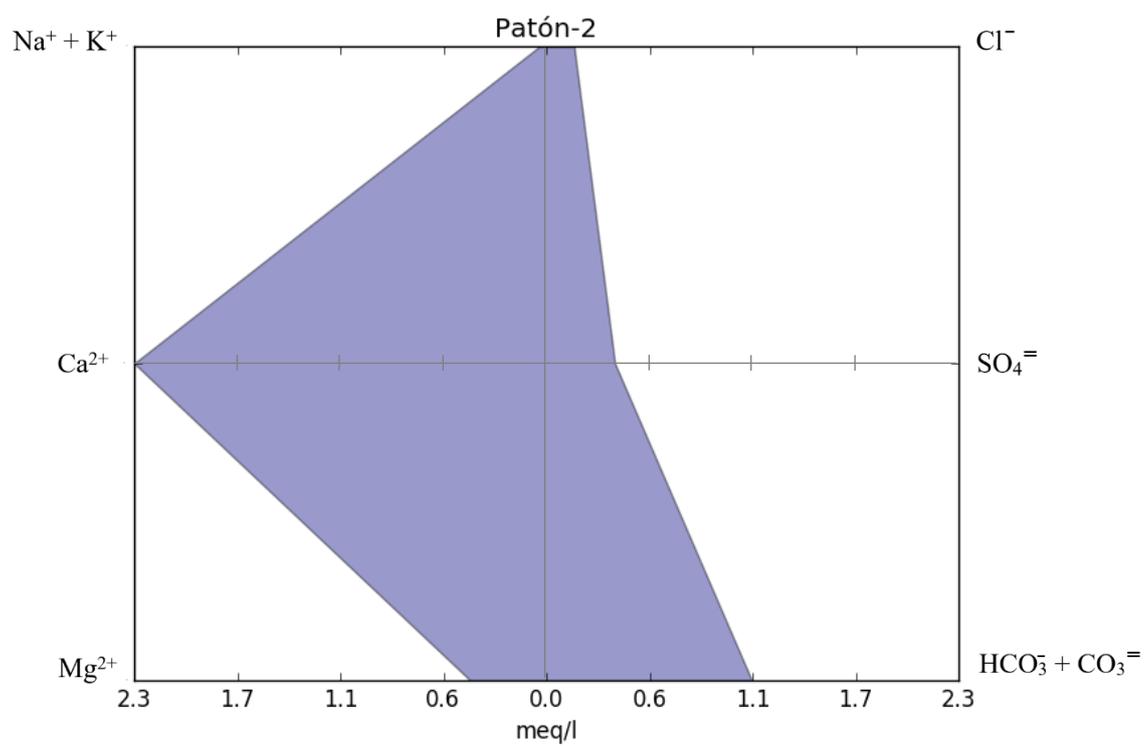
- La Laguna Cutacocha es de composición bicarbonatada carbonatada - cálcica, el mayor contenido relativo de  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$  respecto al  $\text{SO}_4^{=}$  y Cl<sup>-</sup> indica que esta agua tiene poco tiempo de interacción con la litología que la hospeda. Lo que da soporte al contenido isotópico de  $4.2 \pm 0.8$  UT que indica que es un agua joven. El contenido de los iones es consistente con la química de la Formación Jumasha y la Formación Celendín.

- La Laguna Aguascocha; es de composición sulfatada-cálcica, el mayor contenido relativo de  $\text{SO}_4^{=}$  respecto al  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$  indicaría que esta agua tiene mayor tiempo de residencia, pero el contenido isotópico de  $4.2 \pm 0.9$  UT indica que es un agua joven, por lo que se asume que el aumento en el ion  $\text{SO}_4^{=}$  es producto de la evaporación que ocurre en esta laguna como se mencionó anteriormente y de la interacción con la química de la Formación Celendín, siendo su composición margosa la que contribuye al aporte de  $\text{SO}_4^{=}$ .

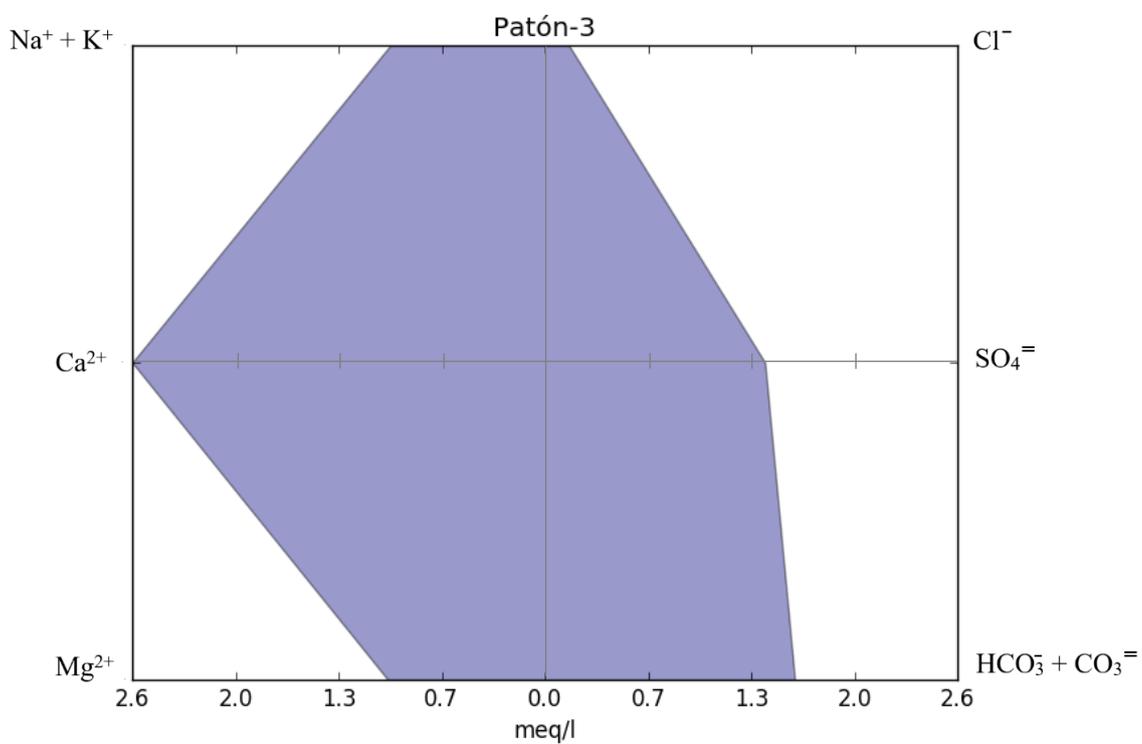
- La Laguna Culicocha; es de composición sulfatada-cálcica, el mayor contenido relativo de  $\text{SO}_4^{=}$  respecto al  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$  indica que esta agua tiene mayor tiempo de interacción con la litología que la hospeda. Lo que da soporte al contenido isotópico de  $2.9 \pm 0.8$  UT que indica que no es un agua tan joven como las demás. El contenido de los iones es consistente con la química de la Formación Celendín.



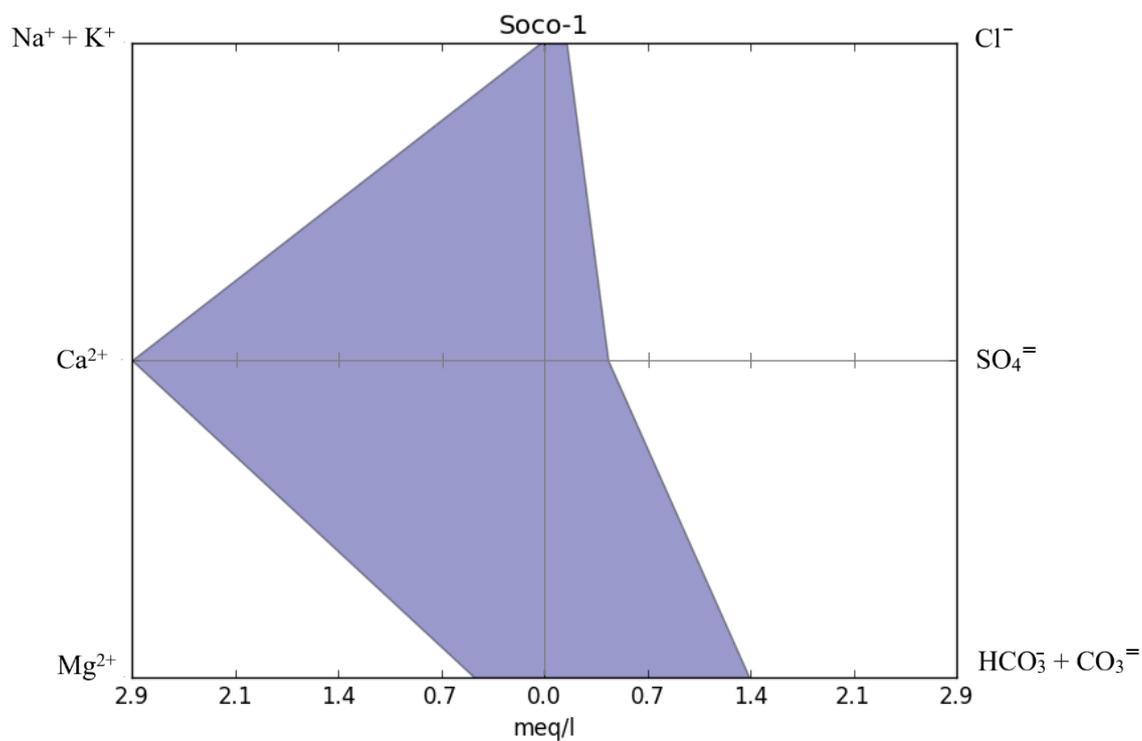
**Figura 31** Diagrama de Stiff de muestra Patón-1.



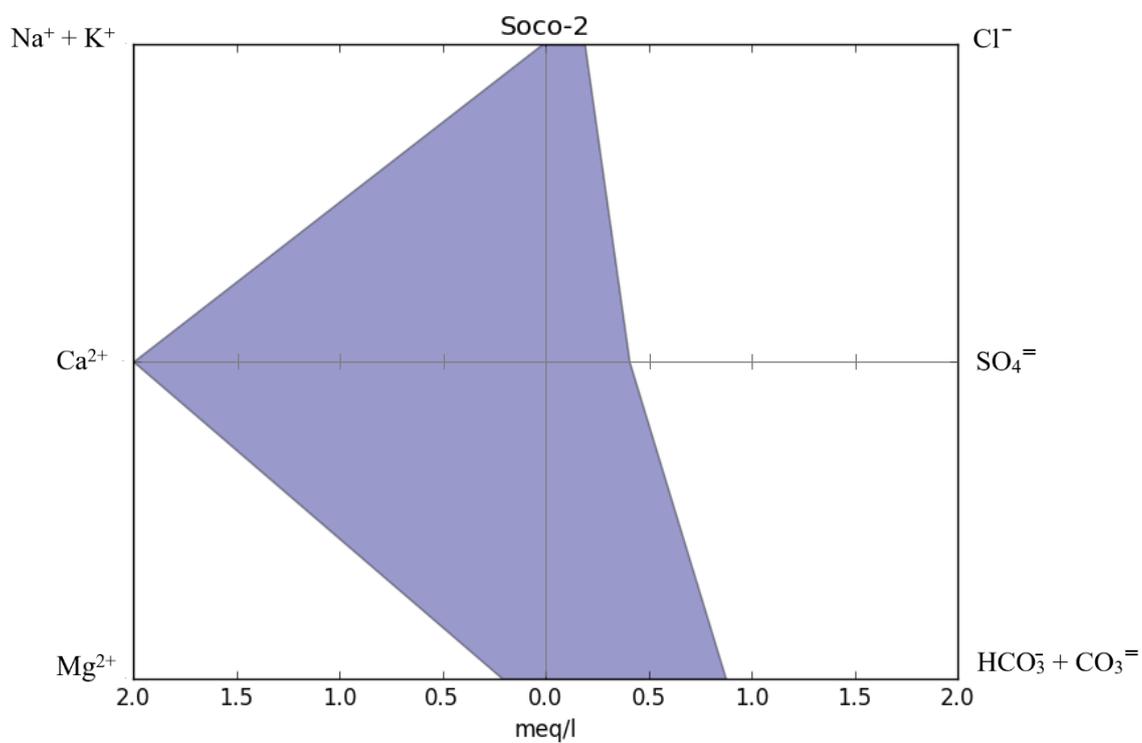
**Figura 32** Diagrama de Stiff de muestra Patón-2.



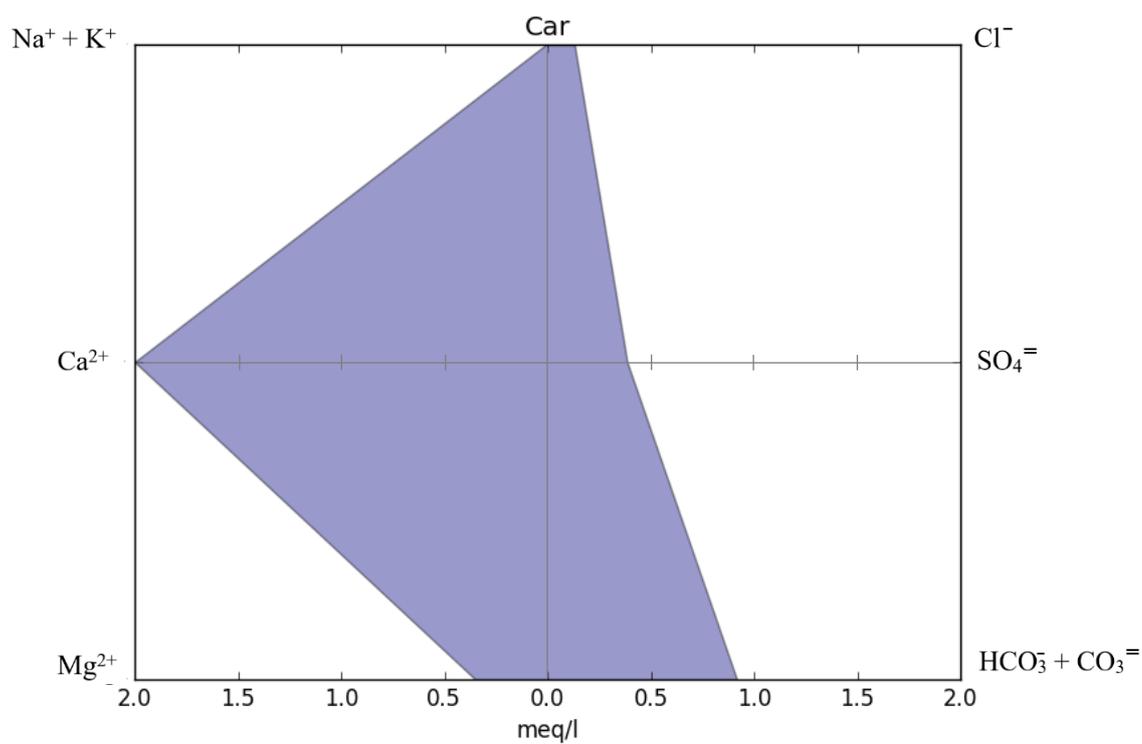
**Figura 33** Diagrama de Stiff de muestra Patón-3.



**Figura 34** Diagrama de Stiff de muestra Soco-1.



**Figura 35** Diagrama de Stiff de muestra Soco-2.



**Figura 36** Diagrama de Stiff de muestra Car.

**Interpretación: -**

-Los contenidos de Cl, Na, K del Túnel Patón y las galerías Socorro y Carmen son menores respecto a los otros iones, lo que corrobora su característica química de procedencia de lluvia en zona cordillerana.

- La Galería Patón; el contenido relativo de  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$  disminuye respecto al  $\text{SO}_4^-$  conforme la muestra de agua procede de una zona más profunda, evidenciado por las muestras Patón-2 y Patón-3 que son bicarbonatadas carbonatadas – cálcicas y la muestra Patón-1 es sulfatada-cálcica. Lo que se relaciona con el tiempo de interacción del agua con la litología y el aumento de la disolución del anión  $\text{SO}_4^-$ , siendo de menor tiempo de interacción mientras menos profunda sea el origen de la muestra y de mayor tiempo de interacción mientras más profunda sea el origen de la muestra. Lo que da soporte al contenido isotópico de Patón-2 y Patón-3 con  $3.6 \pm 0.8$  UT que indica que son aguas más jóvenes que Patón-1 con  $3.4 \pm 0.8$  UT.

- La Galería Socorro; es de composición bicarbonatada carbonatada – cálcica, el mayor contenido relativo de  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$  respecto al  $\text{SO}_4^-$  y Cl<sup>-</sup> indica que esta agua tiene poco tiempo de interacción con la litología por la cual discurrió. Lo que da soporte al contenido isotópico de 3.6 y  $3.8 \pm 0.7$  UT que indica que es un agua joven. El contenido de los iones es consistente con la química de la Formación Jumasha.

- La Galería Carmen; es de composición bicarbonatada carbonatada – cálcica, el mayor contenido relativo de  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$  respecto al  $\text{SO}_4^-$  indica que esta agua tiene poco tiempo de interacción con la litología por la cual discurrió. Lo

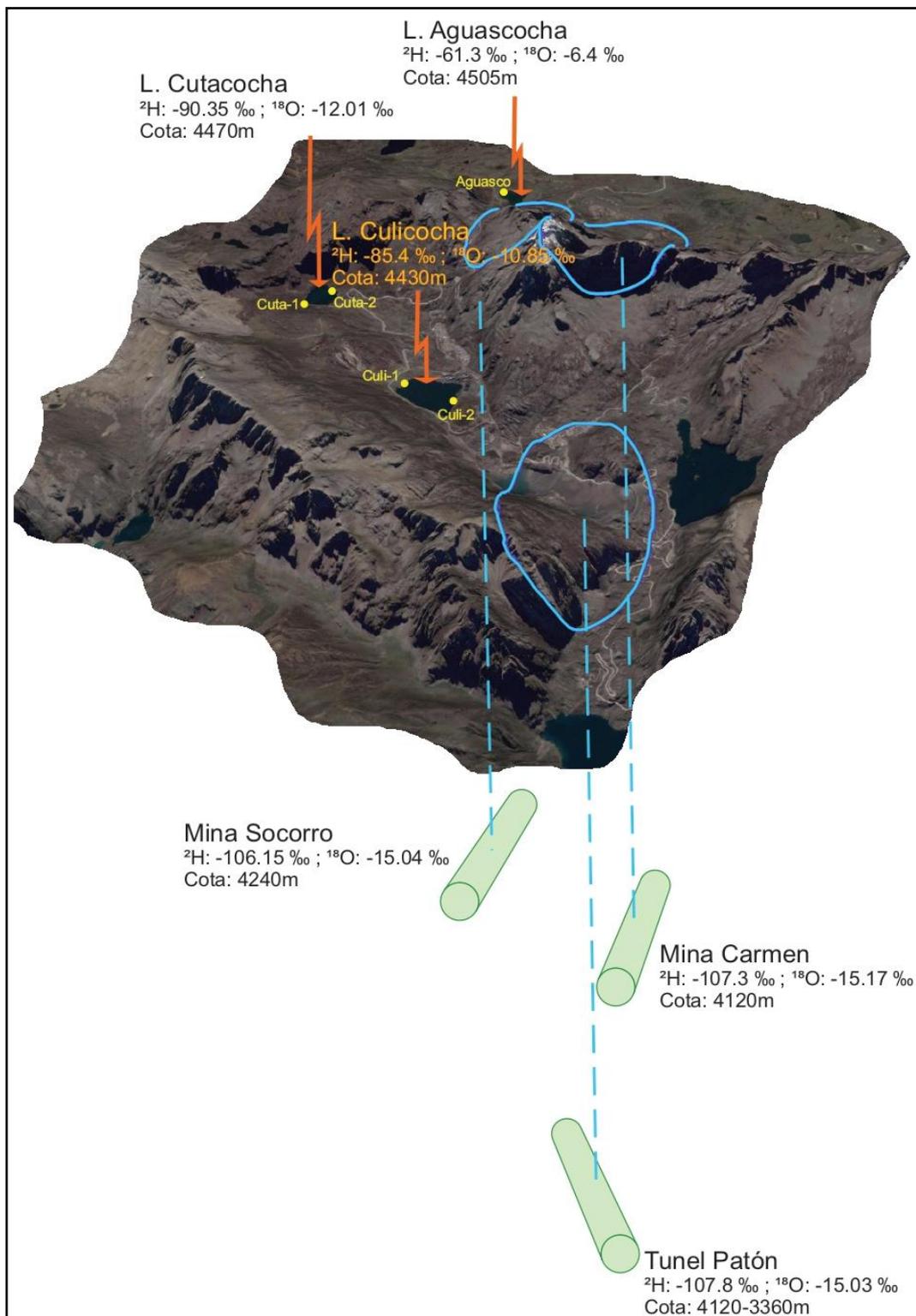
que da soporte al contenido isotópico de  $3.7 \pm 0.7$  UT que indica que es un agua joven. El contenido de los iones es consistente con la química de la Formación Jumasha.

## **Capítulo V**

### **MODELAMIENTO HIDROGEOLÓGICO**

En este capítulo se muestra representaciones en 3D y secciones geológicas que expresan los distintos comportamientos isotópicos y químicos de las muestras de aguas en estudio.

En la Figura 37 se observa el comportamiento de los isótopos  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$ , en la Figura 38 el comportamiento del  $^3\text{H}$ , en la Figura 39 los contenidos de la química del agua. En las secciones representadas en las Figuras 40, 41, 42, y 43 se plantea en origen de las filtraciones de las minas, sustentado con los valores isotópicos.



**Figura 37** Modelo según Deuterio  $^2\text{H}$  y Oxígeno  $^{18}\text{O}$ .

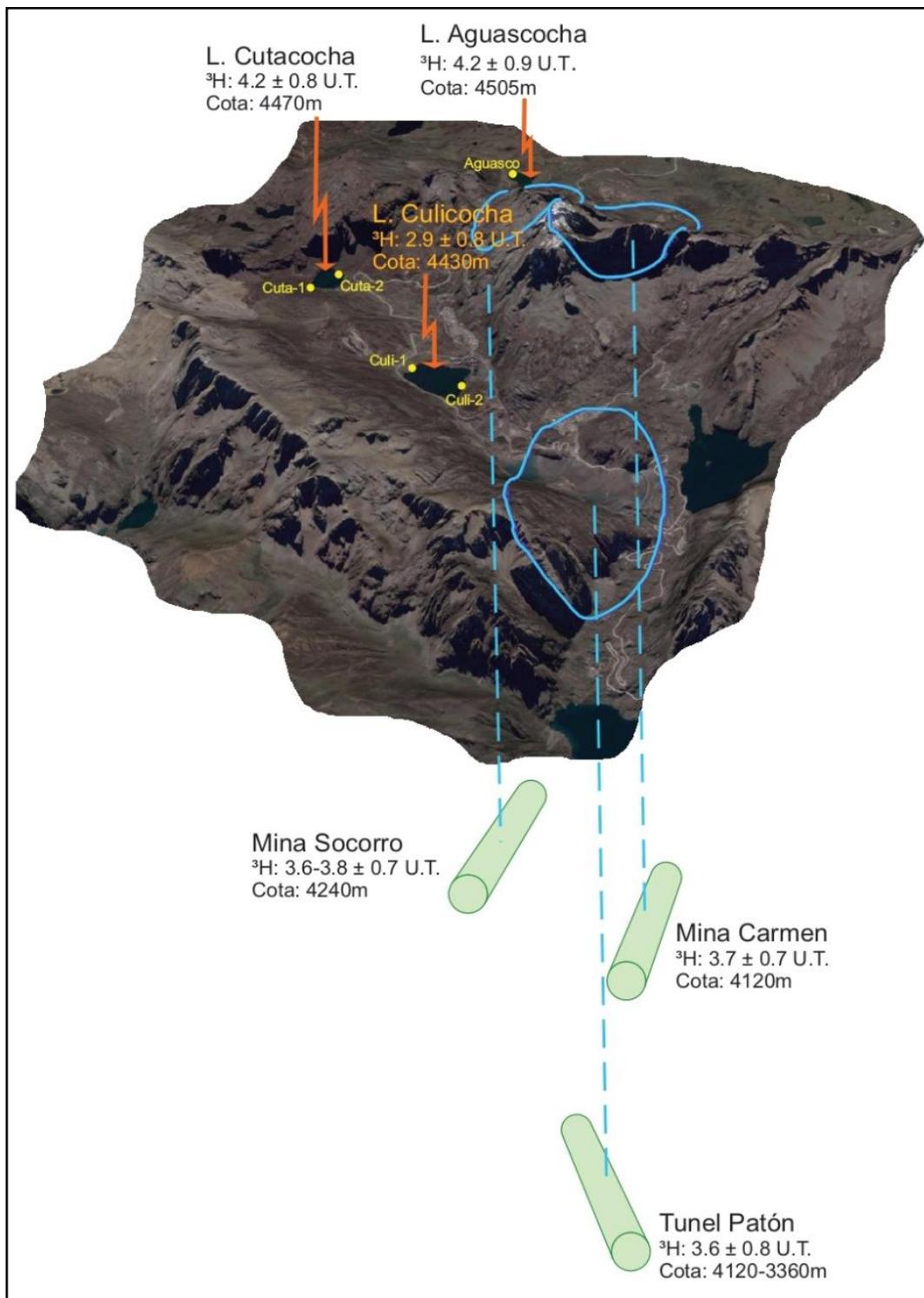
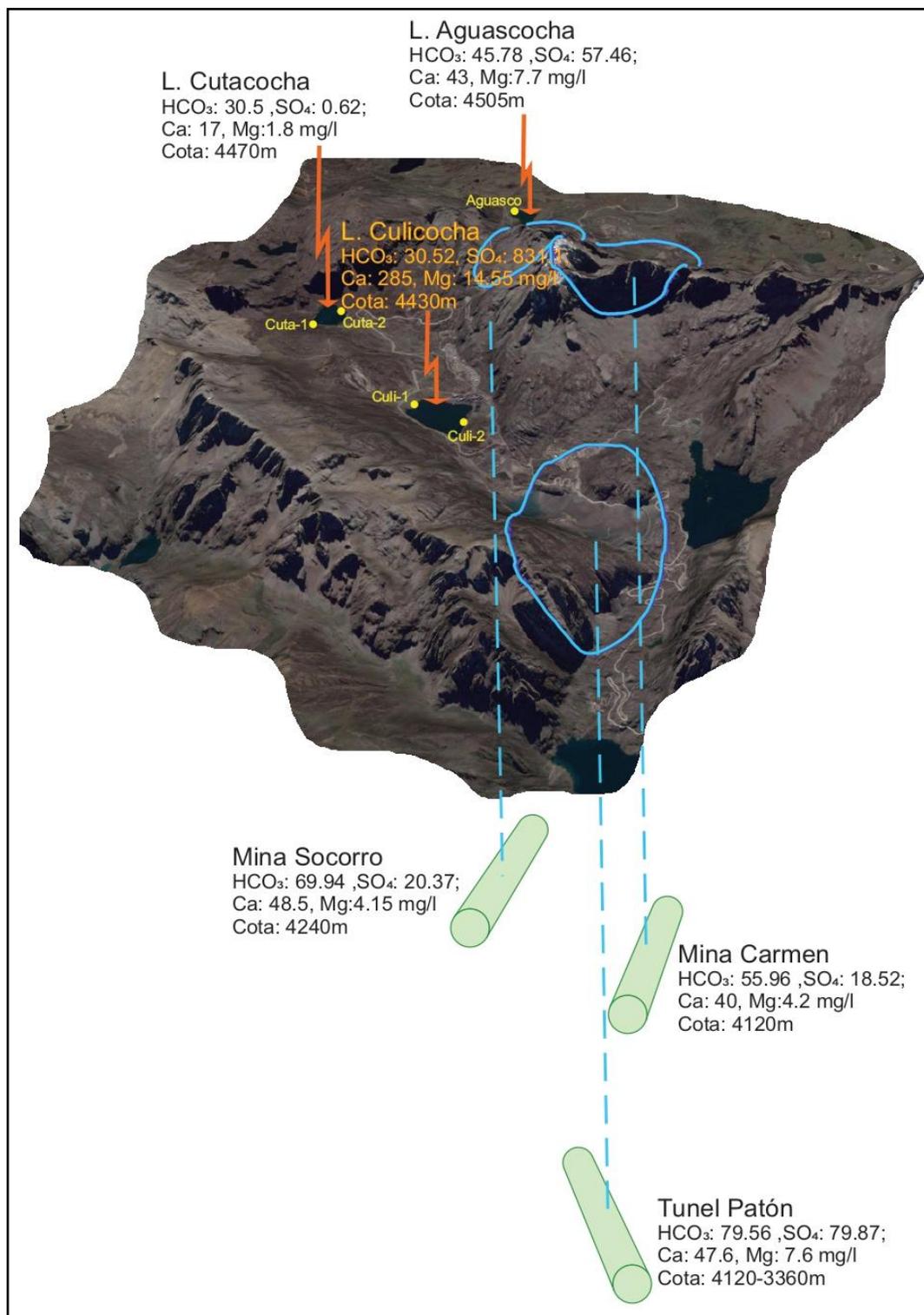


Figura 38 Modelo según el Tritio.

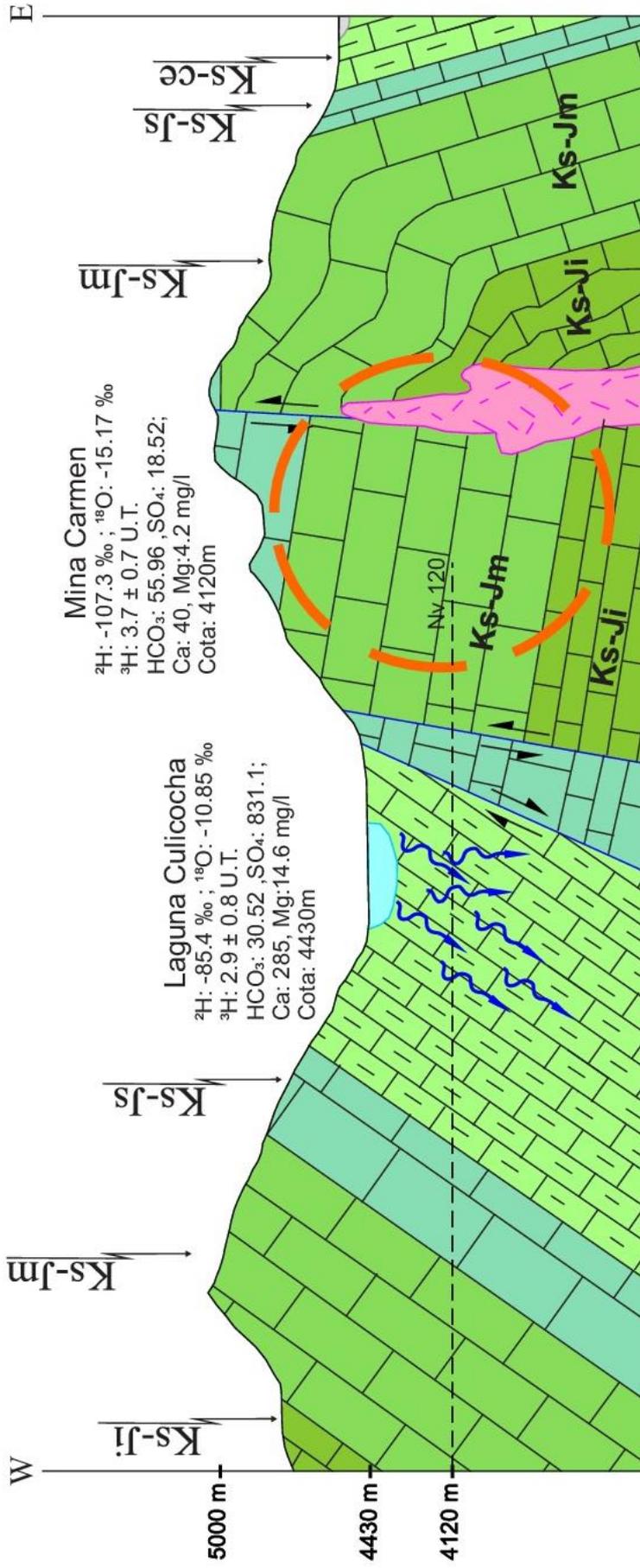


**Figura 39** Modelo según la Química del Agua.

La Figura 37 muestra de manera esquemática la variación de los valores de deuterio y oxígeno-18, se aprecia que las lagunas, las galerías y el túnel Patón tienen diferentes firmas isotópicas. Se señala con una circunferencia celeste la zona de influencia de la mina o túnel en superficie y con una línea discontinua la proyección de la ubicación de la galería o túnel.

La Figura 38 muestra de manera esquemática la variación del valor de Tritio, la laguna Culicocha es la más antigua, las galerías y el túnel Patón muestran valores menores a los de las otras lagunas, lo que indica que las aguas muestreadas de las galerías y el túnel tienen un tiempo de residencia. Se señala con una circunferencia celeste la zona de influencia de la mina o túnel en superficie y con una línea discontinua la proyección de la ubicación de la galería o túnel.

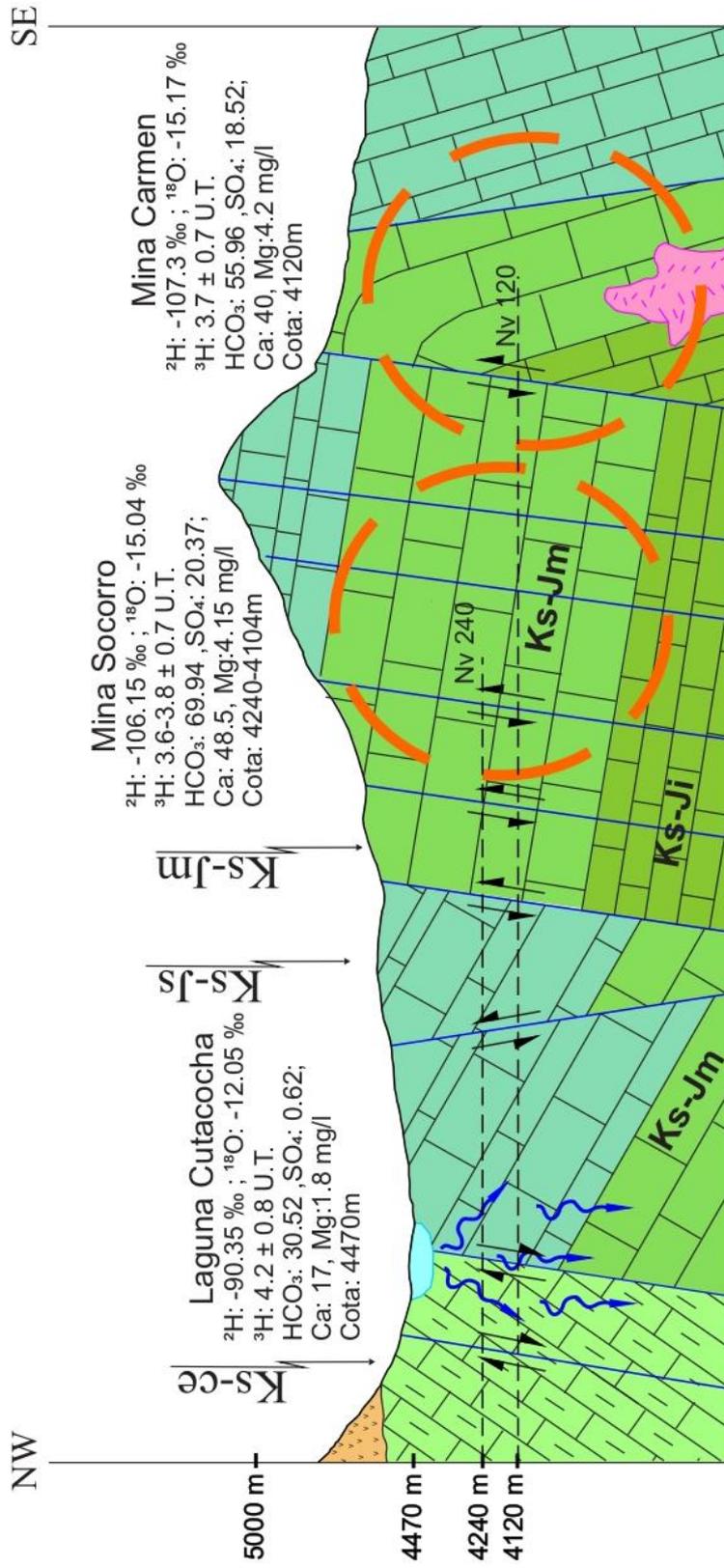
La Figura 39 muestra de manera esquemática la variación de los valores de la química del agua, se observa principalmente la elevada concentración de bicarbonato en las galerías y el túnel Patón, lo que indica la disolución de las rocas carbonatadas. Se señala con una circunferencia celeste la zona de influencia de la mina o túnel en superficie y con una línea discontinua la proyección de la ubicación de la galería o túnel.



Sección LitoHidrogeológica B<sub>1</sub>B<sub>1</sub>'  
 N90°

1:25 000

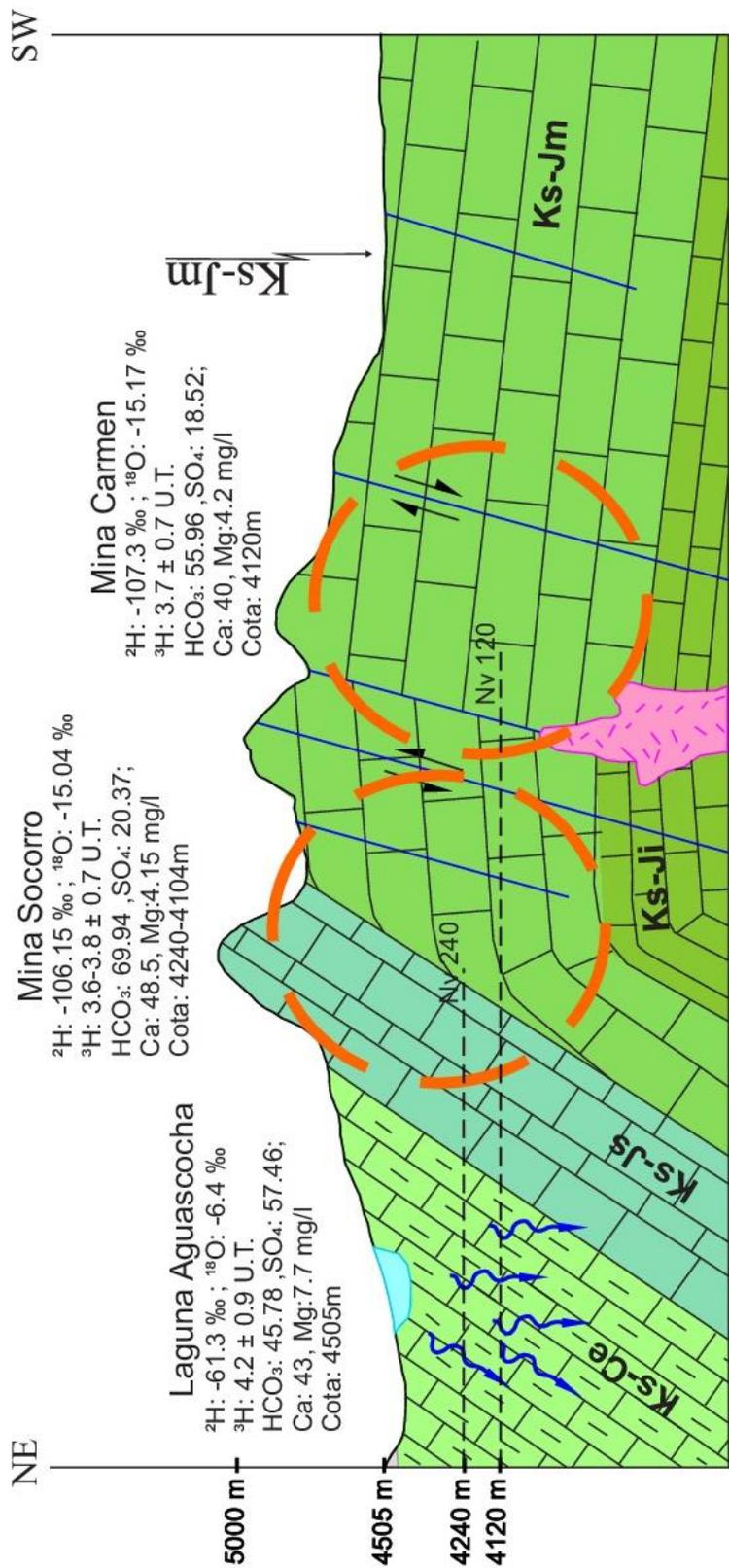
Figura 40 Sección LitoHidrogeológica B<sub>1</sub>B<sub>1</sub>'.



Sección LitoHidrogeológica CC'  
 N130°

1:25 000

Figura 41 Sección LitoHidrogeológica CC'.



Sección LitoHidrogeológica DD'  
 N190°

1:25 000

Figura 42 Sección LitoHidrogeológica DD'.

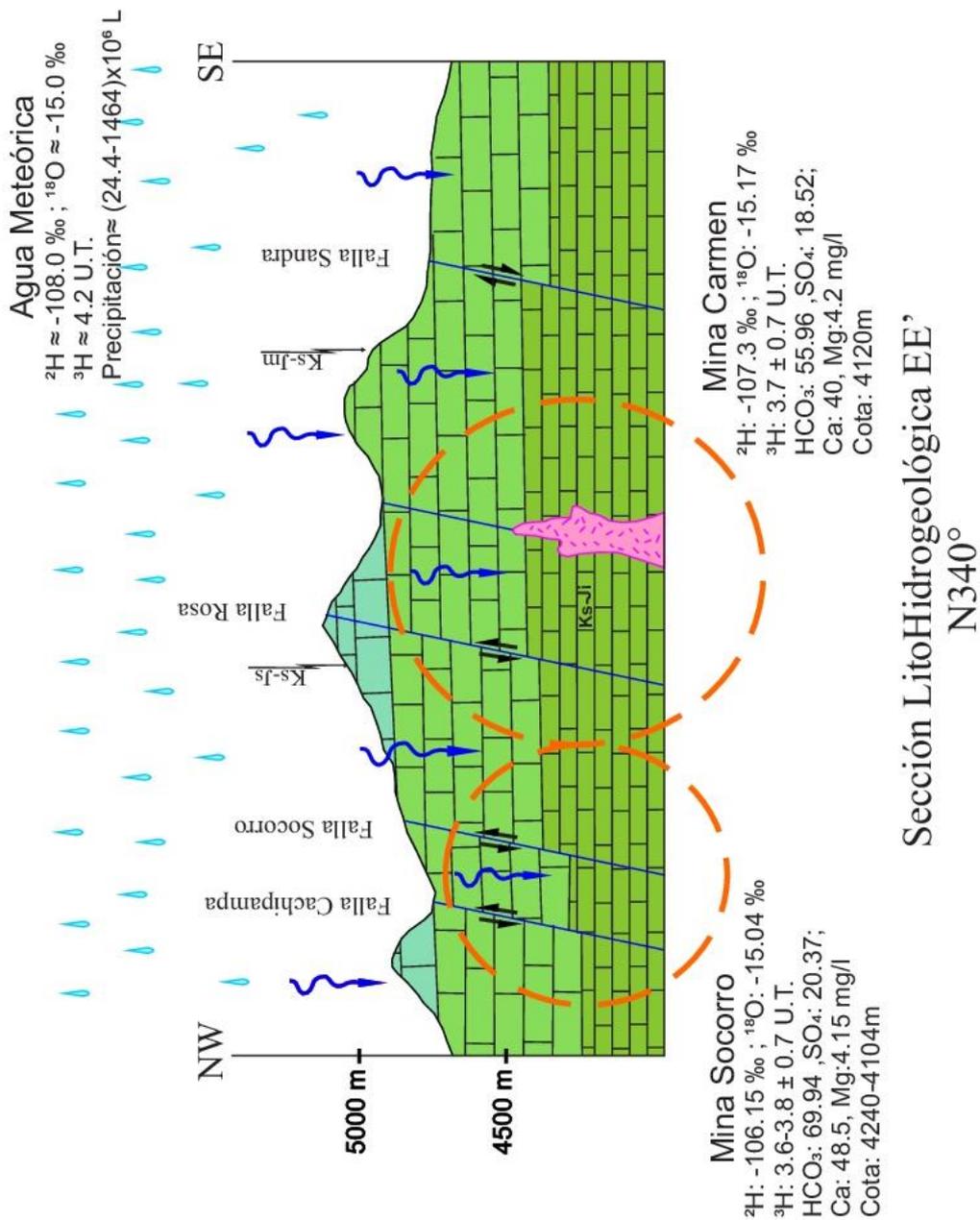


Figura 43 Sección LitoHidrogeológica EE'.

La Figura 40 es una sección en la que se esquematiza la laguna Culicocha y la mina Carmen (señalada con una circunferencia naranja) con sus valores isotópicos y químicos. Las flechas de color azul señalan la posible dirección del flujo de agua de la laguna.

La Figura 41 es una sección en la que se esquematiza la laguna Cutacocha y las minas Socorro y Carmen (señaladas con una circunferencia naranja) con sus valores isotópicos y químicos. Las flechas de color azul señalan la posible dirección del flujo de agua de la laguna.

La Figura 42 es una sección en la que se esquematiza la laguna Aguascocha y las minas Socorro y Carmen (señalada con una circunferencia naranja) con sus valores isotópicos y químicos. Las flechas de color azul señalan la posible dirección del flujo de agua de la laguna.

La Figura 43 es una sección en la que se esquematiza las minas Socorro y Carmen con sus valores isotópicos y químicos, también muestra el agua meteórica y sus posibles valores isotópicos inferidos de la LMM, su nivel de precipitación y se señala la filtración de las mismas con flechas de color azul.

## CONCLUSIONES

- El intenso tectonismo y algunos eventos magmáticos ocurridos en el área de estudio han ocasionado plegamiento, fallamiento y fracturamiento en las rocas calcáreas de las Formaciones Jumasha y Celendín. Incrementando así la porosidad secundaria de las formaciones geológicas y facilitando de esta manera la formación de acuíferos.
- El carácter conservativo de los isotopos sumado al contexto geológico de la zona de estudio que muestra abundantes planos de estratificación, fallas, fracturas, etc. que hacen que el agua tenga un paso relativamente rápido en el acuífero evitando contaminación o aporte isotópico de agentes extraños, hace de este estudio, un estudio, aún más confiable.
- Los resultados isotópicos de las muestras de las lagunas no tienen la misma firma isotópica que las muestras de las galerías. Por lo que se infiere que las filtraciones no son producidas por las aguas de las lagunas.
- Se infiere que las filtraciones en las galerías son producto de las aguas de lluvia acumuladas en el acuífero fisurado sedimentario (Ac-JCe), así como se interpreta a partir de las secciones Litohidrogeológicas del Capítulo V.
- El estudio de la química del agua guarda relación con el contenido litogeoquímico de las Formación Jumasha y Formación Celendín. Que están generalmente compuestas por rocas carbonatadas.
- Al determinar que las filtraciones no proceden de las lagunas, se evita drenar las mismas y así evitar un problema socioambiental.

## RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio isotópico ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$  y  $^3\text{H}$ ), esto por lo menos en dos ciclos hídricos (2 años), para poder conocer las características isotópicas de las aguas que se infiltran en la zona (agua de lluvia, agua de los nevados).
- Disponer de una red hídrica-isotópica en el Perú, para elaborar una Línea Meteorológica Local (LML). Lo que aportaría información importante para la caracterización de aguas de lluvias, superficiales y subterráneas.
- Proponer inyectar un trazador en las lagunas en estudio y determinar su dirección de flujo e interacción con otros cuerpos de agua.
- Realizar el muestreo teniendo en consideración todos los procedimientos de campo y medidas de seguridad para que la muestra no se altere y sea representativa del lugar; usando botellas de polietileno con doble tapa las cuales deben ser almacenadas en un cooler y en el caso de las muestras para el tritio estas deben ser forradas por papel platino.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atomic Energy Authority, *Isotopes in water & environmental management*.
- Blog: Es mi Perú. Recuperado de: <http://esmiperu.blogspot.com/2011/10/la-comunidad-campesina-de-oyon.html>
- Boletín N°55, (1995). *Serie A: Carta Geológica Nacional, Geología del Perú*. INGEMMET. Lima.
- Campos, E. (2006). *Crecimiento estratégico de la mina Uchucchacua* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Carrillo, A. (2002). *Hidro geoquímica Ambiental*. Centro de GeoCiencias - UNAM. Mexico.
- Climate-data.org. Recuperado de: <https://es.climate-data.org/location/55448/>
- Custodio, E. y Llamas, M. (1983). *Hidrología Subterránea-Tomo I*. Barcelona. España.
- EcuRed. *Diagrama Hidroquímico para modelos de agua*. Recuperado de: <https://www.ecured.cu>
- Gabriel, R. (2014). *Geología y exploración de vetas angostas en la zona NW de la Mina Carmen*. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- GEOCATMIN. (2019). *Cuadrángulo Oyón 22-j*. Perú.
- Huerta, G. (2009). *Hidrogeoquímica de aguas Subterráneas en la cuenca del Estero Punitaqui IV Región* (tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.

Instituto Tecnológico GeoMinero de España, (1991), *Aplicación de Técnicas Especiales al Estudio Hidrológico de Zonas de Baja Permeabilidad*. España.

International Atomic Energy Agency - IAEA, *Hidrología a base de Isótopos Ambientales*.

Massone H., Martinez D. y Quiroz M. (2014), *Estudio del ciclo hidrológico a través de los átomos*. Recuperado de: <https://estrucplan.com.ar/articulos/estudio-del-ciclo-hidrologico-a-traves-de-los-atomos/>

Medina, W. (2006). *Operaciones en la U.P. Uchucchacua Mina Socorro*. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Sánchez, V. (2007). *Análisis Estructural, Mineralógico y Geoquímico del cuerpo Rosario y su aplicación a la exploración en el distrito minero Uchucchacua*.(tesis de pregrado).Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Tarazona, S. (2014). *Descripción Geomecánica de la rampa 626 –1, Mina socorro – Oyón – Lima*. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Villacorta S., Chira J., Ochoa M., Sánchez M. y Pari W. (2010). *Estudio Geoambiental de la Cuenca del Rio Huaura*. INGEMMET. Lima.

Www. Buenaventura.com

## **ANEXOS**

### ***Anexo A***

#### ***Mapas***

*Mapa de Subcuencas de la Cuenca del río Huaura.*

*Mapa Geológico regional de Uchucchacua.*

*Mapa Hidrogeológico de Uchucchacua.*

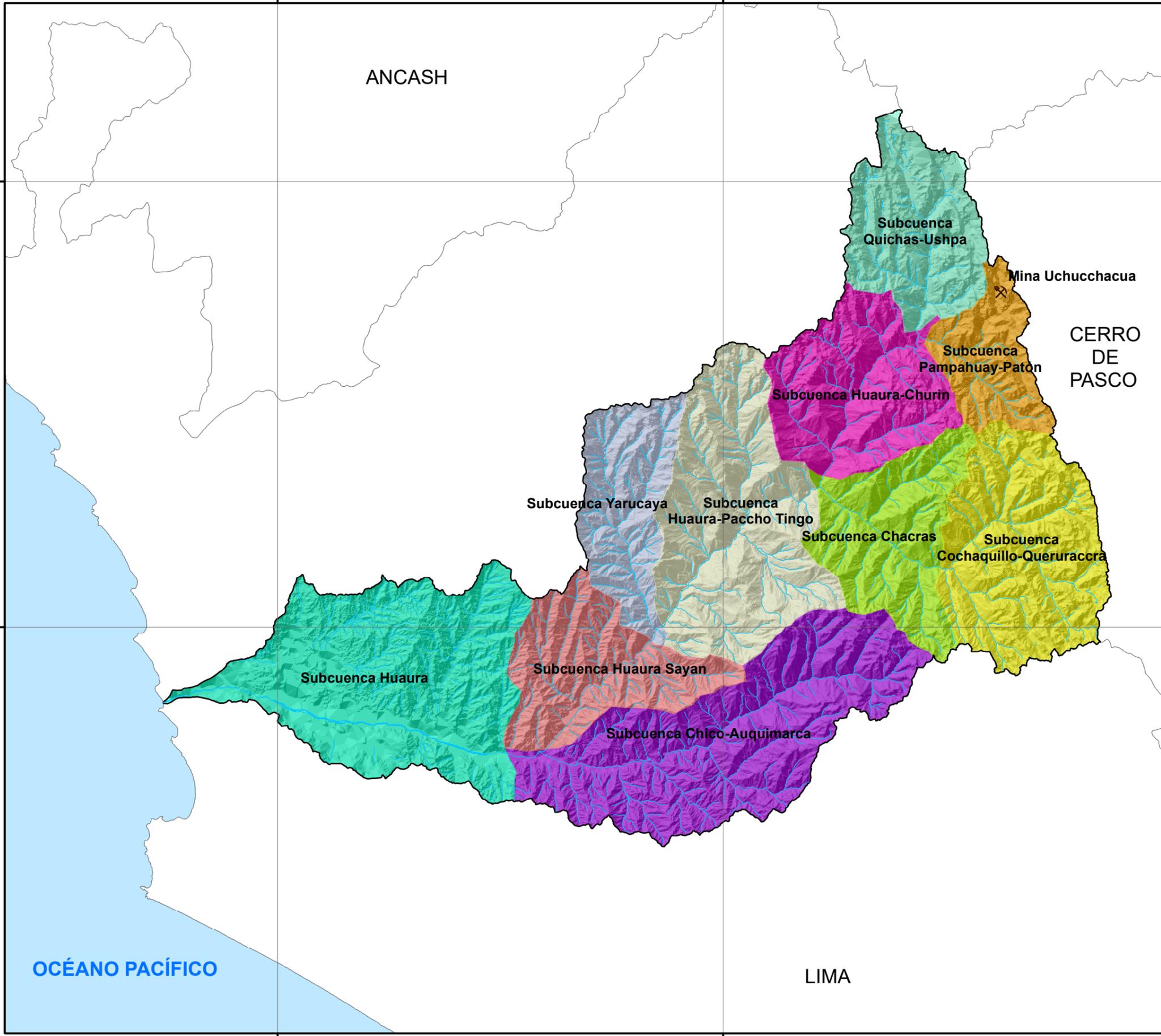
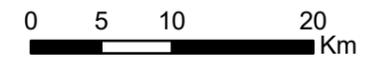
*Mapa de muestreo de las lagunas.*

# MAPA DE SUBCUENCAS DE LA CUENCA DEL RIO HUAURA



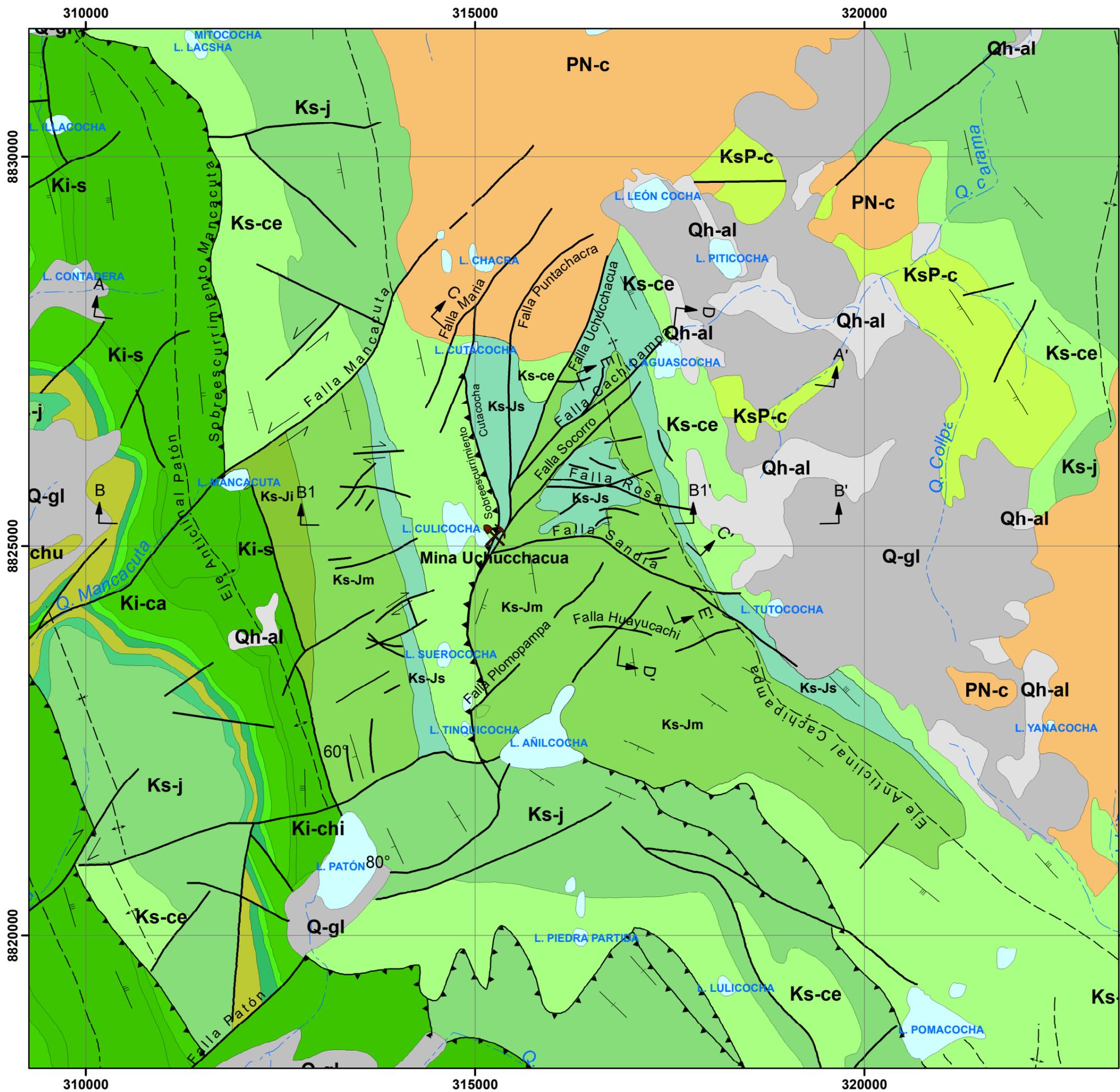
Por: Heinz Pierre Galdos Lindao  
2019

1:500,000



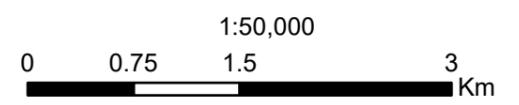
## LEYENDA





# MAPA GEOLÓGICO REGIONAL DE UCHUCCHACUA

Por: Heinz Pierre Galdos Lindao  
2019

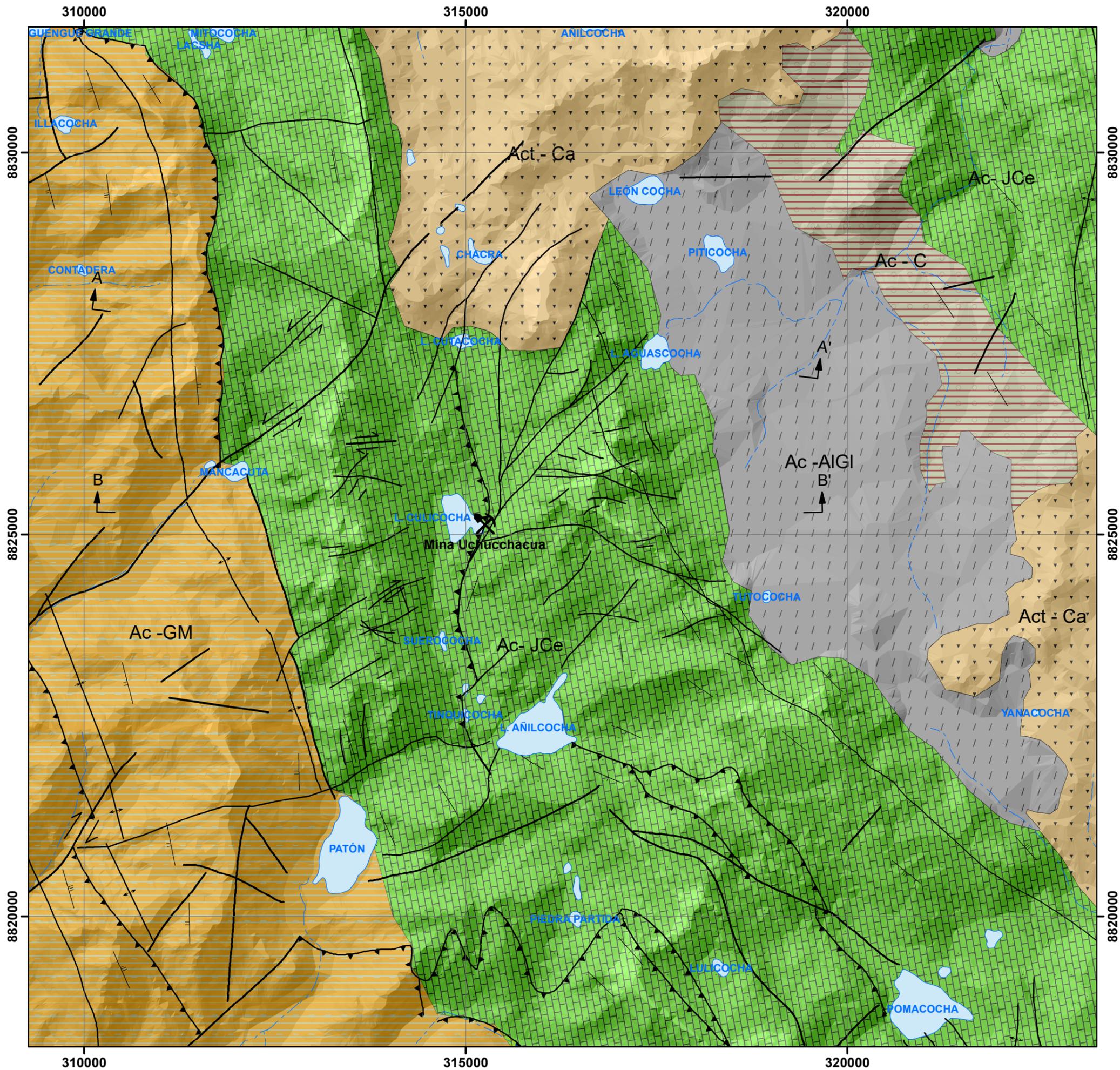


### SIMBOLOS

- Rumbo y buzamiento de estratos
- Rumbo y buzamiento de capas invertidas
- Rumbo y buzamiento fotointerpretados 30°- 60°
- Rumbo y buzamiento fotointerpretados > 60°
- Falla inferida
- Falla inversa
- Eje de anticlinal
- Eje de sinclinal
- Contacto geológico
- Río principal
- Mina Uchucchacua
- Línea de sección geológica

### LEYENDA

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósito aluvial Qh-al Material mal clasificado, clastos angulares en matriz arcillosa. Formado en la base de las laderas.
		PLEISTOCENO	Depósito glacial Q-gl Fragmentos heterogéneos, pobremente clasificados. Forman morrenas frontales y laterales.
	NEOGENO	PLIOCENO	
		MIOCENO	
		OLIGOCENO	Grupo Calipuy PN-c Derrame de lavas andesíticas, tobas de ceniza y secuencias clásticas.
		EOCENO	
PALEOCENO			
MESOZOICO	SUPERIOR	Formación Casapalca	KsP-c Areniscas y margas de color rojo, con algunos lechos de conglomerados y caliza.
		Formación Celéndin	Ks-ce Calizas margosas, marga blancas que intemperizan a un color amarillo crema.
		Formación Jumasha	Ks-j, Ks-js, Ks-jm, Ks-ji Calizas grises en estratos medianos a delgados con intercalaciones de limoarcillitas grises y negras.
	INFERIOR	Formación Pariatambo	Ki-pt Calizas bituminosas intercalado con limoarcillitas negras.
		Formación Chúlec	Ki-chu Calizas grises y margas, se presenta en estratos medianos.
		Formación Pariahuanca	Ki-ph Calizas grises, amarillentas y limoarcillitas grises. Areniscas cuarzosas y areniscas calcáreas.
GRUPO Goyllariguazga	Formación Farrat	Ki-f Arenisca cuarzosa blanca con estratificación cruzada, microconglomerados con clastos de cuarzitas.	
	Formación Carhuaz	Ki-ca Limoarcillitas grises, intercaladas con areniscas finas, arenisca cuarzosa de color rojo.	
	Formación Santa	Ki-s Calizas con limoarcillitas grises y ocasionales nódulos de chert.	
	Formación Chimú	Ki-chi Arenisca cuarzosa blanca, intercalada con arcillas y lechos de carbón.	



# MAPA HIDROGEOLÓGICO DE UCHUCCHACUA



Por: Heinz Pierre Galdos Lindao  
2019

1:50,000

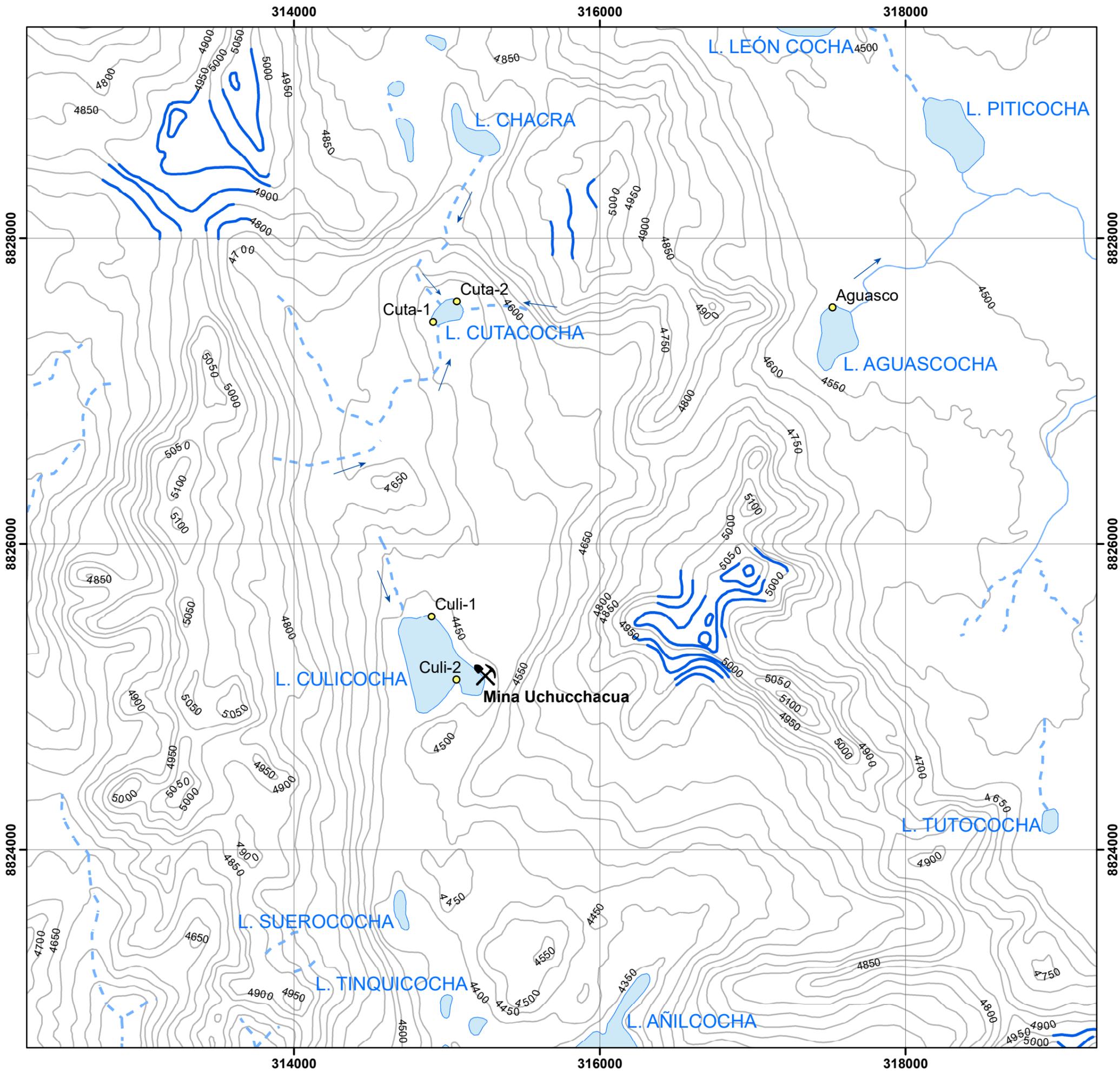


## SIMBOLOS

- Rumbo y buzamiento de estratos
- Eje anticlinal tumbado
- Rumbo y buzamiento fotointerpretados 30° - 60°
- Rumbo y buzamiento fotointerpretados > 60°
- Falla inferida
- Falla inversa
- Eje de anticlinal
- Eje de sinclinal
- Contacto geológico
- Línea de sección geológica
- Quebrada

## LEYENDA

UNIDAD HIDROGEOLOGICA	CLASIFICACIÓN	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
ACUIFERO	POROSO NO CONSOLIDADO	DEPÓSITO ALUVIAL Ac - AIGI	Depósitos detríticos permeables en general, no consolidada, con permeabilidad elevada, litológicamente constituida por material aluvial, morrenas, gravas.
		DEPÓSITO GLACIAR	
		Gpo. Machay Ac - GM	Formaciones detríticas permeables en general no consolidadas, acuífero generalmente extenso, con permeabilidad elevada, litológicamente constituida por calizas, areniscas y limoarcillitas.
	FISURADO SEDIMENTARIO	Gpo. Goyllarisquizga	
		Fm. CASAPALCA Ac - C	Formaciones consolidadas, conformado por areniscas, margas y conglomerados.
		Fm. CELENDIN Ac - JCe	Formaciones consolidadas fisuradas, incluye formaciones kársticas, acuífero local o discontinuo productivo pero solo moderadamente productivos, conformado por calizas, margas y limoarcillitas.
ACUITARDO	VOLCÁNICO SEDIMENTARIO	GRUPO CALIPUY Act - Ca	Formación detrítica o fisurada, con permeabilidad muy baja a baja, litológicamente constituido por lavas andesíticas, tobas de cenizas y secuencias clásticas.

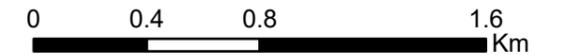


# MAPA DE MUESTREO DE LAS LAGUNAS



Por: Heinz Pierre Galdos Lindao  
2019

1:25,000



## LEYENDA

-  Curva de nivel
-  Curvas de nivel de Nevados
-  Red hidrográfica
-  Red hidrográfica estacionaria
-  Puntos de toma de muestra
-  Lagunas