

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**

**Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia**

**Escuela Profesional de Ingeniería Geológica-Geotecnia**

**“EFECTO DE LAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES Y  
GEOLÓGICAS SOBRE LA CALIDAD DE AGUA EN LA  
CUENCA CAPLINA-TACNA”**

**TESIS**

**Presentada por:**

**Bach. PRINCIPE TACORA VILLEGAS**

**Para obtener el Título Profesional de:**

**INGENIERO GEÓLOGO - GEOTÉCNICO**

**TACNA - PERÚ**

**2016**

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y GEOTECNIA

Jurado de Sustentación de Tesis

“EFECTO DE LAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES Y  
GEOLÓGICAS SOBRE LA CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA  
CAPLINA-TACNA”

16 de Diciembre del 2016

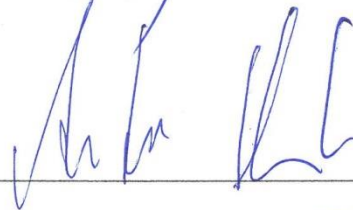
MSc. Conrado Bedoya Jaén  
Presidente



Ing. Fredy C. Cabrera Olivera  
Secretario



Dr. André Steenken  
Miembro



Ph.D. Edwin M. Pino Vargas  
Asesor



# DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a mi familia, a mi padre Indalicio por su esfuerzo y sacrificio; a mi madre Celia, por su apoyo incondicional que me brinda día a día.

**Principe Tacora**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar agradezco a mi asesor Ph.D Edwin Martin Pino Vargas por su apoyo en la elaboración de este trabajo.

De la misma forma quiero hacer llegar mis agradecimientos a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica y Geotecnia de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, por el apoyo brindado por los ingenieros Fredy Cabrera Olivera y Vianney Ángel Torres Alférez.

Y también a todas las personas que de alguna u otra forma facilitaron la realización del presente trabajo; a Dios, por cuidarme en la salud, en mi trabajo; a mis padres, que sin su apoyo no hubiese logrado mis metas.

## CONTENIDO

<b>CONTENIDO</b> .....	<b>i</b>
<b>RELACIÓN DE FIGURAS</b> .....	<b>iii</b>
<b>RELACIÓN DE TABLAS</b> .....	<b>vi</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>I. ASPECTOS GENERALES</b> .....	<b>2</b>
1.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	2
1.2. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA .....	4
1.3. HIPÓTESIS .....	5
1.3.1. HIPÓTESIS GENERAL .....	5
1.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....	5
1.4. FUNDAMENTO Y JUSTIFICACIÓN .....	6
1.5. OBJETIVOS .....	7
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>8</b>
2.1. ASPECTOS GENERALES .....	8
2.2. REVISIÓN DE INVESTIGACIONES REALIZADAS .....	12
<b>III. METODOLOGÍA</b> .....	<b>28</b>
3.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y FUENTE DE DATOS .....	28
3.2. TRABAJO DE CAMPO .....	28

3.3.	ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO E HIDROLÓGICO .....	28
3.4.	GEOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA .....	30
3.4.1.	ASPECTOS GENERALES .....	30
3.4.2.	ESTRATIGRAFÍA.....	30
3.4.3.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	48
3.5.	GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA .....	52
3.5.1.	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA CORDILLERA.....	52
3.5.2.	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA PUNA .....	54
3.5.3.	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA FLANCO DISECTADO DE LOS ANDES . .....	55
3.5.4.	PARAMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA CAPLINA ....	57
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>60</b>
4.1.	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA CORDILLERA.....	60
4.2.	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA PUNA .....	63
4.3.	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA FLANCO DISECTADO DE LOS ANDES ....	68
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>77</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>80</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>81</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>84</b>

## RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación macro-micro de la zona de estudio.....	3
Figura 2: Componentes de análisis para interpretar la calidad de agua .....	7
Figura 3: Comparación de niveles de arsénico en cuerpo de agua superficial y en sedimentos en río Caplina: punto QAnco1, RCap1 y RCap3 .....	23
Figura 4: Formación Pelado en el cerro Pelado ubicado al este del río Caplina. Esta formación es cruzada por la falla regional Incapuquio.....	33
Figura 5: Alteraciones hidrotermales en el volcánico Huilacollo .....	36
Figura 6: Fragmento de rocas con óxido de hierro en las laderas de los cerros Andamarca y Huilacollo .....	37
Figura 7: Vista panorámica Google Earth. La zona de color verde representa al volcánico Huilacollo. ....	38
Figura 8: Alteraciones hidrotermales en el cerro Huilacollo.....	38
Figura 9: Vista panorámica Grupo Barroso .....	41
Figura 10: Quebrada Paralocos, alteraciones hidrotermales del Grupo Barroso que aportan sedimentos con elementos contaminantes a las aguas del río Caplina .....	41
Figura 11: Vista panorámica de Google Earth: la extensión del grupo Barroso dentro del límite de la cuenca está encerrado con un polígono anaranjado. ....	42
Figura 12: Grupo Barroso y Depósitos Fluvioglaciares. ....	43
Figura 13: Vista panorámica de Google Earth: polígono de color celeste representa la zona donde presenta depósitos Fluvioglaciares.....	44
Figura 14: En primer plano se observa los depósitos Fluvioglaciares .....	44
Figura 15: Vista panorámica Google Earth, donde se aprecia la zonificación de los depósitos de Morrena con polígonos de color anaranjado.....	45
Figura 16: Vista panorámica Google Earth, donde se observa depósitos de Bofedales representados por polígonos de color amarillo. ....	46
Figura 17: Rocas granodioritas de la unidad intrusiva Yarabamba. ....	47
Figura 18: Esquema de la subducción de la Placa Continental y la Placa de Nazca...	49
Figura 19: Falla regional Incapuquio .....	50

Figura 20: Falla inversa Challaviento .....	51
Figura 21: Cordillera Occidental, nevado El Fraile. ....	52
Figura 22: Vista satelital Google Earth donde se puede apreciar la unidad geomorfológica Cordillera Occidental. ....	53
Figura 23: Vista panorámica de la unidad geomorfológica Puna.....	54
Figura 24: Vista panorámica Google Earth. El polígono de color azul representa la unidad geomorfológica Puna .....	55
Figura 25 Vista Panorámica del Flanco Disectado de los Andes, inicio del rio Caplina	56
Figura 26: Vista panorámica, donde se puede observar entre límites de color verde y contorno verde representa a la unidad geomorfológica Flanco Disectado de los Andes.....	57
Figura 27: Curva Hipsométrica de la cuenca Caplina. Punto de control Bocatoma Challata. ....	59
Figura 28 Vista panorámica Google Earth, donde se puede apreciar las tres unidades geomorfológicas por donde discurre las aguas del rio Caplina .....	60
Figura 29: Zona de alteración de color rojizo anaranjado del grupo Barroso en la zona naciente de la Quebrada Piscullane .....	61
Figura 30: Zona de alteración en Nevado El Fraile, naciente de la quebrada Paralocos. ....	62
Figura 31: Concentración de elementos en las aguas de la quebrada Piscullane estación QPsic .....	63
Figura 32: Zona de alteración hidrotermal del volcánico Huilacollo .....	64
Figura 33: Roca andesita del volcánico Huilacollo. ....	65
Figura 34: Fuente geotermal Aruma .....	65
Figura 35: concentración de arsénico en la fuente geotermal Aruma.....	66
Figura 36: concentración de hierro en la fuente geotermal de Aruma .....	66
Figura 37: Concentración de aluminio en la fuente geotermal Aruma .....	67
Figura 38: Contenido de hierro en las aguas de la quebrada Ancoma, Año 2014 .....	68
Figura 39: Coloración del agua debido a la presencia de hierro y azufre. (Aguas arriba de la Bocatoma Challata) curso principal del río Caplina .....	69

Figura 40: Evidencias de contenido de hierro marcadas sobre las rocas granodioritas. .....	69
Figura 41: Variación de concentración de elementos en el agua Quebrada Ancoma..	70
Figura 42: Concentraciones de arsénico y boro en la estación QToquela.....	71
Figura 43: Concentraciones de aluminio, arsénico, hierro y manganeso en la estación de QRCap1 .....	72
Figura 44: Concentración de aluminio, arsénico, hierro y manganeso en la estación QRCap3 (Punto de control de la zona de estudio).....	72
Figura 45: Concentración de arsénico en los años 2011, 2012 y 2014 en los ríos de la cuenca Caplina.....	73
Figura 46: Concentración de boro en los años 2011, 2012 y 2014. ....	74
Figura 47: Concentración de hierro en los años 2011, 2012 y 2014.....	74
Figura 48: Concentración de aluminio en los años 2011, 2012 y 2014. ....	75

## RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1: Resultados Analíticos en QPisc realizado por ANA – Diciembre del 2012 ....	16
Tabla 2: Resultados de la Quebrada Toquela- Diciembre del 2012 .....	17
Tabla 3: Resultados analíticos en la Estación Qanco1 .....	18
Tabla 4: Resultados analíticos en la Estación Qcap1 realizado por ANA.....	20
Tabla 5: Resultados analíticos en la Estación Qcap3 realizado por ANA.....	20
Tabla 6: Resultados de Calidad de agua en el río Caplina y sus tributarios - Abril 2014 .....	24
Tabla 7: Cuadro de resumen de resultados de parámetros geomorfológicos de la cuenca Caplina.....	58
Tabla 8: Cuadro de áreas entre curvas de nivel.....	59

## RESUMEN

Este trabajo se trata de explicar la calidad de agua en la cuenca Caplina considerando como componentes principales la geomorfología, geología, medio ambiente, la hidrología, en donde se ha realizado un análisis geomorfológico y geológico de la cuenca sobre las cuales discurre las aguas del río Caplina. Se ha identificado tres unidades geomorfológicas tales como son: Cordillera Occidental, Puna y Flanco Disectado de los Andes. La primera unidad presenta pendientes muy altos difíciles de acceder; en esta unidad geomorfológica se encuentra el grupo Barroso constituidas por andesitas, traquiandesitas con intercalaciones de piroclastos, dacitas; además, se encuentra zonas de alteración hidrotermal que inciden sobre la calidad de agua aportando sedimentos, los que son arrastrados por las aguas de las lluvias que caen en la zona, donde alcanzan valores entre 230 hasta 350 mm/año. Según los resultados de monitoreo de calidad de agua realizado por Autoridad Nacional del Agua (ANA), las aguas de la quebrada Piscullane, naciente del río Caplina, presenta un pH ácido, presencia de hierro, aluminio por encima de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para categoría 3.

En la unidad geomorfológica Puna, constituida por una serie de lomadas y zonas llanas cortadas por quebradas, en ella se identificó las formaciones geológicas tales como: Volcánico Huilacollo, constituido por brechas andesíticas, tobas dacíticas; Volcánico Toquepala, constituida por lavas andesíticas, estas rocas están alteradas debido a la presencia de la unidad intrusiva Challaviento. También se identificó fuentes geotermales en las quebradas Paralocos y Aruma que según los resultados de

monitoreo de calidad de agua por Autoridad Nacional del Agua (ANA) presenta contenido de elementos tales como: arsénico, hierro, boro, sodio, aluminio, plomo y demás elementos que están por encima de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para categoría 3.

En la unidad geomorfológica Flanco Disectado de los Andes, constituida por zonas de pendientes media a alta (anexo lámina N° 3) se observó las siguientes formaciones geológicas: Formación Junerata, que está constituida por andesitas y rocas volcánicas; la unidad intrusiva Challaviento, constituida por granodioritas y monzodioríticas. En esta unidad geomorfológica se tienen cuatro puntos de monitoreo de calidad de agua que están ubicadas en las siguientes quebradas: Ancoma, Toquela, Caplina 1 y el cuarto punto ubicado a 50 m aguas arriba del punto de control (Bocatoma Challata), en donde el pH del agua es 3,7 (ácido); los contenidos de arsénico, hierro y manganeso, encima de los ECA. Se elaboró mapas tales como: Geomorfológico, geológico, pendientes, ubicación de puntos de monitoreo de calidad de agua y mapas de zonas de mayor influencia sobre la calidad de agua.

Palabras claves: Geomorfología, geología, calidad de agua, geotermalismo.

## ABSTRACT

This paper tries to explain the quality of water in the Caplina basin considering as main components such as geomorphology, geology, environment, hydrology, where it has conducted a geomorphological and geological analysis of the basin over which runs the Caplina waters of the river. It has identified three geomorphic units such as: Western Cordillera, Puna and dissected Flank of the Andes. The geomorphological unit Cordillera Occidental has slopes very high difficult to access, this geomorphological unit is the Barroso group consisting of andesites, trachyandesites with interbedded pyroclastic, dacite, plus hydrothermal alteration zones that affect water quality by providing sediment is which they are washed by the waters of the rains that fall in the area, where they reach values between 230-350 mm / year. According to the results of water quality monitoring by National Water Authority (ANA). Piscullane waters of the stream, the river rising Caplina, presents an acid pH, the presence of iron, aluminum above the Environmental Quality Standards (ECA) for Category 3.

The Puna geomorphological unit consisting of a series of hills and plains cut by gorges, geological formations such as identified: Volcanic Huilacollo consisting of andesitic breccia, dacitic tuff, Toquepala formation consisting of andesitic lavas, these rocks are altered due to the presence intrusive Challaviento unit. geothermal sources were also identified in the Paracolos streams and Aruma according to the results of monitoring water quality by National Water Authority (ANA) presents content elements such as arsenic, iron, boron, sodium, aluminum, lead and other elements that are above the Environmental Quality Standards (ECA) for category 3. in the geomorphological unit

dissected edge of the Andes consists of areas earrings half high (see Annex LAMINA No. 3) was observed following geological formations: training Junerata which are constituted by andesites and volcanic rocks and intrusive Challaviento unit formed by granodiorites and monzodioriticas. In this gemorfologica unit you have 4 points monitoring water quality are located in the following streams: Ancoma, touch, Caplina 1 and the fourth point located 50 m upstream of Control Point (Bocatoma Challata). Wherein the pH of the water is 3.7 (acid), the contents of arsenic, iron and manganese above the ECA. Geomorphological, geological, Earrings, Location Points Monitoring water quality and maps of areas of greatest influence on water quality: such as maps was developed.

Keyboards: Geomorphology, geology, water quality, geothermal.

## INTRODUCCIÓN

Un caso recurrente es realizar estudios de una cuenca hidrográfica con fines de aprovechamiento de recurso hídrico para distintos usos. En Tacna se tiene una escasez hídrica y la demanda de su uso es amplia, es por ello que es necesario realizar los distintos tipos de estudios. La calidad de agua, que es muy importante puesto que este parámetro restringe el uso del mismo, está relacionada con la influencia geológica que la alberga; es decir, por la interacción del ciclo hidrológico, el agua del océano se evapora y estas nubes son transportadas por los vientos hacia la Cordillera, se condensa y luego precipita por diferencia de presión atmosférica y cambios de temperatura. Volviendo al tema de calidad de agua resultante en la salida de una cuenca, depende entonces de la geología, geomorfología y la variación del clima en dicha cuenca.

Las fuentes hidrotermales producto de la actividad tectónica, también marcan una notable influencia debido a los aportes de elementos contaminantes tales como arsénico, hierro, boro, aluminio, etc. al curso del río Caplina. Las lluvias que precipitan caen sobre distintas litofacies, el agua con su poder de ataque erosivo actúa sobre las rocas y los sedimentos producto de la erosión o desgaste, estas son transportadas a lo largo del cauce del río. En este transcurso ocurre el fenómeno de la disolución; es decir, los elementos que conforman los sedimentos se combinan con el agua y surge un nuevo producto dando como resultado una determinada calidad de agua. Por lo tanto, para estudiar este tipo de fenómeno se hace mediante un análisis triple, en las que se considera los componentes principales tales como la precipitación, geología y proceso respuesta.

## **I. ASPECTOS GENERALES**

### **1.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

La cuenca hidrográfica del río Caplina se ubica en la zona sur del Perú, en los distritos de Pachia y Palca, región Tacna, ubicada geográficamente entre las siguientes coordenadas WGS 84:

383512,72 m E - 8029885,82 m N, cota 1328 msnm (Bocatoma Challata)

413534,37 m E - 8057801,96 m N, cota 5550 msnm (Cabecera de la cuenca hidrográfica Caplina).

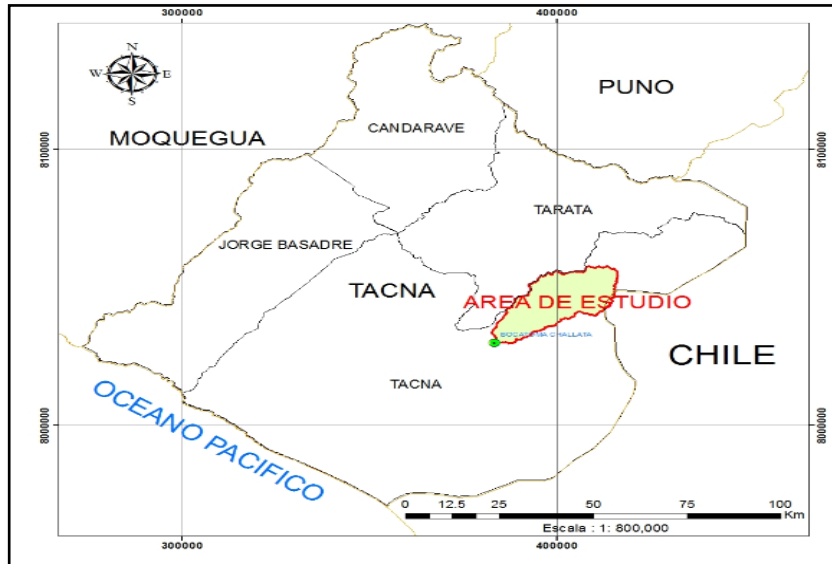
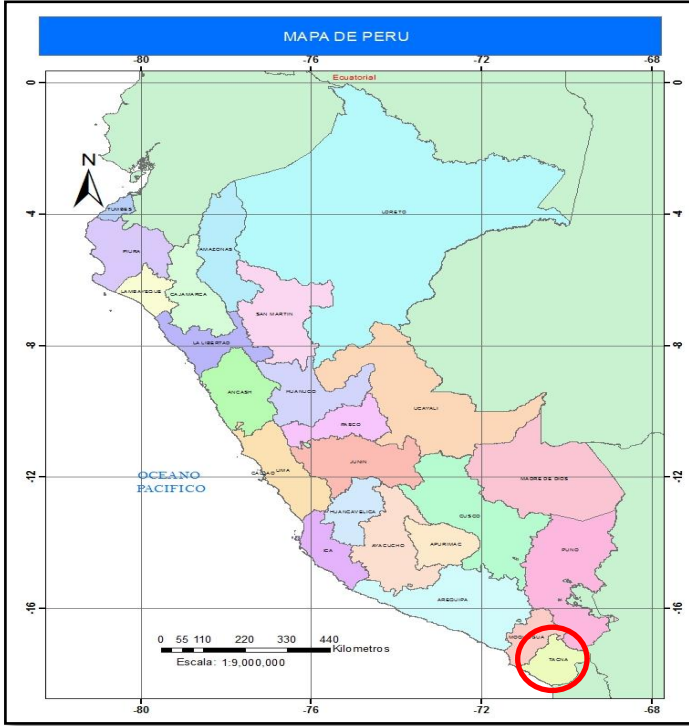


Figura 1: Mapa de ubicación macro-micro de la zona de estudio

## **1.2. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA**

Las corrientes fluviales que drenan según los relieves del sistema hídrico de la cuenca Caplina, presentan una notable complejidad geológica, geomorfológica e hidrológica. Esto se debe a la dilatada y policíclica historia evolutiva de los relieves donde surgieron, la dimensión y diversidad litológica de la cuenca que tienen una influencia de gran importancia sobre la calidad de agua y la irregular distribución espacio temporal de las precipitaciones que las alimentan, para ello se ha considerado como punto de control la Bocatoma Challata.

Existen problemas para interpretar la naturaleza y magnitud de las condicionantes geológicas y geomorfológicas en la disposición de las cuencas fluviales y sus redes de drenaje.

A pesar de esta problemática de escasez hídrica y la calidad de agua con la que se cuenta en dicha cuenca, las incertidumbres e interrogantes no resueltas en el ámbito hidrológico y su efecto en la calidad de agua son aún más importantes. Puede decirse que los estudios hidrológicos del río Caplina se han realizado con el objetivo de conocer las reservas hídricas que son susceptibles de generar; y en numerosas ocasiones usando datos y utilizando técnicas cuestionables y más aun sin considerar el efecto del medio ambiente y las características geológicas sobre la calidad de agua en la cuenca hidrográfica.

### **1.3. HIPÓTESIS**

#### **1.3.1. HIPÓTESIS GENERAL**

La calidad del agua resultante en la cuenca es influenciada por las características ambientales y geológicas, por lo que en este trabajo se trata de demostrar mediante técnicas de análisis climático hidrológico, geológico y empleo de herramientas matemáticas e informáticas (Sistema de Información Geográfica) dicha influencia o interrelación.

La caracterización ambiental y geológica permitirá explicar la calidad de agua resultante en la cuenca hidrográfica del río Caplina, considerando como punto de control la Bocatoma Challata ubicado en las coordenadas 381169,00 m E – 8025504,00 m S a 1328 msnm.

#### **1.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- La cartografía geológica, geomorfológica de la cuenca hidrográfica del río Caplina, reflejando la disposición espacial de los elementos y unidades geológicas más significativas y contemplando sus relaciones genéticas, permitirán explicar los resultados de la calidad de agua en la cuenca Caplina.
- La caracterización hidrológica y climática de la cuenca del río Caplina y sus tributarios permitirán obtener elementos de juicio respecto a la calidad de agua resultante en la dicha cuenca.

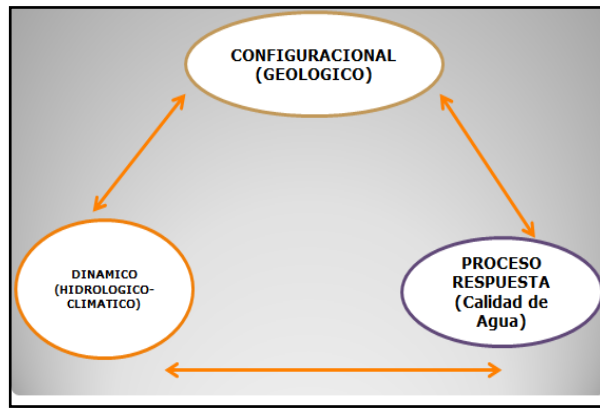
- El análisis de las interrelaciones entre la geología, clima e hidrología en el río Caplina, estableciendo vínculos de casualidad y cuantificando la magnitud de los efectos recíprocos, permitirá establecer sus efectos en la calidad de agua.

#### **1.4. FUNDAMENTO Y JUSTIFICACIÓN**

Esta aparente complejidad en los requisitos básicos que debe cumplir cualquier investigación de calidad de agua en el marco de la teoría de sistemas, lejos de frenar o paralizar los trabajos, ha contribuido a la proliferación de los mismos en las últimas décadas; hasta tal punto que podría hablarse de inflación en este campo.

Sin embargo, muchos de ellos adolecen de una especialización, abordando aspectos puntuales y no integrados, contraviniendo así los postulados básicos antes expuestos.

En tal sentido surge la necesidad de retomar en la investigación sobre las interrelaciones entre el ambiente, la geología y la calidad de agua, esa filosofía integrada en la que se estudia el sistema mediante un triple análisis: Geológico, dinámico (hidrológico-climático) y proceso-respuesta (interacciones externas, entre ellas la calidad del agua resultante). Es precisamente en esta línea en la que se enmarca este trabajo y se justifica la elección de su temática para poder interpretar la calidad de agua en la cuenca del río Caplina considerando como principal componente de análisis la geología y otros componentes antes mencionados, para caracterizar zonas que tienen influencia relevante sobre la calidad de agua.



*Figura 2: Componentes de análisis para interpretar la calidad de agua*

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.5.1. OBJETIVO GENERAL**

Efectuar la caracterización ambiental y geológica para explicar la calidad de agua resultante en la cuenca hidrográfica del río Caplina.

### **1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar la cartografía geológica geomorfológica de la cuenca hidrográfica del río Caplina, reflejando la disposición espacial de los elementos y unidades más significativas y contemplando sus relaciones con la calidad de agua.
- Caracterizar la hidrología y el clima de la cuenca del río Caplina y sus tributarios.
- Analizar las interrelaciones entre la geología, clima e hidrología en el río Caplina.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ASPECTOS GENERALES**

Barba reconoce la importancia de la geología del terreno por el que atraviesa el agua, ya que de las características del mismo va a depender en gran manera la composición química de sus aguas (Barba, 1996). Los factores constitutivos de un río son la pluviometría, que aporta el agua que lo llevará, y la cuenca vertiente, que recoge el agua de lluvia y la conduce a la parte más baja del valle, donde discurrirá sobre las litofacies que forman el estuche del río. Es durante este discurrir cuando el agua produce su ataque mecánico (erosión) y químico (hidratación, hidrólisis, óxido, reducción, etc.) provocando la disolución de las rocas. Como resultado del monitoreo de calidad de agua se obtuvo los niveles medios anuales para metales: Cr (<1 µg/l), Co (1-2 µg/l), Cu (2 µg/l), Ni (3 µg/l), Pb (7µg/l), Zn (17 µg/l), Fe (>100 µg/l). Se concluye que la presencia de metales pesados obedecen a diversos orígenes; Zinc y Cobre debidos a causas naturales (mineralizaciones en las partes altas de la cuenca) y el resto de elementos tanto a causas naturales como artificiales (vertidos de origen urbano, industrial y de la planta potabilizadora, tráfico, etc.) En términos generales, no existe homogeneidad en cuanto al comportamiento de los distintos elementos estudiados, destacándose una cierta constancia para cobre y zinc, y paralelismo entre hierro y manganeso, así como entre níquel y cobalto.

En otro estudio se señala que los procesos implicados en la formación y composición del suelo en una zona determinada influyen considerablemente en la composición

tanto de las aguas superficiales como subterráneas (Garranzo, 2009). Por tanto la composición del agua va a depender fundamentalmente del material por el que circule y con los que esté en contacto. Teniendo en cuenta los materiales sobre los que se sitúan las muestras analizadas, puede indicarse que su composición procede de la alteración de los siguientes minerales y materia orgánica como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{PO}_4^{2-}$ .

La composición química original del agua puede modificarse por:

- Aportes: de elementos procedentes de aguas de lluvia, aguas de escorrentía, aguas termales y aguas de lavado, así como aportes contaminantes.
- Perdidas: por adsorción e intercambio iónico en suelos y materiales arcillosos o por mezclas de agua.

Relación agua-suelo-roca, se han correlacionado las aguas del primer muestreo con suelo y roca de la zona de estudio, de acuerdo a los contenidos en: As, Ba, Ca, Ce, Co, K, La, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, V y Zn, se han obtenido correlaciones positivas y muy significativas entre suelo y roca, entre aguas y suelo. Las aguas más mineralizadas se correlacionan con suelo de mayor pH y conductividad y cuyos materiales son más fácilmente alterables. La escasa existencia de correlación entre agua y roca indica la falta de tiempo necesario de contacto agua-roca para que se produzca su alteración e incorporación de elementos resultantes.

Una manera de evaluar la relación calidad agua y alteración de roca consiste en calcular el aporte de la precipitación a partir de la concentración de un parámetro conservativo (inerte) en la lluvia y el agua subterránea (Appelo & Postma, 1993).

La calidad de agua está influenciada fuertemente por condiciones y eventos que ocurren en el área de la cuenca, tales como el tipo de suelo dominante, los usos de la tierra y las prácticas agrícolas entre otros (Chapman & Kimstach, 1996).

El mantenimiento de la calidad de agua y la preservación de sus usos, requiere del conocimiento de su variabilidad temporal y espacial para poder caracterizar la situación ambiental reinante y posible evolución (Meybeck et al, 1996). Las características de los sistemas acuáticos reflejan no solo el impacto de la polución a escala local y regional, sino también el cambio global del ambiente, además de ser uno de los imperativos del desarrollo sustentable.

Calidad del agua en relación con las propiedades del geosistema: Un estudio de caso de una zona de Jalca cerca de Cajamarca, Perú. En: Cuesta F, Sevink J, Llambí LD, De Bièvre B, Posner J, Editores. Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos, CONDESAN. Este estudio presenta una primera aproximación a la relación entre hidrología, calidad del agua, geología y suelos para un ecosistema de Jalca cerca de Cajamarca en el norte de Perú (Cammeraat et al, 2014). Debido a que las áreas de Jalca son propensas a la degradación de sus suelos húmicos, como resultado del uso del suelo y del cambio climático, se requiere mayor información sobre su hidrología y geología. Durante dos campañas de campo se evaluó la geología, geomorfología, suelos y vegetación del área. Además, se realizaron

mediciones de conductividad eléctrica hidrológica y se tomaron muestras a lo largo de varias quebradas (arroyos). Aunque en la región hay importantes proyectos mineros, no existe actividad minera en sus cuencas estudiadas. Los suelos mostraron una clara relación con su sustrato y en muchos casos tuvieron un alto contenido de materia orgánica, que se demuestra por el predominio de horizontes amólicos y úmbricos. La hidrología es impulsada por un excedente de agua de alrededor de 300 mm por año y el caudal de los ríos está íntimamente relacionado con la estacionalidad de las lluvias. Se ha encontrado que existe una clara relación entre el sustrato subyacente y la química del agua de los arroyos y pantanos. Se pueden distinguir dos tipos de agua: Uno originado por las rocas extrusivas dacíticas (ignimbritas), con niveles extremadamente bajos de sólidos disueltos totales, un predominio de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{HCO}_3^-$ , niveles de sodio relativamente altos y una baja relación de adsorción de sodio (RAS). El otro tipo de agua se origina en zonas de roca madre dominadas por calizas, mostrando niveles mucho más altos de sólidos disueltos totales. La contaminación química del agua, expresada en nitratos y amonio, estuvo relacionada especialmente con zonas pobladas. Los efectos de la contaminación en la calidad del agua fueron analizados por Van Veelen mediante el uso de una regresión espacial entre calidad del agua y presión de los poblados, proximidad de los poblados a los arroyos, (Van Veelen & De Vet, 2008).

Saluso establece los principales factores reguladores de la fenomenología climática en la Cuenca Alta del Juramento (Salta) y concluye que las barreras orográficas que se comportan como distribuidoras de las masas de aire, los cordones montañosos con disposición submeridiana, la Cordillera Oriental y las Sierras Subandinas, actúan

regulando el paso de los vientos húmedos, y la orientación de las laderas y quebradas, así determinan que los sitios ubicados a barlovento presenten mayor pluviosidad que los que se encuentran a sotavento (Saluso, 2005). Las precipitaciones de marcada estacional ocurre casi exclusivamente en verano, entre los meses de noviembre a marzo, bajo la influencia del centro ciclónico estival denominado “Baja térmica” (Bianchi, 1981) que atrae los vientos que provienen del este desde el anticiclón del Atlántico Sur. Los sedimentos fluviales derivan en una alta proporción de la erosión de materiales pertenecientes tanto a los relieves de fuerte pendientes existentes en la cuenca como también a las tierras inundadas. Se realizó la composición de los niveles de concentración de cada uno de los elementos en las diferentes subcuencas, no existieron diferencias de composición en siete elementos (arsénico, boro, bario, cobre, cromo, manganeso y estroncio). Según los resultados que obtuvo, presentaron los menores contenidos de plomo y zinc en sedimentos, en relación a las restantes subcuencas. La variabilidad geoquímica natural de Zn, Cu, Pb, Hg, Cd y Co suele ser baja; y la contaminación que ocasionan, menor comparada con la antrópica.

## **2.2. REVISIÓN DE INVESTIGACIONES REALIZADAS**

De estudios realizados por (PET, 2002). La temperatura en la cuenca Caplina varía entre 18,3°C en la Costa y 3,3°C en la puna; en la zona se presenta una serie de variaciones térmicas de acuerdo a los pisos altitudinales existentes. Las temperaturas máximas extremas promedio varían de 20°C a 24°C. Las temperaturas mínimas extremas promedio varían de 0,8°C a 14°C. La precipitación media anual varía desde 10 mm en la zona costera hasta 240 mm en la zona alta.

En la cuenca Caplina inventariaron 42 surgencias de manantiales que se ubican generalmente en la parte alta de la cuenca y son controladas estructuralmente por fallas, fisuras y contactos litológicos los cursos subterráneos se calientan a veces por el contacto con rocas ígneas, por la circulación profunda y/o cercanía a una cámara magmática y afloran como aguas termales (Peña Laureano et al, 2009). En dicha cuenca identificaron tres fuentes de aguas termales en los sectores de Calientes, Piscullane y Aruma presentando temperaturas superiores a 20°C. En la cuenca de río Caplina inventariaron 23 manantiales donde tomaron medidas de control, así como en las quebradas cercanas al afloramiento de agua. La suma total de los manantiales contribuyen directamente al cauce del mismo río.

Según ANA en el año 2011, se realizaron el monitoreo de calidad de agua en la cuenca Caplina, en la que encontraron valores de elementos que exceden los estándares de calidad de agua para categoría 3. Los ECA para aguas pertenecen a la categoría de cada cuerpo de agua superficial establecida de acuerdo a la R.H. N°202-2010-ANA: Clasificación de los Cuerpos de Aguas Naturales, y el artículo 3, inciso 3.3 del D.S 023-2009- MINAM: Asignación de Categoría para los Cuerpos de Agua. El monitoreo lo realizaron en las quebradas: Picullane, Aruma, Ancoma, Toquela y río Caplina.

En la quebrada Piscullane, estación (13156QPisc) ubicada aguas arriba de la intersección con la trocha carrozable de la zona de Paso de los Vientos, los valores de las concentraciones fueron: Calcio (241,32 mg/l), aluminio (47,20 mg/l), hierro (12,10

mg/l), boro (0,084mg/l) y manganeso (1,18 mg/l). Estos valores se encuentran por encima de los estándares de calidad ambiental para agua para categoría 3.

En la quebrada Aruma, estación (13156AArum) ubicada en su nacimiento, frente a la zona baja del nevado Chuquiapiña, los valores de las concentraciones fueron como se precisa: conductividad (6 520  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), fosfatos (3,2 mg/l), sodio (296,72 mg/l), aluminio (148,70 mg/l), arsénico (1,43 mg/l), cadmio (0,030 mg/l), hierro (64,77 mg/l), manganeso (7,26 mg/l), plomo (0,22 mg/l) y zinc (2,66 mg/l). Estos valores superan los establecidos en ECA para categoría 3 (riego de vegetales y bebida para animales). Además, el valor de boro (0,084 mg/l) supera el valor Estándar de Calidad Ambiental (ECA).

La quebrada Ancoma tiene sus nacientes en los riachuelos del Cerro Tijerani, en su descenso toma el nombre de quebrada Umalata (Ancoma) y discurre erosionando rocas intrusivas de naturaleza granodiorita hasta su confluencia con la quebrada Toquela. En la estación de monitoreo (13156RQAnco), los valores de las concentraciones fueron así: conductividad (3 100  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), calcio (475,41 mg/l), aluminio (157,25 mg/l), arsénico (0,22 mg/l), bario (1,2 mg/l) cobalto (0,12 mg/l), hierro (324,37 mg/l), manganeso (4,33 mg/l), mercurio (0,002 mg/l) y plomo (0,11 mg/l). Estos resultados superan los límites permisibles de Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para categoría 3. El pH resulta 2,7; y el boro, 0,25 mg/l, la cual se encuentra fuera del rango.

En la quebrada Toquela, estación 13156QToq1 y 13156QToq2, ubicado a 400 m aguas arriba del puente Toquela-Challaviento, los valores de concentraciones fueron

como sigue: arsénico (0,064 y 0,063 mg/l) y boro (1,46 y 1,40 mg/l), los cuales superan los límites permisibles de ECA para categoría 1-A2 (aguas que se pueden potabilizar con tratamiento convencional).

En el río Caplina analizaron cuatro estaciones de monitoreo de agua (13156RCap1 al 13156RCap4), ubicadas aproximadamente a 20 metros del puente Caplina, Sector Totoroco hasta 10 m aguas arriba de la bocatoma Challata; los valores de las concentraciones fueron: aluminio (14,50 mg/l a 60,85 mg/l), arsénico (0,18 a 0,31 mg/l), hierro (5,25 mg/l a 124,67 mg/l) y manganeso (0,73 mg/l a 0,90 mg/l), los mismos que superan los límites permisibles de ECA para categoría 3 (riego de vegetales y bebidas de animales); además, el pH (3,11 a 3,51) se encuentra fuera del rango de los valores de ECA.

Según ANA, hidrográficamente en la cuenca del río Caplina se ha delimitado tres cuencas tributarias: quebrada Cotañane, quebrada Piscullane y quebrada Palca. El área que encierra la cuenca desde sus nacientes hasta la entrega del río Caplina al océano es de 1095,57 km<sup>2</sup> con un perímetro 254,81 km. El análisis de la información hidrométrica realizada muestra que los ríos Caplina y Uchusuma bajo o Yungane, al igual que la mayoría de los ríos de la costa peruana, presentan características propias de torrente y existe gran diferencia entre las descargas extremas. El río Caplina presenta una descarga máxima controlada de 33,21 m<sup>3</sup>/s (Febrero) y una mínima de 0,115 m<sup>3</sup>/s (Marzo) cuya media anual promedio es de 0,935 m<sup>3</sup>/s, aproximadamente, equivalente a una masa total anual de 29,19 Hm<sup>3</sup>. El río Uchusuma bajo tiene una descarga máxima controlada de 11,06 m<sup>3</sup>/s (marzo) y una mínima de 0,00 m<sup>3</sup>/s

(setiembre), cuya media anual promedio es de 0,586 m<sup>3</sup>/s, que equivale a una masa total anual de 18,45 Hm<sup>3</sup> (ANA, 2012).

- QUEBRADA PISCULLANE

La quebrada Piscullane se localiza al noreste del río Caplina entre los nevados El Fraile, Huancune y de la Mina a 5500 msnm, y entrega sus aguas al mencionado afluente a 3900 msnm. El recurso hídrico de esta unidad hidrográfica, donde nace el río Caplina, es producto de la precipitación y deshielo de los nevados de Achacollo, Huancune, Fraile y Chupiquiña; mientras que el drenaje natural se produce a través de sus quebradas entre las principales Culiculine, de la Mina, Luyo (Paralocos, Calani Chupiquiña), Aruma y Tirata. Las aguas asumen la clasificación de categoría 3, “riego de vegetales y bebida para animales”. La estación 13156Pisc, se encuentra ubicada aguas arriba de la intersección con la trocha carrozable de la zona de paso de vientos, camino hacia el poblado Talabaya en las coordenadas UTM WGS-84 411649E y 8052761N a una altura de 4558 msnm. En este punto los valores de Oxígeno disuelto y Conductividad cumplen con los ECA para aguas de categoría 3, “riego y bebida para animales”, encontrándose parámetros que exceden de acuerdo al siguiente detalle:

*Tabla 1: Resultados Analíticos en QPisc realizado por ANA – Diciembre del 2012*

<b>PUNTO DE MONITOREO: 13156Qpisc</b>			<b>07/12/12 -9:00</b>
<b>PARÁMETRO</b>	<b>Unidad</b>	<b>ECA-cat.3</b>	<b>Resultado</b>
Ph	Unidades de pH	6,5-8,4	3,71
Oxígeno disuelto (O2)	mg/l	>=4	7,08
Conductividad eléctrica	µs/cm	2 000	1 236

*FUENTE: Autoridad Nacional del Agua*

- QUEBRADA TOQUELA

Tiene sus nacientes en el cerro Chillahuani y desciende erosionando rocas del volcánico Huilacollo con el nombre de Toquela, continúa el curso cruzando la falla Challaviento, finalmente erosiona las rocas del volcánico Junerata hasta confluir con la quebrada de Cotañane. Las aguas en la quebrada Toquela tienen la clasificación de categoría 1, “poblacional y recreacional”; sub categoría A2, “aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional”.

La estación 13156Qtop1 se encuentra ubicada a 400 m aguas arriba del puente Toquela-Challaviento en coordenadas de campo 399816E y 8048609N a una altura de 3325 msnm. Los valores de pH, Oxígeno disuelto y Conductividad eléctrica cumplen con los ECA para agua categoría 1-A2, encontrándose parámetros que exceden de acuerdo al siguiente detalle.

*Tabla 2: Resultados de la Quebrada Toquela- Diciembre del 2012*

<b>PUNTO DE MONITOREO 13156Qtoq1</b>		<b>07/12/12 10:00</b>	
<b>PARÁMETRO</b>	<b>Unidad</b>	<b>ECA-cat-1,A2</b>	<b>Resultado</b>
Arsénico total (As tot)	mg/l	0,01	0,042
Boro total (Bo tot)	mg/l	0,5	1,21

*FUENTE: Autoridad Nacional del Agua*

La evaluación de los resultados analíticos de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del punto de monitoreo excede los ECA para categoría 1 “poblacional y recreacional”; sub categoría A2, “aguas que pueden ser potabilizadas con trabajos de tratamiento convencional”. El arsénico total con una concentración 0,042 mg/l, que

excede 3,2 veces el valor de 0,01 mg/l establecido para la categoría 1-A2. El boro total con una concentración de 1,21 mg/l que excede 1,42 veces el valor de 0,5mg/l establecido para la categoría 1-A2.

- QUEBRADA ANCOMA

Tiene sus nacientes en los riachuelos del cerro Tijerani; en su descenso toma el nombre de Umalata (Ancoma) y discurre erosionando rocas intrusivas de granodiorita hasta su confluencia con la quebrada de Toquela. Aguas más abajo se localizan el manantial de Siñaque, que nace de dos ojos de agua del cerro de Siñaque, con un caudal de 68 l/s, siendo parte de este recurso derivado a la agricultura, ganadería y consumo de la comunidad Ancoma. Las aguas asumen la clasificación de categoría 3, “riego de vegetales y consumo para animales”.

13156Anco1. Ubicado aguas arriba del puente de Ancoma, naciente de la quebrada Cotañane, afluente al río Caplina, en las coordenadas UTM WGS84: 398501E y 8051661N a una altura de 3440 msnm. En este punto presenta un valor de Oxígeno disuelto que cumple con el ECA, agua para categoría 3, “riego para vegetales y bebidas de animales”.

*Tabla 3: Resultados analíticos en la Estación Qanco1*

PUNTO DE MONITOREO		13156Anco1	07/12/2012
PARÁMETRO	Unidad	ECA-cat.3	Resultado
pH	Unidades de pH	6,5-8,4	3,17
Conductividad eléctrica	µs/cm	2 000	2 99
Calcio total	mg/l	200	369,61

Aluminio total	mg/l	5	135,55
Arsénico total	mg/l	0,05	0,087
Cobalto total	mg/l	0,05	0,14
Hierro total	mg/l	1	222,7
Managaneso total	mg/l	0,2	3,99
Niquel total	mg/l	0,2	0,206

FUENTE: Autoridad Nacional del Agua – PET

Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del punto de monitoreo, que están en el rango establecido y excede el ECA, agua para categoría 3, “riego para vegetales y bebida para animales”. Los elevados contenidos de estos elementos en el agua se deben a su grado de solubilidad y a la fuerte presencia de minerales de origen volcánico (cordillera del Barroso) fuente de los contaminantes naturales. Por ejemplo, los elevados contenidos de aluminio en estas aguas superficiales se deben a la fuerte acidez del medio con pH inferiores a tres capas de disolver los minerales de dicho componente en depósitos volcánicos y a la existencia difusa de aguas termales en puntos altos de la cuenca.

- RÍO CAPLINA

El río Caplina nace de la confluencia de la quebrada Piscullane y otras pequeñas quebradas que tienen sus nacientes en los nevados de Achacollo, Chupiquiña, El Fraile, Huancune y los nevados pertenecientes a la Cordillera de Barroso. En su recorrido el río Caplina recibe el aporte de varias quebradas, siendo las más importantes las quebradas Cotañane y Palca. Las aguas asumen la clasificación de categoría 3, “riego de vegetales y bebida de animales”. 13156Cap1. Se encuentra ubicado aproximadamente a 20 metros aguas arriba del puente Caplina, sector

Tocoroco, en coordenadas UTM WGS-84: 401912E y 8043657Na, con una altura de 3448 msnm. En este punto los valores de Oxígeno disuelto y Conductividad cumplen con los ECA para agua de categoría 3, “riego de vegetales y bebida para animales”.

*Tabla 4: Resultados analíticos en la Estación Qcap1 realizado por ANA*

<b>PUNTO DE MONITOREO 13156RCap1</b>			<b>10/12/2012</b>
<b>PARÁMETRO</b>	<b>Unidad</b>	<b>ECA-cat 3</b>	<b>Resultado</b>
pH	Unidades de pH	6,5-8,4	3,5
Aluminio total	mg/l	5	14,07
Arsénico total	mg/l	0,05	0,19
Hierro total	mg/l	1	7,035
Manganeso total	mg/l	0,2	1,03

*FUENTE: Autoridad Nacional del Agua*

13156RCap3. Se encuentra ubicado aproximadamente a 10 m aguas arriba de la bocatoma Challata, en coordenadas UTM WGS-84: 383531E y 8029950N, a una altura de 1521 msnm. En este punto los valores de oxígeno disuelto y conductividad cumplen con los ECA para agua de categoría 3, “riego de vegetales y bebida de animales”.

*Tabla 5: Resultados analíticos en la Estación Qcap3 realizado por ANA*

<b>PUNTO DE MONITOREO 13156RCap3</b>			<b>10/12/2012</b>
<b>PARÁMETRO</b>	<b>Unidad</b>	<b>ECA-cat 3</b>	<b>Resultado</b>
pH	Unidades de pH	6,5-8.4	3,71
Aluminio total	mg/l	5	21,43
Arsénico total	mg/l	0,05	0,16
Hierro total	mg/l	1	16,12
Manganeso total	mg/l	0,2	1,119

*FUENTE: Autoridad Nacional del Agua*

A lo largo del río Caplina, los elevados contenidos de estos elementos en el agua se deben a su grado de solubilidad y a la fuerte presencia de minerales de origen volcánico, que ayudados por el bajo pH, favorece la disolución de los metales.

Según los trabajos realizados por ANA en el año 2013, las principales causas del deterioro de la calidad de las aguas con contaminación de origen natural se deben a la intersección de dos factores:

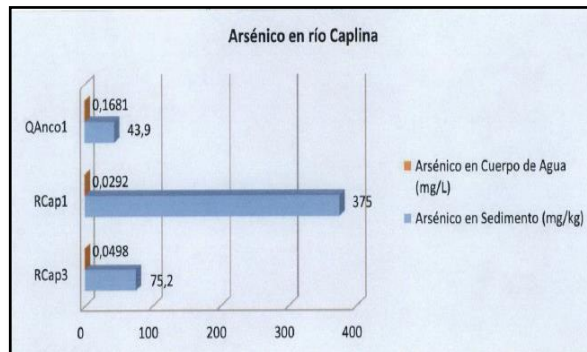
- La geología regional relacionada con las litologías aflorantes, donde abundan los minerales de origen volcánico ricos en arsénico, boro, hierro, aluminio y manganeso; y las condiciones de temperatura del agua (en muchos casos de origen termal) y de solubilidad que favorecen la disolución de estos componentes metálicos en las aguas superficiales.
- La formación geológica que conforma los nevados Barroso, Achacollo, Huancune y el Fraile, ubicados en la cuenca alta, hace que escurran al río Caplina sedimentos con altos contenidos de azufre, cobre y otros metales, que constituyen una fuente de contaminación natural y difusa de dicho afluente. El drenaje ácido de las rocas, provocado por la alta presencia de metales sulfurados, disminuye el pH y favorece la disolución de estos en el agua.

Del Informe Técnico N°003-2013-ANA-PMGRH-CUENCA CAPLINA TACNA/CHL de monitoreo de calidad del agua en las cuencas del Uchusuma, Caplina, Maure e intercuenca 13155, se tienen las siguientes conclusiones:

El pH de la cuenca alta es fuertemente ácido, la explicación de este fenómeno, anómalo en aguas superficiales, se debe al drenaje ácido de roca.

Si la capacidad de neutralización de la roca es demasiado baja para el ácido generado, pueden liberarse lixiviados con pH bajo y altos contenidos de metales.

Según los resultados de ANA (2014) en la cuenca Caplina, 13156QAnco1 (quebrada Ancoma, aguas arriba del puente Ancoma, nacimiento de quebrada Cotañane afluente del río Caplina), 13156RCap1, aproximadamente 20 m aguas arriba del puente Caplina sector Totoroco) y punto RCap3 (río Caplina, 10 m aguas arriba de la bocatoma Challata); donde en el cuerpo de agua superficial en QAnco1 se encontró un pH de 3,02, conductividad 2 940  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , arsénico 0,029 mg/l. En sedimento se cuantificó un valor de 43,9 mg/kg de arsénico total, excediendo el valor guía PEL (17 mg/kg) y valor guía ISQG (5,9 mg/kg). En cuerpo de agua superficial en RCap1 se encontró un pH de 3,08, Conductividad 1 341  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , arsénico 0,17 mg/l. En sedimento se cuantificó un valor de 375 mg/kg de arsénico total, excediendo el valor guía PEL (17 mg/kg) y valor guía ISQG (5,9 mg/kg). En el cuerpo de agua superficial de QRcap3 se encontró un pH de 3,39, Conductividad 1 417  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , arsénico 0,049 mg/l. En sedimento se cuantificó un valor de 75,2 mg/kg de arsénico total, excediendo el valor guía PEL (17 mg/kg) y valor guía ISQG (5,9 mg/kg).



*Figura 3: Comparación de niveles de arsénico en cuerpo de agua superficial y en sedimentos en río Caplina: punto QAnco1, RCap1 y RCap3*

En la cuenca Caplina destaca la concentración del arsénico total en sedimentos en el punto RCap1, debido a que este tramo del cauce recibe directamente depósitos sedimentables contenido en los afloramientos geotermales, que además favorecido por la corteza geológica y por el transcurrir del tiempo se han ido acumulando a estos niveles considerables. En el RCap3, en la cuenca baja de la cuenca Caplina, debido a los trabajos de encauzamiento, limpieza y remoción de sedimentos, los mismos que se han ido lavando y reduciendo la concentración.

Se realizaron el muestreo de agua y sedimentos en la quebrada Ancoma, aguas arriba del puente Ancoma, naciente de quebrada Cotañane, afluente del río Caplina que está aproximadamente 20 m aguas arriba del puente Caplina, Sector Totocoro y a 10 m aguas arriba de la bocatoma Challata; donde en el cuerpo de agua superficial presenta sulfatos, aluminio, arsénico, cobalto, hierro y manganeso que exceden los valores de ECA agua categoría 3. En sedimentos encontraron que el arsénico y cadmio exceden el valor guía PEL y valor guía ISQG. En el puente Caplina se detectó que el plomo excedió solamente el valor guía ISQG de la forma canadiense, cuyos orígenes se

debe principalmente a los suelos mineralizados de composición ferromagnesiano, además de los ácidos orgánicos presentes en afloramientos geotermales provenientes del volcán Barroso (ANA, 2014). Los resultados obtenidos en el monitoreo de calidad de agua en la cuenca Caplina se aprecian en la tabla 6.

*Tabla 6: Resultados de Calidad de agua en el río Caplina y sus tributarios - Abril 2014*

PARÁMETRO	UNIDAD	ECA Cat 3	RCap1	QAnco1	RCap3	ECA cat 2	QToq1
pH		6,5-8,4	3,13	2,94	3,84	5,5-9	8,22
Sulfatos	mg/l	300	466,7	2662,7	497,5		3,983
Calcio (tot)	mg/l	200	58,33	244,5	122,9		866,198
Magnesio (tot)	mg/l	150	15,37	337,446	20,247		188,368
sodio (tot)	mg/l	200	58,90	22,66	57,014		39,23
Aluminio (tot)	mg/l	5	12,033	79,338	145,158	0,2	0,0883
Arsenio (tot)	mg/l	0,05	0,122	0,0102	0,0549	0,01	0,027
Bario (tot)	mg/l	0,7	0,0127	0,0131	0,0222	0,7	0,0157
Boro (tot)	mg/l	5	12,599	0,0763	10,828	0,5	0,6538
Hierro	mg/l	1	4,953	84,73	95,495	1	0,24405
Manganeso (tot)	mg/l	0,2	0,6277	2,21	0,6372	0,4	0,0269
Plomo	mg/l	0,05	0,016	0,00041	0,0069	0,05	0,00019

*FUENTE: Autoridad Nacional del Agua*

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) viene trabajando una estrategia para el mejoramiento de la calidad de recurso hídrico con apoyo del Banco Mundial; la misma que ha sido elaborada de manera consensuada por los principales actores nacionales, regionales y locales. Con el fin de tener un documento de partida para establecer la estrategia, se inició con el diagnóstico de la calidad del agua a nivel nacional. El 50% de un total de 64 cuerpos de agua monitoreados entre el 2000 y 2012 están afectados principalmente por vertimientos de aguas residuales domésticas sin tratamiento, por

presencia de metales tóxicos que en muchos casos está asociada a las características geológicas de algunas cuencas hidrográficas del país, a los pasivos ambientales de origen minero y de actividades de minería informal.

La entidad remarcó que la degradación de la calidad de los recursos hídricos está relacionada, con la contaminación microbiológica y presencia de materia orgánica debido a los vertimientos de aguas residuales domésticas y municipales, provenientes de ciudades, centros poblados y zonas rurales.

Entre los años 2000 y 2005, ANA identificó las principales unidades hidrográficas que sufrieron una degradación de la calidad del agua. Entre el 2006 y 2010 se registraron casos en donde se mantuvo el nivel de contaminación; pero entre el 2011 y 2012 se evidenció una mejora de la calidad del agua en algunas cuencas, aunque en otras continúa igual.

Según el estado de la calidad de agua de los recursos hídricos en la cuenca hidrográfica a nivel nacional (ANA, 2016), el Perú posee una vasta riqueza natural mineralógica por las condicionantes geológicas que inciden en la calidad de los recursos hídricos. Sumando las acciones transformadas que ejerce el hombre sobre el ambiente, pueden ocasionar impactos positivos o negativos que alteran la calidad de los cuerpos naturales de agua continentales y marino costero debido a las actividades productivas y poblacionales. Una primera aproximación de la situación de los recursos hídricos, recopilando la información de la calidad de los mismos durante 2000-2012, permitió establecer una base con un total de 64 030 datos procedentes de 331 monitoreos en 59 unidades hidrográficas. Para la evaluación de la calidad del agua

consideraron los parámetros físicos y químicos (pH, conductividad eléctrica y demanda bioquímica de oxígeno), microbiológico (coliformes termotolerantes), metaloides (Arsénico As) y metales (Mercurio Hg, Cadmio Cd, Plomo Pb, Hierro Fe y cobre Cu) debido a su uso como indicadores ambientales como impacto a los cuerpos naturales de agua. Además, se consideró los usos de agua de acuerdo con la clasificación de los recursos hídricos establecidos en el marco del Decreto Ley N°1152-2005-DIGESA/SA, así como también en la Ley N°29338, ley de Recursos Hídricos actualmente vigente.

Los resultados de la calidad de los recursos hídricos del periodo 2000 hasta 2012 determinaron que los parámetros coliformes termotolerantes, arsénico, plomo y cadmio asociados a las descargas de agua residuales poblacionales, pasivos ambientales mineros, minería informal y características hidrogeológicas que muestran niveles de afectación a los recursos hídricos para fines de riego (en tres vertientes) y para uso poblacional (Vertiente del Pacífico y Amazonas).

Según los resultados de monitoreo que realizaron hasta el año 2014, la Autoridad Nacional de Agua ha identificado 41 cuencas hidrográficas cuyos parámetros exceden los ECA para Agua; se evidencia que la principal causa de afectación de los cuerpos de agua del país es el vertimiento de aguas residuales domésticas y municipales que modifican o alteran la calidad de agua con bacterias fecales, materia orgánica, amoníaco, nitritos y otros parámetros que no permite su utilización para usos agrícola, producción de agua potable y conservación del ambiente acuático entre otros.

También determinaron los factores que influyen en la calidad de agua de recurso hídrico, tales como factor antrópico que comprende a las actividades poblacionales y productivas que usan el recurso hídrico desde su fuente natural, las cuales generan vertido de aguas residuales no tratadas. El deterioro de la calidad de agua es influenciado por el vertimiento de aguas residuales no tratadas, manejo inadecuado de los residuos sólidos, manejo inadecuado de agroquímicos en la agricultura, minería informal y pasiva ambiental. De igual forma menciona el factor natural que se refiere a aquello relativo a la naturaleza o producido por ella sin la intervención del hombre, en donde la alteración de la calidad de agua es influenciada por la geología que la alberga dicha cuenca hidrográfica, condicionantes climáticas, hidrología y fenómenos naturales.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y FUENTE DE DATOS**

Existen estudios respecto a la calidad de agua en la cuenca Caplina, realizados por Proyecto Especial Tacna (PET), Autoridad Nacional del Agua (ANA), Autoridad Local de Agua (ALA), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI); y entre otros tales como el Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET), Carta Nacional de los cuadrángulos de Pachia y Palca hoja (36x y 36v).

#### **3.2. TRABAJO DE CAMPO**

Consistió en la evaluación de la geomorfología y la geología en la parte alta de la cuenca del río Caplina, verificando la información recopilada. Se realizó mapeo geológico a escala 125 000, en donde se identificó las fuentes que tienen mayor influencia sobre la calidad de agua.

#### **3.3. ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO E HIDROLÓGICO**

Tacna se ubica en la cabecera del desierto de Atacama, por lo que la cuenca Caplina presenta un clima desértico; es por esta razón que las precipitaciones anuales son escasas, hasta nulas. Las mayores intensidades medias en las estaciones de Palca y Toquela alcanzaron hasta 129.mm, según las Isoyetas generadas con la información hidrológica (precipitación anual). La precipitación anual media en la zona de bocatoma de Challata 70 mm, 150 mm en la zona de Ataspaca, 160 mm por la zona de Ancoma y en la unidad geomorfológica Cordillera Occidental, presenta mayores valores de

precipitación 220 mm hasta 350 mm en la cabecera de la cuenca Caplina. Lo que indica que la precipitación que genera escorrentía se da en esta unidad geomorfológica Cordillera. Dado que en esta unidad geomorfológica se encuentra el Grupo Barroso que presenta minerales de origen volcánico, ricos en arsénico, boro, hierro, aluminio y manganeso, relacionando la condicionante climática que es muy variable, alcanzando mínimas temperaturas de  $-15^{\circ}\text{C}$  en invierno; la radiación solar de día hace que la roca se altere y sean más susceptibles a la meteorización y erosión fluvial. Es por esta razón que las aguas que precipitan se combinan con los sedimentos producto de la erosión con alto contenido de azufre, cobre y otros metales que constituyen una fuente natural de contaminación del río Caplina. Además de presentar metales sulfurados, disminuye el pH del agua, y hace que el elemento líquido tenga mayor poder de disolución.

Según INRENA, las variables climáticas son: la temperatura, humedad relativa, horas de sol, velocidad del viento y la evaporación. La temperatura de la cuenca obedece a un gradiente inverso, es decir que a mayor altitud menor es la temperatura y a menor altitud mayor es la temperatura. La información de temperatura ostenta poca variabilidad interanual. La temperatura media anual que se da en la zona de estudio disminuye en relación con la altitud, siendo de  $12^{\circ}$  a una cota de 3 000 msnm, presentando máximas temperaturas de  $22^{\circ}\text{C}$  en verano y mínimas desde  $4^{\circ}\text{C}$  en invierno; mientras que para altitudes mayores a 4 000 msnm la temperatura media alcanza los  $3^{\circ}\text{C}$  y con unas máximas de  $20^{\circ}\text{C}$  en verano y las mínimas  $-15^{\circ}\text{C}$  en invierno (INRENA, 2002).

### **3.4. GEOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA**

#### **3.4.1. ASPECTOS GENERALES**

La información geológica de la zona de estudio fue realizada por diferentes autores, las cuales sirvieron como base para este trabajo, siendo una de las referencias el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y Proyecto Especial Tacna (PET); posteriormente, esta información geológica fue verificada en la etapa de campo. A continuación se describen las formaciones geológicas que se encuentran dentro del área de estudio.

#### **3.4.2. ESTRATIGRAFÍA**

##### **PALEOZOICO**

###### **Triásico**

###### **Formación Machani (Trs-ma)**

Litológicamente, en la formación Machani se describe que la base está conformada por conglomerados subredondeados a redondeados de rocas retrabajadas de gneises, seguidos de una secuencia continua en la que se intercalan limolitas negras fisibles, con areniscas cuarzosas gris oscura de grano fino a medio en capas delgadas a medianas y de forma tabular (Monge & Cervantes, 2000). En la parte media de la secuencia se intercalan predominantemente areniscas pardas oscuras a gris claras de grano fino a medio con capas medianas de lutitas negras. La secuencia superior está constituida por una intercalación de areniscas pardas amarillentas en capas medianas con limolitas oscuras muy marginales y algunos niveles de areniscas calcáreas en

capas medianas, calizas y conglomerados. El espesor de la unidad se estima en 1200 m. Esta formación geológica aflora en la zona donde confluyen las aguas de las quebradas Cotañane y Caplina.

## **MESOZOICO**

### **Jurásico Inferior**

#### **Volcánico Junerata (TrJi-ju)**

La formación Junerata se ubica en la unidad geomorfológica Flanco Disectado, parte central de la cuenca del río Caplina; se presenta como base de toda la pila sedimentaria. La formación Junerata sobreyace a la formación Machani e infrayace en contacto erosivo a la formación Pelado, las cuales se pueden observar en el cerro Ancocalani y Yerbabuenani (Wilson & Garcia, 1962). Litológicamente está compuesta de una serie de coladas basálticas que en algunos niveles se encuentran interestratificadas con bancos de sedimentos. No se tiene una columna estratigráfica completa de la formación Junerata, por lo que en diferentes puntos levantaron columnas estratigráficas solo de la parte superior, encontrándose variaciones laterales muy interesantes. En la columna estratigráfica levantada en el cerro Ticana, al este de Palquilla, se observa un gran espesor de rocas volcánicas conformadas por coladas de andesitas basálticas, afáníticas de color gris oscura, seguido por una importante discontinuidad marcada por la presencia de conglomerados conformado por fragmentos subredondeados de rocas volcánicas. Este límite marca el final de la depositación del volcánico Junerata, para dar paso a una sedimentación de ambiente continental y marino correspondientemente a la formación Pelado. Este volcánico

aflora en las quebradas Cotañane, Chari y Caplina; y está cruzada transversalmente por la falla regional Challaviento.

Se describen coladas de hasta 50 metros de espesor, de basaltos con cristales de plagioclasa envueltos en una matriz afanítica. Las coladas exponen una coloración gris violácea a verdosa debido a que las rocas registran un alto grado de alteración que ha provocado la transformación de la plagioclasa en epidota y el relleno de sus vacuolas por calcita y calcedonia. En la sección del cerro Huanuane, el volcánico Junerata alcanza un espesor de 170 metros, mientras que en la sección de los cerros Vilacollo y Junerata, se calculó un espesor aproximado de más de 300 m (Pino et al, 2002).

### **Formación Pelado (Ji-pe)**

Wilson y García (1962) establecieron una sección tipo en el cerro Pelado ubicado al este de poblado de Palca; esta formación se encuentra emplazada en la unidad geomorfológica de Flanco Disectado de los Andes y se observa además en Palquilla y en el sector de Tres Cruces al norte de San Francisco. Se encuentra sobreyaciendo a las rocas volcánicas de la formación Junerata, la que está constituida por caliza gris clara, silicificada, lutitas calcáreas, caliza arenosa y conglomerados de guijarros volcánicos de color marrón oscuro. Esta formación se puede observar en los cerros Sino, Actus y parte del Noreste del Cerro Yerbabuenani, en evidente contacto erosivo, y es cortada por el río Caplina en un tramo menor (figura 4).



*Figura 4: Formación Pelado en el cerro Pelado ubicado al este del río Caplina. Esta formación es cruzada por la falla regional Inca Puquio*

### **Jurásico Medio – Inferior**

#### **Formación San Francisco (Jm-sf)**

Esta formación fue estudiada por Wilson y García (1962), quienes describieron algunos centenares de metros de arenisca, lutitas y calizas. La formación San Francisco se encuentra en la unidad geomorfológica Flanco Disectado de los Andes y suprayace a la formación Pelado con un contacto erosivo, e infrayace a la formación Ataspaca. Al este del cerro Quetune se observa un contacto erosivo con la formación Ataspaca que limita hacia la parte superior con calizas areniscas calcáreas con abundantes clastos de rocas calcáreas, característica que vendrían a ser importantes para el reconocimiento de las capas pertenecientes a la base de la formación San Francisco. Las aguas que circulan sobre esta formación geológica corresponden a la

quebrada Ataspaca y río Caplina y es cruzada transversalmente por la falla Incapuquio.

### **Jurásico Medio – Superior**

#### **Formación Ataspaca (Js-at)**

Esta formación también fue estudiada por Wilson y García (1962) en la quebrada Chachacumane, donde describieron areniscas pardas, lutitas oscuras y calizas grisáceas, interestratificadas en capas delgadas. La formación Ataspaca suprayace a la formación San Francisco e infrayace a la formación Chachacumane. Ambos contactos son concordantes y transicionales. Esta formación geológica se encuentra ubicada en la unidad geomorfológica Flanco Disectado de los Andes y aflora en la zona de la bocatoma de Challata y es atravesada por la quebrada Lluta y el río Caplina. Parte de esta formación también aflora al noreste de pueblo de Ataspaca encontrándose entre las unidades geomorfológicas Flanco Disectado de los Andes hasta la zona donde empieza la unidad geomorfológica Puna y se encuentra en la cuenca húmeda. Según las isoyetas generadas por Proyecto Especial Tacna (PET) en mayo de 2013, se tienen una precipitación de 160 mm.

### **Jurásico Superior – Cretácico Inferior**

#### **Formación Chachacumane (JKi-cha)**

Esta formación geológica se encuentra en la unidad geomorfológica Flanco Disectado de los Andes y parte de la unidad geomorfológica la Puna, en la quebrada Ataspaca ubicada al norte de Palca. Esta formación se logra observar también hacia el noroeste de la bocatoma de Challata.

La formación Chachacumane sobreyace transicionalmente a la formación Ataspaca e infrayace con una marca litológica a la formación Toquepala.

Litológicamente está constituida por cuarcitas blancas, de grano grueso y capas medianas intercaladas con lutitas de color oscuro.

## **MESOZOICO- CENOZOICO**

### **Cretáceo Superior - Eoceno Inferior**

### **Jurásico Superior – Cretácico Inferior**

### **Formación Toquepala (KPP-to)**

Esta formación geológica se encuentra en la unidad geomorfológica denominada Flanco Disectado de los Andes, parte del río principal de la cuenca Caplina, donde discurre a través de esta formación geológica en un 30%, y aflora en las quebradas Pulaca, Chañal y Escalera. En el cerro Elintana y Pallagua también se puede observar hacia el oeste del centro poblado Ancoma y la naciente de la quebrada Chari. La relación con la formación Chachacumane, que le subyace, es discordante.

Litológicamente se caracteriza por presentar hacia la base secuencias de lavas andesíticas (Monge y Cervantes, 2000). Se trata de rocas porfíricas, poco estratificadas, de color gris con intercalación de tobas. Luego se tiene secuencia de tobas lapilli, gris clara a rojizas, estratificadas con forma redondeadas en afloramientos, y está compuesta de fragmentos líticos polimícticos (volcánicos), pómez en una matriz tobácea alterada; algunos sectores presentan textura eutaxítica. Además se tienen volcánicos intercalados con conglomerados y areniscas

fedelspáticas compuestas de material volcánico. La formación Toquepala se depositó como relleno de antiguas quebradas.

## **CENOZOICO**

### **Oligoceno**

#### **Formación Huilacollo (Pe-hui)**

Denominado así por Wilson y García (1962), su afloramiento típico se encuentra ubicado en la unidad geomorfológica Puna y se localiza en el cerro Huilacollo y en los cerros adyacentes como Cabacollo, Andamarca, Llaullacane, Quilla, Pantatire. Las aguas de las quebradas Achacahua, Tirata, Aruma, Chillauani y Piscullane discurren sobre esta formación geológica, la cual aporta arsénico, boro, aluminio, etc. al río Caplina provenientes de la quebrada Aruma, ya que allí se encuentra una fuente geotermal; parte de esta formación geológica presenta una alteración hidrotermal tal como se observa en la figura 5.



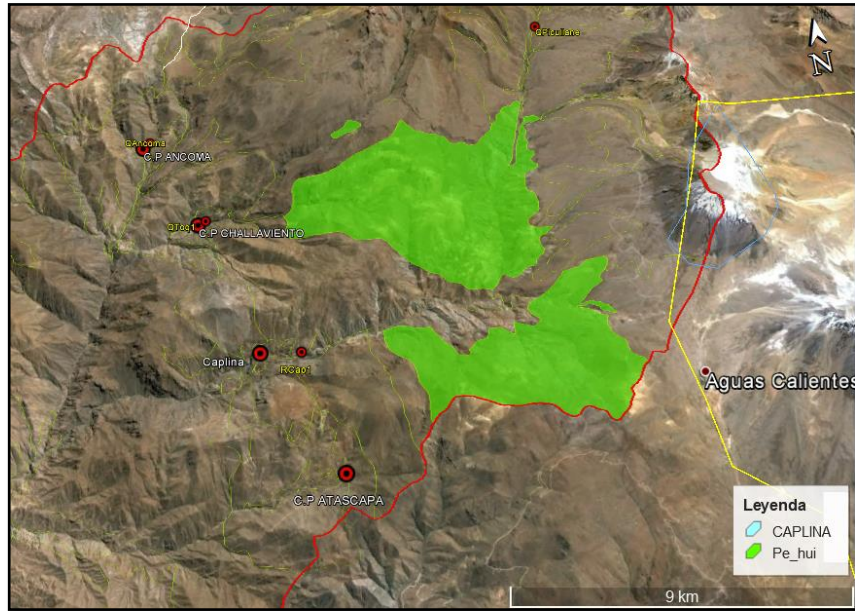
*Figura 5: Alteraciones hidrotermales en el volcánico Huilacollo*

Además se encuentra constituidos por brechas andesíticas, tobas dacíticas y riódacíticas con buena estratificación, algunos niveles se les puede considerar como areniscas tobáceas, los que infrayacen ligeramente y disconforme a la formación Huaylillas; y hacia el norte con los depósitos fluvio-glaciares y en discordancia angular a los volcánicos del complejo fisural Barroso.

El espesor de la unidad varía desde 200 m hasta 1000 m, además esta formación se observa hacia el Oeste de la quebrada Piscullane y sobre ella discurren las aguas de la quebrada Cocavira que aporta sedimentos a las aguas de la quebrada Toquela. En el cerro Andamarca, ubicado al noreste del poblado de Ataspaca, existe un yacimiento de oro diseminado que fue comprobado por los estudios realizados en los años 2006 y 2007; además, en el cerro Huilacollo existe yacimiento de pórfido de cobre; por lo tanto, en los alrededores las rocas andesíticas de este volcánico Huilacollo se encuentran alterados (figuras 6 y 7).



*Figura 6: Fragmento de rocas con óxido de hierro en las laderas de los cerros Andamarca y Huilacollo*



*Figura 7: Vista panorámica Google Earth. La zona de color verde representa al volcánico Huilacollo.*

El Volcánico Huilacollo es intruido por la superunidad intrusiva Challaviento, puesto que se nota claramente las alteraciones hidrotermales (figura 8).



*Figura 8: Alteraciones hidrotermales en el cerro Huilacollo*

### **Formación Moquegua Superior (Po-mos)**

Esta formación geológica se encuentra ubicada en la unidad geomorfológica Flanco Disectado de los Andes, donde no se cuenta con precipitación, salvo lluvias esporádicas (Fenómeno del Niño) y aflora en las laderas de los valles, sobreyaciendo en discordancia erosional a estratos Jurásicos-Cretácicos, e infrayaciendo a los volcánicos de la formación Huaylillas. La formación Moquegua superior está conformada principalmente por materiales detríticos, principalmente conglomerados que disminuyen en tamaño de grano hacia el suroeste. En las zonas proximales se compone de una sucesión de conglomerados polimícticos con pequeños lentes de areniscas; mientras en las zonas distales predominan las intercalaciones de areniscas y lentes de limolitas, con algunos canales conglomerádicos. En las zonas proximales es notoria la granocrecencia de la sucesión, presentando espesores que no sobrepasan los 250 metros.

### **Neógeno**

#### **Mioceno**

### **Formación Huaylillas (Nm-hu)**

Esta formación se encuentra ubicada en la unidad geomorfológica Flanco Disectado se observa suprayaciendo a la formación Moquegua superior y en discordancia con estratos Mesozoicos, en la región noreste, en el cerro Gangolar al noroeste de la Quebrada Caplina. En esta unidad se distinguen dos miembros, las que han sido levantadas en el cerro Chuschuco. El miembro inferior está compuesto por tobas rosáceas con abundantes fragmentos de líticos y fragmentos de pómez, los cuales

están intercaladas con niveles de conglomerados con clastos de rocas sedimentarias subredondeadas, con matriz de areniscas cuarzo-feldespáticas de color verde, presenta canales de areniscas. La parte inferior de la formación Huaylillas está restringida a la zona del cerro Chuschuco y Precipicio.

El miembro superior comprende una sucesión de tobas riolíticas y riodacíticas, de color rosáceo, con fragmentos de pómez y líticos, intercalados con delgados niveles de areniscas masivas de color verde. Estas tobas tienen gran espesor al este de la región, hacia territorio chileno. El espesor de esta unidad varía entre 50 y 600 metros, disminuyendo de norte a sur y de este a oeste por lo general, es decir, cuanto más cerca se encuentre al mar, en la quebrada del río Caplina, los espesores de la formación Huaylillas son cada vez más delgados.

## **Neógeno**

### **Plioceno y Pleistoceno**

#### **Grupo Barroso (NQ-ba)**

Este grupo se encuentra en la unidad geomorfológica Cordillera Occidental, naciente de la cuenca Caplina. Está formado por un complejo volcánico al cual le dieron el nombre de volcánico Barroso, las cuales se pueden apreciar en los cerros Culiculine, Chillahuani, Lerco, Toquela, Charaque, Churrivicho, Achacollo, Ancochaullani, Huancune, Chupiquiña y el Fraile (Wilson y García, 1962).

El grupo Barroso está constituido por bancos bien definidos de tobas y lavas de composición traquítica, con cantidades menores de andesita; típicamente la roca es una traquita grisácea con fenocristales de sanidina y cristales microscópicos de biotita.

Las tobas predominan sobre las lavas, y localmente contienen mucho material clástico que da a la roca una textura terrosa. Además, se observó en campo que parte de esta formación geológica se encuentran zonas de alteración hidrotermal, que probablemente haya sido intruido por el volcánico Purupuruni (figuras 9 y 10).



*Figura 9: Vista panorámica Grupo Barroso*



*Figura 10: Quebrada Paralocos, alteraciones hidrotermales del Grupo Barroso que aportan sedimentos con elementos contaminantes a las aguas del río Caplina*

El Grupo Barroso ha sufrido una glaciación intensa y está cubierta por depósitos fluvio-glaciares, indicando que los volcanes son de Prepleistoceno y Pleistoceno, además sobreyace a la formación Huaylillas, que es del Plioceno Inferior o Medio.

Sobre este grupo se encuentran las quebradas tales como son Piscullane que entrega las aguas al río Caplina, Toquela, Pachaza que entrega sus aguas a la quebrada Cotañane.

Entre los nevados Huanacune y El Fraile, ubicado en el Abra Paso del Viento por donde atraviesa la carretera Tacna, Alto Peru, Bolivia y Chile (Tripartito). Se diferencia un nivel de brechas que afloran a la base del nevado el Fraile, que consiste de clastos volcánicos, con una matriz de cenizas lapilli (Monge & Cervantes, 2000); también presenta flujos lávicos andesíticos de color gris oscuro que contiene minerales tales como plagioclasa, hornblenda, biotita y cuarzo (Figura 11).

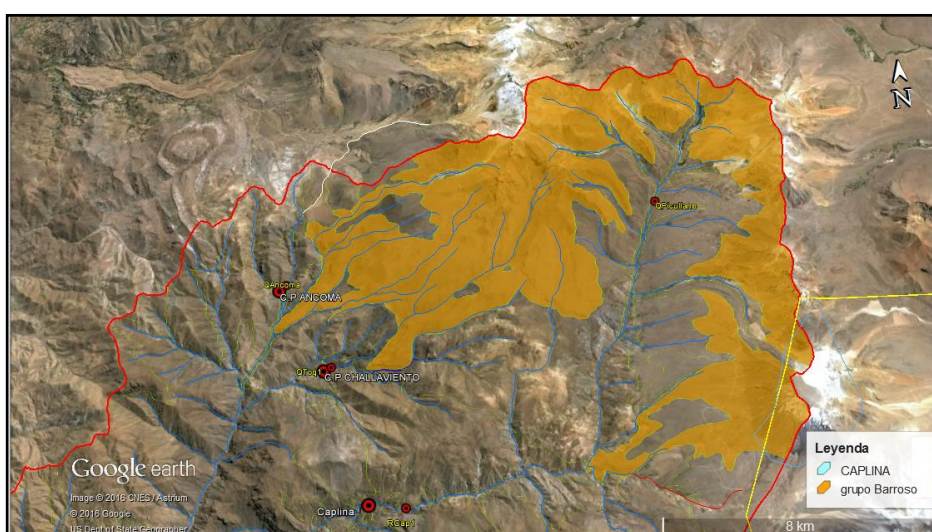


Figura 11: Vista panorámica de Google Earth: la extensión del grupo Barroso dentro del límite de la cuenca está encerrado con un polígono anaranjado.

## DEPÓSITOS CUATERNARIOS

### Depósitos Fluvioglaciares (Qh\_fg)

Son depósitos de amplia distribución en la unidad geomorfológica de Puna, al Sur sobreyacen al volcánico Huilacollo y hacia el noreste a los volcánicos del grupo Barroso, formando planicies suavemente onduladas. Su litología está compuesta de bloques polimícticos (volcánicos) mal clasificados, en una matriz de grava y arena, son clastos angulosos propios de fragmentos de rocas pertenecientes al grupo Barroso. Estos depósitos se encuentran en gran parte en las quebradas Piscullane, Aruma y Paralocos. Figura 12.



*Figura 12: Grupo Barroso y Depósitos Fluvioglaciares.*

Estos depósitos se encuentran en los alrededores de la quebrada Piscullane. Figuras 13 y 14.

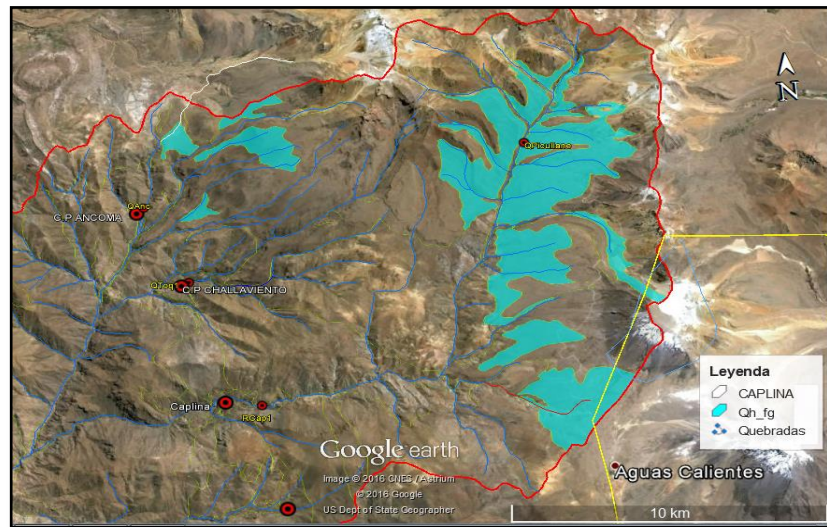


Figura 13: Vista panorámica de Google Earth: polígono de color celeste representa la zona donde presenta depósitos Fluvioglaciares.



Figura 14: En primer plano se observa los depósitos Fluvioglaciares

### Depósitos de Morrena (Qh\_mo)

Estos depósitos están conformados por material volcánico triturado o cantos subangulares de roca volcánica provenientes del grupo Barroso y han sido

transportados hasta una distancia mayor a 6 km, con afloramientos alargados, caracterizados típicamente por crear valles en forma de “U”, morrenas laterales alargadas. Constituidos por una mezcla heterogénea de gravas angulares de naturaleza volcánica en una matriz de arena y arcilla consolidada, conservando bloques erráticos. Se ubican en las inmediaciones de los estratos volcánicos del Fraile y el Complejo fisural Barroso (Figura 15).



*Figura 15: Vista panorámica Google Earth, donde se aprecia la zonificación de los depósitos de Morrena con polígonos de color anaranjado.*

### **Depósitos Coluviales (Qh\_co)**

Presentan una morfología suave de lomadas que forman especies de anfiteatros con escarpas muy altas y casi verticales; la mayor parte de estos depósitos se han formado por derrumbes de la Formación Moquegua. Su litología está compuesta por bloques muy grandes de tobas riolíticas y bloques diversos mezclados en forma caótica con una matriz de arenas y limos provenientes del mismo material. Estos

depósitos forman pequeñas terrazas en las quebradas Ataspaca, Caplina y Challaviento, las cuales son usadas como terrenos agrícolas por los pobladores de la zona. Estos depósitos representan menos del 1% en superficie de la zona de estudio.

### **Depósitos de Bofedales**

Compuesto por arenas, cenizas y arcillas que contienen además materia orgánica; se caracterizan principalmente porque son reservorios naturales de aguas en las zonas altas. Dentro de estas unidades se ha observado numerosos aniegos y surgencias de varios manantiales de agua de buena calidad y de manantiales termales. Estos depósitos representan menos del 1% en superficie de la zona de estudio. (Figura 16)



*Figura 16: Vista panorámica Google Earth, donde se observa depósitos de Bofedales representados por polígonos de color amarillo.*

### **Depósitos Fluviales (Qh\_fl)**

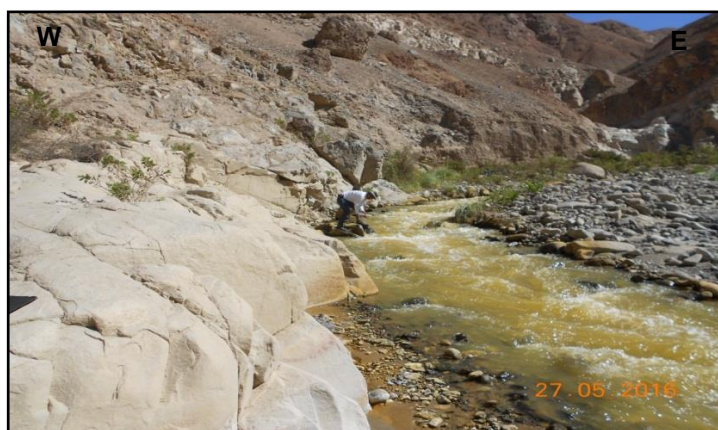
Conformados por cantos rodados y gravas redondeadas a subredondeadas con matriz arenosa, se encuentran en pleno proceso de transporte y deposición, acarreados por los ríos y avenidas de aguas temporales. Estos depósitos se encuentran en el piso de

valle de la quebrada Piscullane, y en el curso principal del río Caplina y la mayoría en el cauce de los ríos.

## **ROCAS INTRUSIVAS**

### **Unidad Intrusiva Yarabamba (KP-ya/gd/gd-mzd)-Cretáceo-Paleoceno**

Esta unidad se ubica en la unidad geomorfológica Flanco Disectado de los Andes y aflora en la parte baja de la cuenca Caplina (bocatoma Challata) frente a la quebrada Escalera (Figura 17), tenemos un pequeño Plutón compuesto esencialmente por granodioritas, monzodioritas y dioritas, que intruyen a las formaciones Pelado y San Francisco, silificando contactos mayormente sedimentarios.



*Figura 17: Rocas granodioritas de la unidad intrusiva Yarabamba.*

### **Unidad Intrusiva Challaviento (Pe-cha/gd/gd-mzd/gd-si)-Eoceno**

La unidad intrusiva Challaviento se ubica geomorfológicamente en Flanco Disectado de los Andes y una pequeña área en la unidad geomorfológica de Puna. Presenta una orientación general noroeste-sureste y extiende desde los alrededores del poblado de Ataspaca hasta unos 12 kilómetros en el poblado de Ancoma al noroeste del poblado

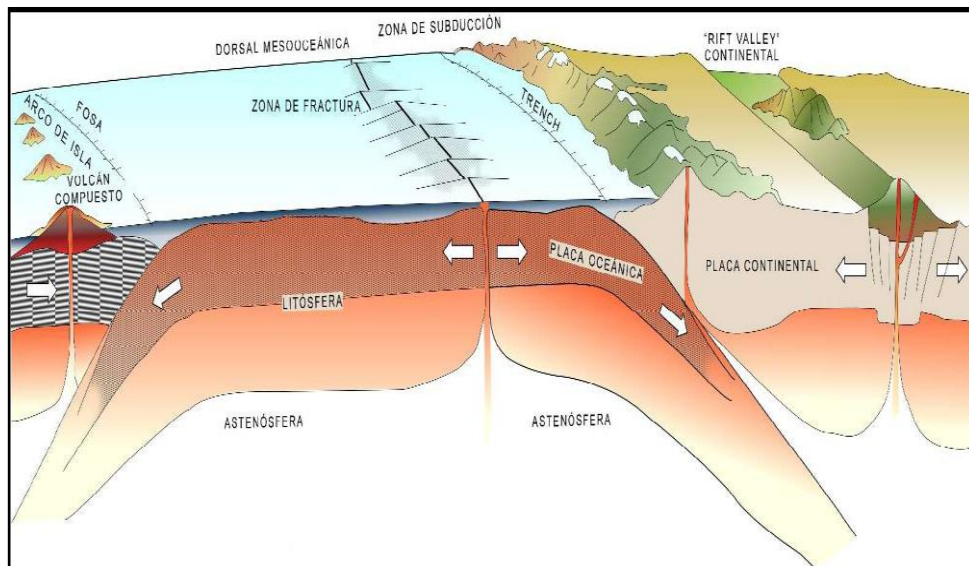
Ancoma. Está formado por una serie de plutones que presentan las mismas facies y, además, registran dataciones en algunos de ellos que indican edades similares. En los plutones de Challaviento y de Ataspaca se registran facies granodioríticas y monzodioríticas, mientras que en el Plutón de Chulpapalca y los pequeños intrusivos presentan facies granodioríticas. Estas rocas plutónicas son de color gris claro y el tamaño de grano varía de grueso a medio.

### **3.4.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

Según (INGEMMET, 1997) el área de estudio está situado en la margen continental donde desciende la Placa de Nazca debajo de la placa Continental. La subducción que comenzó en el Mesozoico y continúa hasta la actualidad, es responsable de la actividad volcánica y del hidrotermalismo asociado. En las áreas con hidrotermalismo contemporáneo afloran rocas sedimentarias y volcánicas pertenecientes tanto a unidades Mesozoicas como Cenozoicas.

El contexto estructural está caracterizado por lineamientos con rumbo Noroeste hacia Sureste (Dirección Andina), relacionados con los emplazamientos de los principales aparatos volcánicos. La subducción de la placa de Nazca con la Placa Continental con la formación y ascensión de magmas generó elevados flujos térmicos en la corteza terrestre. Ayudado por el calor, las aguas en los acuíferos conveccionaron y dieron origen a la actividad hidrotermal. Actualmente esta actividad se manifiesta en superficie por manantiales calientes como se tiene en las quebradas Aruma y Paralocos. Anteriormente, la actividad hidrotermal formó las vetas epitermales de metales preciosos y básicos, los yacimientos de Azufre y los depósitos de boratos.

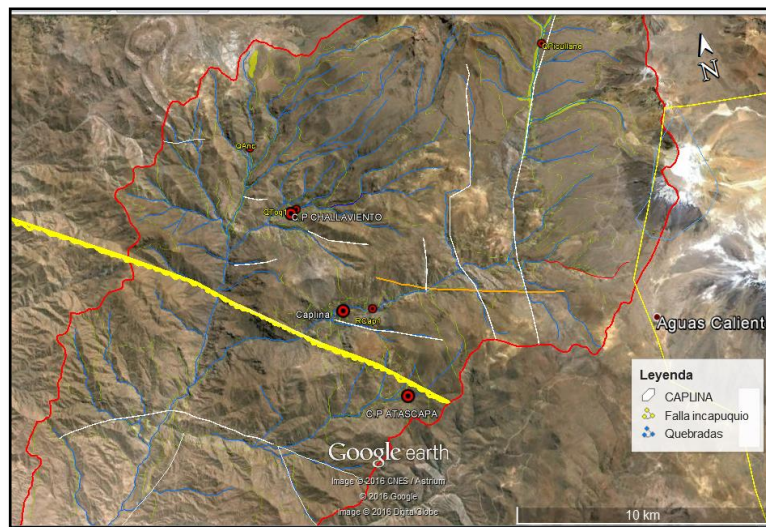
La actividad Tectónica ha generado una serie de fallas, tales como el sistema de fallas Incapuquio, además esta falla regional generó la presencia de una serie de fallas subsidiarias y lineamientos de dirección NE-SW ubicado en la quebrada Piscullane, N-S ubicado entre las quebradas Chillahuani y Achacahua, donde se han emplazado una serie de quebradas como Piscullane, Chillahuani, Achacahua, además genero la presencia de zonas de mineralización y la presencia de campos geotermales en Aruma y Paralocos que emanan agua con alto contenido de Azufre y Arsénico, estas fuentes geotermales tienen la mayor influencia sobre la calidad de agua. En la Figura 18 se puede observar el esquema de la subducción de la Placa de Nazca con la Placa Continental.



*Figura 18: Esquema de la subducción de la Placa Continental y la Placa de Nazca.*

(Jacay et al, 2002), mencionan el trabajo de (Wilson & García, 1962) elaborado por la Carta Geológica Nacional, ellos indican que la falla principal es la falla Incapuquio. Una

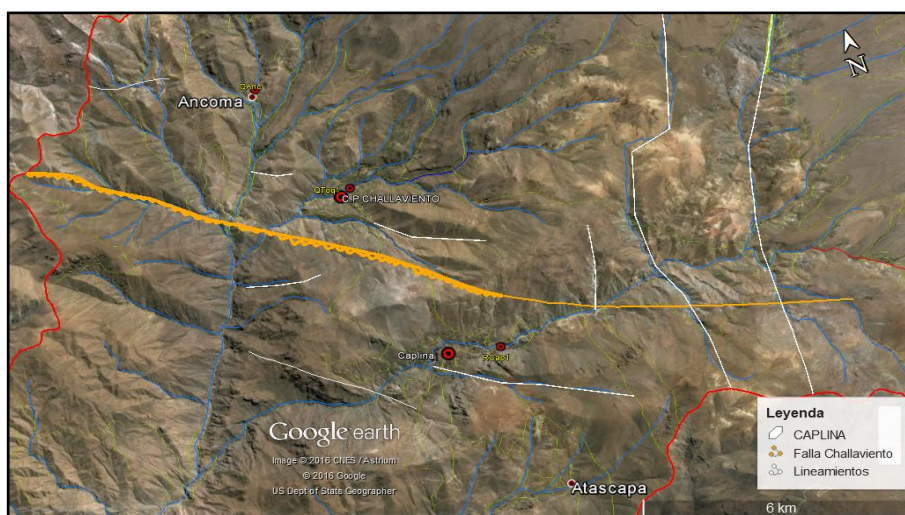
de las consecuencias de la complejidad tectónica que presenta este sistema de fallas es que individualiza y reúne aspectos que son conspicuos en la litoestratigrafía de los sectores específicos; haciendo aflorar formaciones geológicas que tienen aporte con elementos tales como Arsénico, Hierro, Azufre y otros elementos que alteran la composición de las aguas provenientes de la Cordillera. Esta cuenca tiene como basamento en gran parte rocas volcánicas y sedimentarias, aparte se encuentra una fuente geotermal ubicada en la unidad geomorfológica Puna, razón por la cual la calidad de recurso hídrico se ve influenciada por elementos contaminantes de forma natural. En la Figura 19 se puede observar la Falla Incapuquio.



*Figura 19: Falla regional Incapuquio*

Entre el tramo ubicado entre Ticana y la Quebrada Caplina también se presenta la falla Challaviento que corta la formación Junerata en el sector de centro poblado Ancoma, la formación Pelado cerca a la Quebrada Charine y la formación Huilacollo en la Quebradas Tirata y Achacahua afluentes a la Quebrada Caplina, presentando un

movimiento sinistral y de tipo inverso, la cual permitió que aflorara las rocas pertenecientes a la Unidad Challaviento sobre las rocas volcánicas del grupo Toquepala. Esta falla produce pliegues recumbentes, fallas menores y material triturado, haciendo que la erosión fluvial sea más fácil, debido a que las rocas se encuentran fragmentadas. La falla Challaviento es una falla inversa (Figura 20).



*Figura 20: Falla inversa Challaviento*

También se pueden observar un lineamiento principal que tiene una dirección NE-SO ubicado entre Pallata y la desembocadura de la quebrada Atascapa, la cual lo denominaron Lineamiento Caplina. Este lineamiento se extiende desde la costa peruana hasta la cordillera Occidental, está ubicado principalmente en el curso principal de río Caplina, la que ha generado valles angostas con pendientes pronunciadas y laderas empinadas difícil de acceder. Además se logra observar fallas normales listricas con bloque de material volcánico del Grupo Toquepala desplazados al fondo de la quebrada a ambos márgenes del río Caplina.

### **3.5. GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA**

El área de estudio se ubica geomorfológicamente en tres unidades morfoestructurales tales como la Cordillera Occidental, Puna y Flanco Disectado de los Andes. La Cordillera Occidental es la unidad geomorfológica más alta y contiene numerosos eventos volcánicos y delimita la cuenca Caplina con la cuenca Maure.

#### **3.5.1. UNIDAD GEOMORFOLÓGICA CORDILLERA**

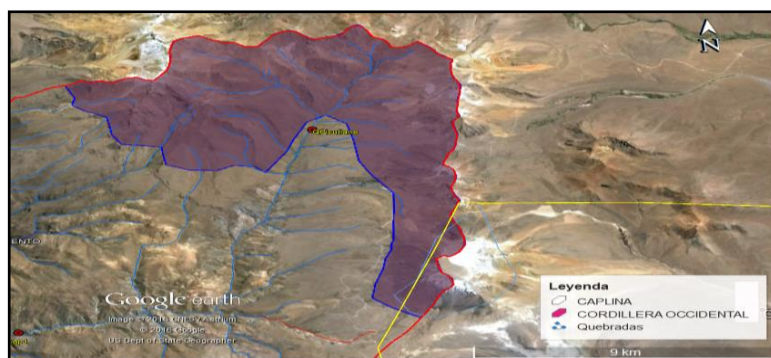
Esta unidad geomorfológica presenta una orientación preferencial NO-SE y está limitada hacia el suroeste por la ladera oeste de la Cordillera Occidental. Localmente presenta algunos cambios en su orientación donde los nevados Churivicho, Achacollo y Chila forman una cadena de nevados con orientación N-S denominados como Barroso, así mismo la cadena de nevados El Fraile y Huancune tienen la misma orientación. (Figura 21)



*Figura 21: Cordillera Occidental, nevado El Fraile.*

En esta unidad geomorfológica es donde se produce la precipitación que genera escorrentía, debido a que esta unidad geomorfológica presenta pendientes muy altas, solo se da la escorrentía superficial erosionando las rocas del grupo Barroso y posteriormente estos sedimentos son transportados aguas abajo donde se da la disolución de los elementos en el agua.

Los nevados presentan aparatos volcánicos que se ubican por encima de los 4000 msnm hasta alcanzar los 5742 msnm, las partes más altas corresponden a la Cordillera del Barroso. En general esta unidad geomorfológica presenta un relieve muy accidentado con pendientes fuertes, quebradas profundas y angostas por lo que es difícil el acceso, esto debido a la intensa actividad tectónica de la subducción de la placa de Nazca con la placa Continental. El flanco este de los nevados de Barroso y el Fraile presenta una extensa cubierta de depósitos aluviales y glaciares típicos de zonas altas (Figura 22). Estas zonas son amplias y semiplanas y están ubicadas en la vertiente de la Cordillera Occidental donde se muestra como una franja ubicada al extremo noreste del cuadrante IV del cuadrángulo de Palca hoja (36 X).



*Figura 22: Vista satelital Google Earth donde se puede apreciar la unidad geomorfológica Cordillera Occidental.*

### 3.5.2. UNIDAD GEOMORFOLÓGICA PUNA

En esta unidad geomorfológica se encuentra las formaciones geológicas tales como la Formación Huilacollo, la unidad intrusiva Challaviento y depósitos fluvioglaciares, se encuentra cubierta por Ichu y se ubica entre las cota de 3800 y 4500 msnm, en las cuales presenta valles poco profundos erosionados por los ríos provenientes de la Cordillera (Figura 23), las aguas circulan parcialmente en los Talwegs (escurrimiento superficial e hipodérmica).



*Figura 23: Vista panorámica de la unidad geomorfológica Puna*

Esta unidad geomorfológica se encuentra en la cuenca húmeda (Figura 24). La velocidad de flujo de esorrentía disminuye al pasar por esta unidad geomorfológica por lo que el agua en esta zona tiene mayor contacto con las litofacies de la formación

Huilacollo que están constituidos por brechas andesíticas, tobas dacíticas y riódacíticas y parte de esta formación presenta zonas de alteración hidrotermal que influye sobre la calidad de agua. Es de vital importancia mencionar que en esta unidad geomorfológica se encuentra fuentes geotermales tales como Aruma y Paracolos que tienen mayor influencia sobre la calidad de agua.

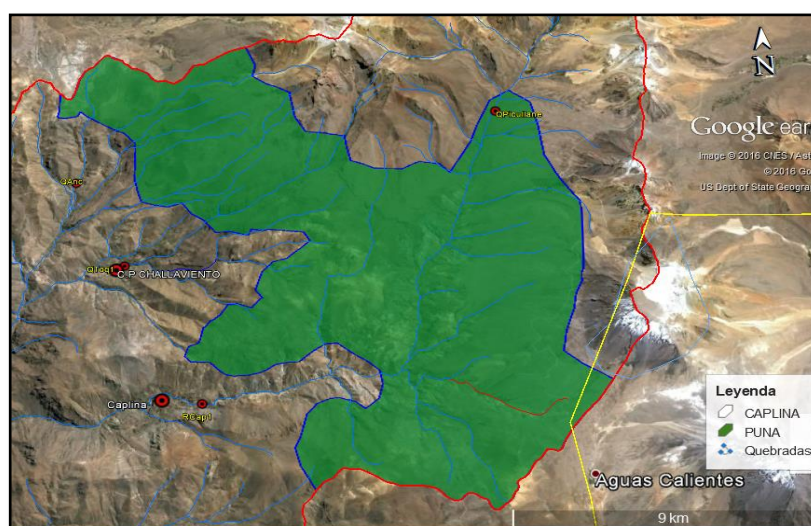


Figura 24: Vista panorámica Google Earth. El polígono de color azul representa la unidad geomorfológica Puna

### 3.5.3. UNIDAD GEOMORFOLÓGICA FLANCO DISECTADO DE LOS ANDES

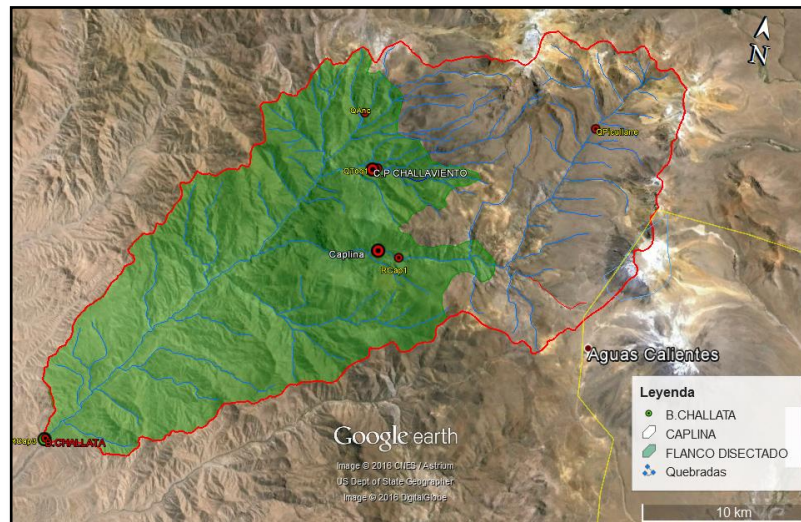
Esta unidad geomorfológica se ubica entre 1600 y 4000 msnm, el agua circula en una topografía muy diferenciada cuyas pendientes medias son más a menos de 28% lo que da condiciones favorables al escurrimiento del agua. Presenta topografía muy abrupta, se caracteriza por su terreno muy accidentado con predominio de pendientes fuertes. La característica más notable de esta unidad geomorfológica es la cantidad de erosión realizadas por los principales ríos, los que han labrado valles profundos y

encañonados. Las profundidades promedio de los valles varía entre 100-500 metros, por ejemplo los valles de Caplina aguas arriba de Challatita. El gradiente de los valles dentro de la zona de cañones son altos y variables: Caplina (Curso inferior) en un 5% y Caplina (Curso Superior) en un 8%. (Figura 25).



*Figura 25 Vista Panorámica del Flanco Disectado de los Andes, inicio del río Caplina*

Los factores principales son el levantamiento rápido del bloque Andino durante el Plio-Pleistoceno y aumento del caudal de río durante el Cuaternario dando como resultado una erosión muy rápida y el desarrollo de los grandes valles y cañones que actualmente caracterizan el Flanco Andino. (Figura 26).



*Figura 26: Vista panorámica, donde se puede observar entre límites de color verde y contorno verde representa a la unidad geomorfológica Flanco Disectado de los Andes.*

### 3.5.4. PARAMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA CAPLINA

La cuenca hidrográfica Caplina se encuentra en las siguientes unidades geomorfológicas: Flanco Disectado, Puna y la Cordillera. Puesto que los cauces presenta una geomorfología no uniforme, con pendientes comprendidas entre mayores a cero hasta mayores de  $35^\circ$ , que se clasifica como pendientes muy bajas, baja, media y pendiente alta (anexo LAMINA N°03) las cuales han sido generados producto de la intensa actividad tectónica (las fallas geológicas que se encuentra en la zona). Estos parámetros geomorfológicos de la cuenca son de vital importancia para definir las características de la cuenca, relacionando con las formaciones geológicas que se encuentran dentro del divortium acuarium de la cuenca, la hidrología, la intensidad de la actividad erosiva y la facilidad de la erosión fluvial y transporte de sedimentos que posteriormente definirá los componentes disueltos en el agua. En la Tabla 7 se

muestra un resumen de los parámetros geomorfológicos de la cuenca Caplina, y la clasificación ordinal de ríos se presenta en el anexo LAMINA 05.

Tabla 7: Cuadro de resumen de resultados de parámetros geomorfológicos de la cuenca Caplina.

PARAMETROS GEOMORFOLÓGICOS		SIMBOLOGIA	UNIDADES	CUENCA CAPLINA
1. CODIGO PFAFSTETTER		-	-	-
2. SUPERFICIE O AREA		A	Km <sup>2</sup>	502,00
3. PERIMETRO		P	Km	116,00
4. FORMA DE LA CUENCA	4.1. COEFICIENTE DE COMPACIDAD	Kc	-	1,45
	Observación	-	-	Oval redonda o Oval Ablonga
	4.2. RELACION DE ELONGACION	Re	-	0,61
	Observación	-	-	Relieves fuertes, con pendientes pronunciadas.
	4.3. FACTOR DE FORMA	Kf	-	0,29
	Observación	-	-	forma rectangular o alargada
5. CARACTERISTICAS DE RELIEVE	5.1. RECTANGULO EQUIVALENTE	L	Km	-
	5.2. CURVA HIPSOMETRICA	-	-	Joven
	5.3. ELEVACION MEDIA	Em	m.s.n.m	3555,50
	5.4. PENDIENTE MEDIA	Sc	%	28,21
	5.5. PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL	Sm	%	6,19
	5.6. PENDIENTE MEDIA PONDERADA DEL CAUCE PRINCIPAL	Sp	%	-
6. CARACTERISTICAS DE LA RED DE DRENAJE	6.1. ORDEN DE CORRIENTES	Oc	-	5
	6.2. RELACIÓN DE BIFURCACION	Rb	-	-
	6.3. DENSIDAD DE DRENAJE	Dd	Km/Km <sup>2</sup>	0,90
	6.4. FRECUENCIA DE CORRIENTES	Fc	Km <sup>-2</sup>	-

Fuente: Propia

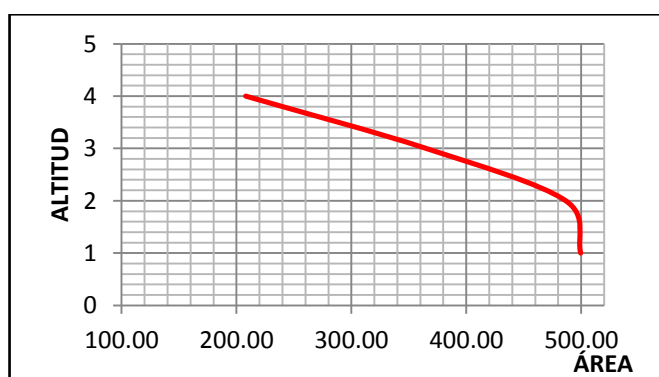
## CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA CAPLINA CONSIDERANDO PUNTO DE CONTROL LA BOCATOMA CHALLATA

Es la representación gráfica del relieve de una cuenca; es decir la curva hipsométrica indica el porcentaje de áreas de la cuenca o superficie de la cuenca en Km<sup>2</sup> que existe por encima de una cota determinada, representando en coordenadas rectangulares. La cuenca estudiada se clasifico en cinco partes iguales y se determinó la curva Hipsométrica que la representa. En la Tabla 8 se muestra los datos empleados y la curva Hipsométrica (Figura 27).

*Tabla 8: Cuadro de áreas entre curvas de nivel*

Nº ORDEN	COTA MIN	COTA MAX	Área Parcial (km <sup>2</sup> )	Área Acumulada (km <sup>2</sup> )	Área que queda sobre la superficie (km <sup>2</sup> )	Porcentaje de área entre C.N.	Porcentaje de área sobre C.N.
1	1561	2000	13,03	13,03	499,57	2,61%	100,00%
2	2000	3000	121,44	134,48	486,54	24,31%	97,39%
3	3000	4000	157,09	291,56	365,09	31,44%	73,08%
4	4000	5000	179,42	470,98	208,01	35,91%	41,64%
5	5000	5550	28,59	499,57	28,59	5,72%	5,72%
			500			100%	

*Fuente: Propia*

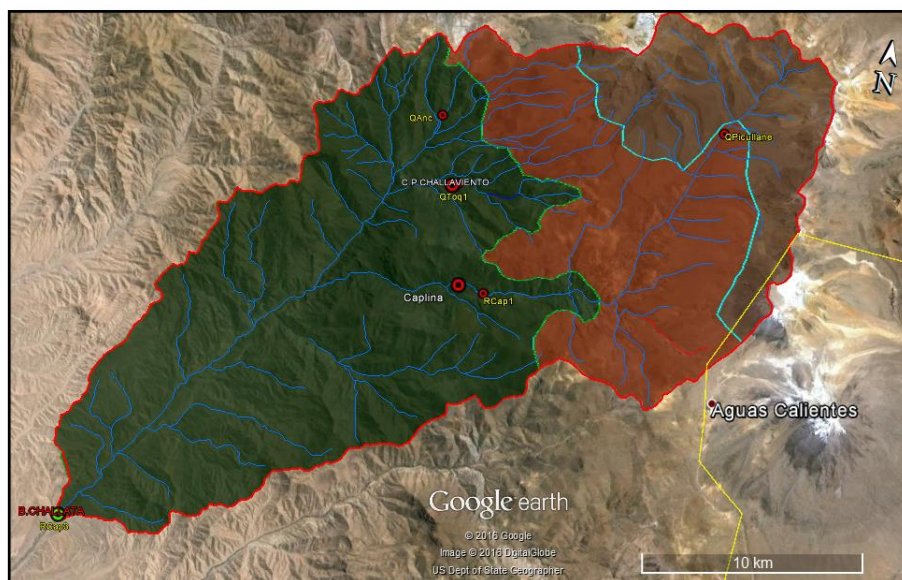


*Fuente: Propia*

*Figura 27: Curva Hipsométrica de la cuenca Caplina. Punto de control Bocatoma Challata.*

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El área involucrada en el presente estudio, se distribuye porcentualmente en las siguientes unidades geomorfológicas: Cordillera 14%, Puna 25% y Flanco Disectado de los Andes 61%, (Figura 28). Dichas unidades geomorfológicas son generadas por los procesos de subducción debido a la interacción entre las placas de Nazca y la Continental. Siendo el relieve uno de los factores más relevantes para la meteorización de las rocas, además del clima (semidesértico) y la propia resistencia de los minerales que representan suma importancia en el predominio de las áreas de mayor pendiente.



*Figura 28 Vista panorámica Google Earth, donde se puede apreciar las tres unidades geomorfológicas por donde discurre las aguas del río Caplina*

#### 4.1. UNIDAD GEOMORFOLÓGICA CORDILLERA

En la unidad geomorfológica de Cordillera, se presentan pendientes que superan los 25° (anexo LAMINA N°03), de tal forma que las aguas procedentes de las lluvias que

ocurren en el verano, circulan en mayor porcentaje por escurrimiento superficial, un porcentaje se evapora y solo un pequeño porcentaje se infiltra a través de las fracturas de las rocas andesíticas del grupo Barroso, parte de esta formación se encuentra alterada (Figura 29 y 30) y que luego afloran al pie de los aparatos volcánicos debido a la presencia de domos volcánicos de edad Pleistocénica. Esta unidad geomorfológica constituye por lo tanto una zona regularmente favorable para el abastecimiento de agua pero en forma limitada ya que las precipitaciones varían de 200 a 350 mm/año. En los años muy húmedos, las aguas de deshielo también se escurren con pocas pérdidas y de acuerdo a la latitud donde se ubica la zona de estudio existen pérdidas por sublimación las que en la actualidad no se han determinado. A demás, según los análisis realizados por el Ingemmet, las rocas piroclásticas del volcánico Barroso y Huaylillas, presenta óxidos de aluminio en gran porcentaje. (Cuadro 14-Anexo de cuadros) .



*Figura 29: Zona de alteración de color rojizo anaranjado del grupo Barroso en la zona naciente de la Quebrada Piscullane*

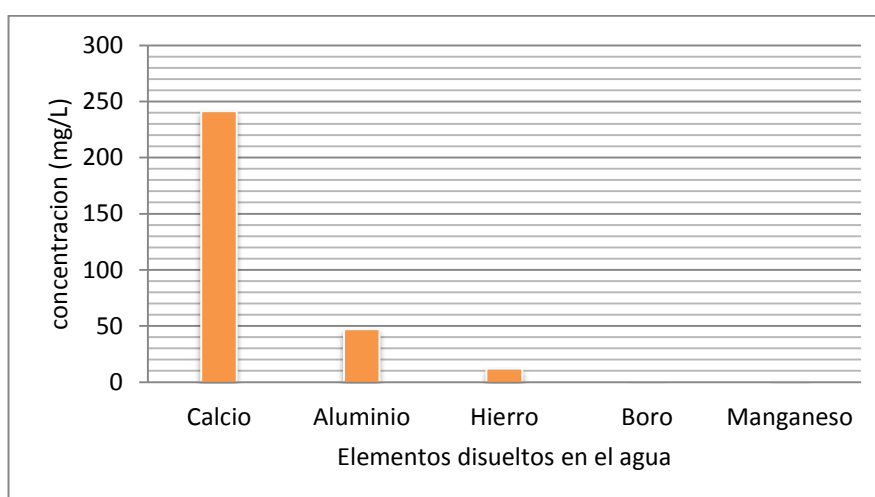


*Figura 30: Zona de alteración en Nevado El Fraile, naciente de la quebrada Paralocos.*

Las rocas andesíticas en esta unidad geomorfológica constituyen un 60% en área y el resto está conformado por traquitas de los domos volcánicos y los depósitos fluvio-glaciares, morrenas y coluviales. Químicamente las rocas andesitas y traquitas se consideran como rocas intermedias ya que contienen un poco más de 54,5% de sílice y óxido Aluminico en un 16,4%.

En este relieve montañoso, la erosión física causa un transporte rápido de los fragmentos de rocas lo que ocasiona un tiempo reducido para una desintegración química completa, esta desintegración química se limita a los cauces de los ríos y quebradas principales donde los clastos son transportados por las aguas donde el Calcio (Ca) y el Sodio (Na) son transportados, por lo tanto la meteorización química es poco relevante. Existe un punto de monitoreo de calidad de agua y según los registros el pH del agua es 4,2 (ácido), concentración de Calcio 241,3 mg/l, Aluminio (Al) 47,2

mg/l, Hierro (Fe) 12,1 mg/l y manganeso (Mn) 1.18 mg/l, y están por encima del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para categoría 3 (Figura 31).



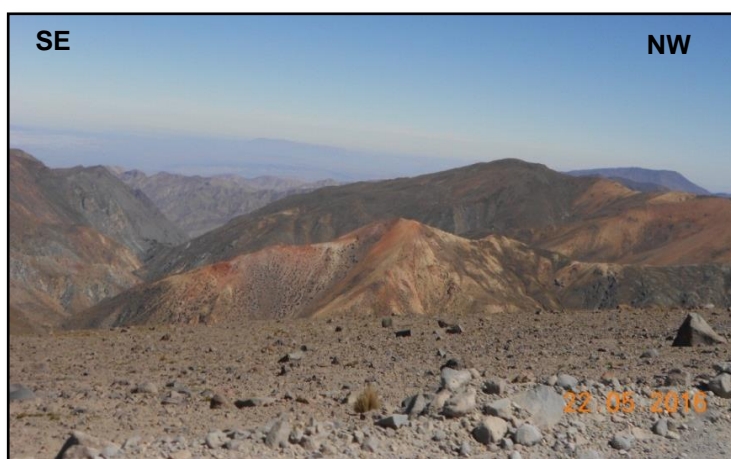
*Fuente: Elaboración propia con datos de ANA*

*Figura 31: Concentración de elementos en las aguas de la quebrada Piscullane estación QPsic*

## 4.2. UNIDAD GEOMORFOLÓGICA PUNA

Luego de ocurrida la escorrentía por la unidad geomorfológica Cordillera, estas ingresan a la unidad geomorfológica de Puna donde disminuyen su velocidad ya que esta unidad presenta una morfología llana y ondulada la que se encuentra cubierta por Ichu, Tola y Yareta. En la Puna se presentan valles poco profundos erosionados por los ríos tales como: Pachaza, Toquela, Chillahuani y Piscullane provenientes de la Cordillera (anexo LAMINA N°07). En esta unidad, las aguas discurren en el fondo de los ríos y quebradas por escorrentía superficial y otro porcentaje en forma subterránea a modo de circulación hipodérmica en los flancos de los valles y los interfluvios a través de los depósitos detríticos tipo coluvial y coluvio-deluvial.

La unidad geomorfológica Puna, geológicamente está constituida principalmente por rocas del grupo Barroso, Formación Huilacollo con una cobertura de depósitos aluviales, glaciares y eluviales. Litológicamente el grupo Barroso, está conformada por andesitas, traquiandesitas y dacitas (plagioclasas), estas formaciones geológicas se encuentran a su vez intruidas por rocas subvolcánicas de andesitas porfiríticas (plagioclasas), que forman domos las que están relacionadas directamente con la actividad geotermal de la zona, la cual se localiza principalmente en los sectores de Paralocos y Aruma. La intrusión ha generado zonas de alteración en la roca (Figura 32) donde se encuentran depósitos de minerales importantes para su explotación. Las zonas de alteración mineralógica, al ser meteorizadas y luego arrastradas a manera de arroyada difusa, permite la disolución de estos elementos químicos en el agua. Además se ha observado que las aguas de la quebrada Piscullane discurre sobre rocas andesíticas y riolíticas. (Figura 33)



*Figura 32: Zona de alteración hidrotermal del volcánico Huilacollo*



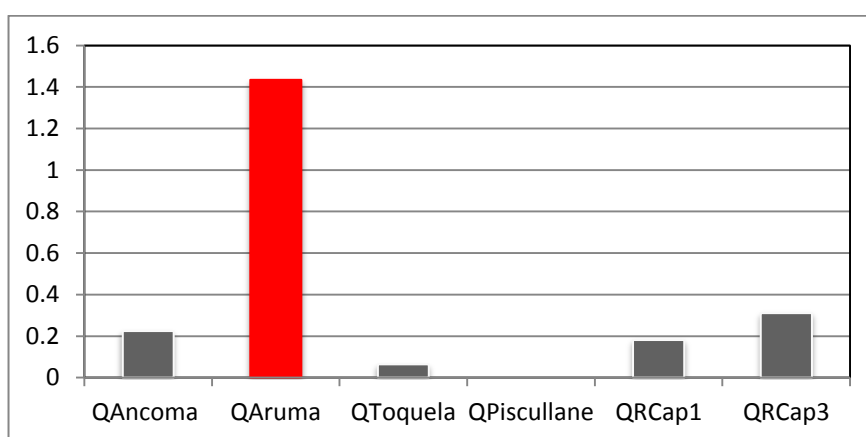
*Figura 33: Roca andesita del volcánico Huilacollo.*

En esta unidad geomorfológica, se han ubicado hasta dos fuentes de actividad geotermal, en las quebradas de Paralocos y Aruma, que emanan agua a altas temperaturas con presencia de elementos químicos contaminantes como el azufre, boro y arsénico. (Figura 34).



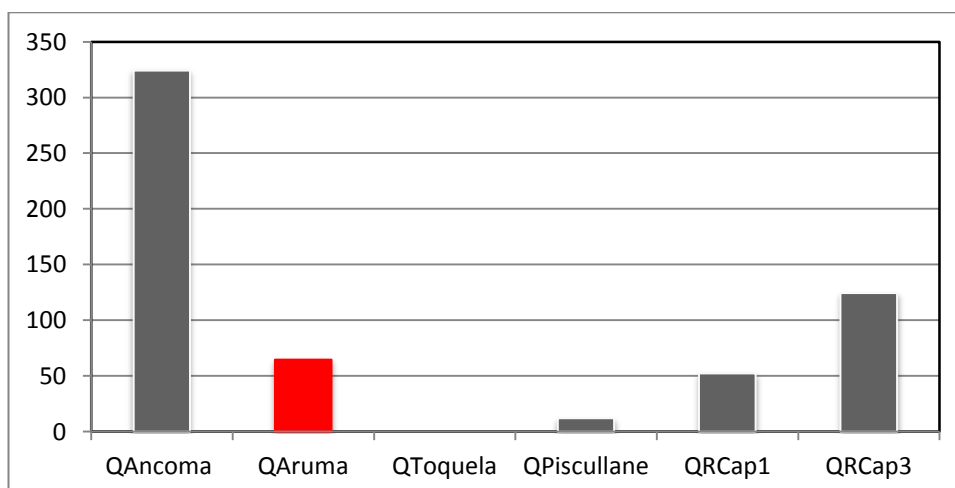
*Figura 34: Fuente geotermal Aruma*

Según los registros de monitoreo de calidad de agua en el año 2011, esta fuente geotermal presentó un valor alto de concentración de arsénico (1,43 mg/l), hierro (64,8 mg/l), y un pH ácido (1,84) a diferencia de otras quebradas tales como Ancoma y Toquela (Figuras 35, 36 y 37).



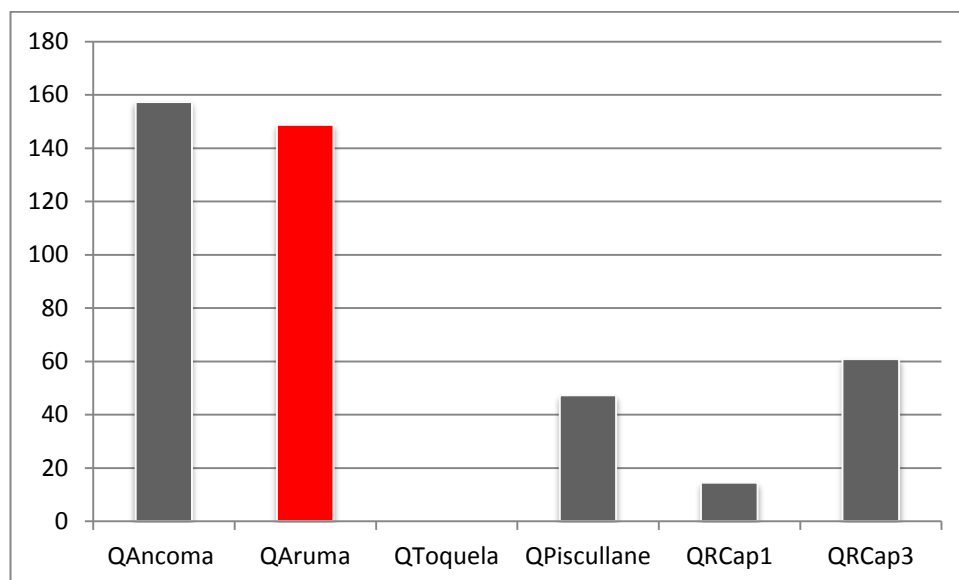
Fuente: Elaboración propia con datos de ANA

Figura 35: concentración de arsénico en la fuente geotermal Aruma



Fuente: Elaboración propia con datos de ANA

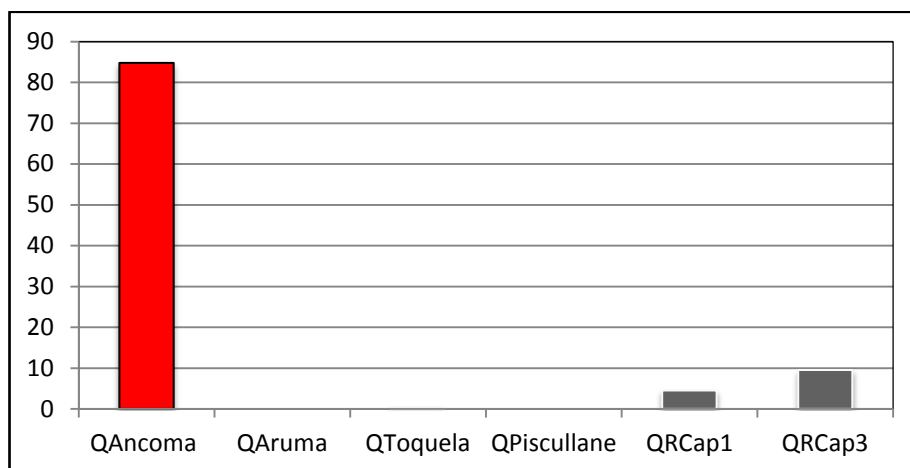
Figura 36: concentración de hierro en la fuente geotermal de Aruma



*Fuente: Elaboración propia con datos de ANA*

*Figura 37: Concentración de aluminio en la fuente geotermal Aruma*

Según información histórica, el año 1823 los agricultores del valle de Tacna trasvasaron desde la cuenca del río Sama hacia la cuenca del río Caplina un caudal aproximado de 130 l/s, de las fuentes Picutani, Barroso Chico y Barroso Grande, a través de un canal de trasvase hacia la quebrada Ancoma afluente del río Caplina; se debe indicar, que el río Tarucachi también presenta zonas con actividad geotermal donde el elemento químico predominante es el hierro. En la actualidad el trasvase corresponde solamente a las fuentes de Barroso Chico con un caudal aproximado de 70 l/s, la cual presenta alto contenido de hierro (Figura 38).



*Fuente: Elaboración propia con datos de ANA*

*Figura 38: Contenido de hierro en las aguas de la quebrada Ancoma, Año 2014*

### **4.3. UNIDAD GEOMORFOLÓGICA FLANCO DISECTADO DE LOS ANDES**

La poca cantidad de agua que llega al Flanco Disectado de los Andes en la cuenca del río Caplina, aproximadamente entre los 1600 y 3800 msnm, discurren en los lechos que presentan pendientes altas, con laderas de pendiente media a alta entre 25° a 65°. En esta unidad geomorfológica normalmente las precipitaciones se dan hasta la cota 3500 msnm, alcanzando valores entre 70 y 150 mm/año, lo cual puede producir escorrentía superficial a manera de huaycos, debido a la pendiente y a la disponibilidad de material alterado (deposito Eluvial), sólo en años muy húmedos las precipitaciones alcanzan valores de 300 mm/año.

Geológicamente, esta unidad geomorfológica, se encuentra constituida por las formaciones: Junerata, Ataspaca, Pelado y Toquepala con depósitos de edad Cuaternaria, litológicamente las formaciones están constituidos por tobas riódacíticas

cuyo componente principal es el feldespato alcalino que presenta concentración de hierro y boro además de presentar un pH ácido. (Figura 39 y 40).



*Figura 39: Coloración del agua debido a la presencia de hierro y azufre. (Aguas arriba de la Bocatoma Challata) curso principal del río Caplina*

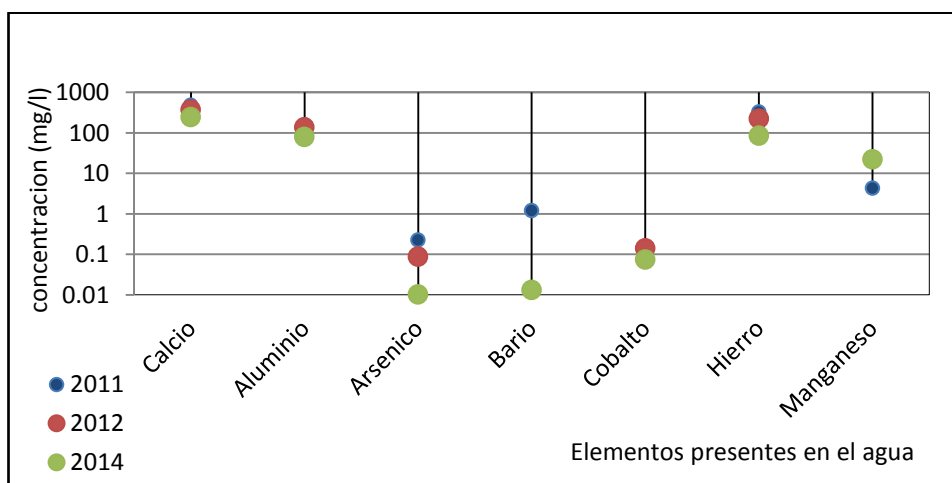


*Figura 40: Evidencias de contenido de hierro marcadas sobre las rocas granodioritas.*

Dentro de esta unidad geomorfológica se ubica cuatros estaciones de monitoreo de calidad de agua QAncoma, QToquela, QRCaplina1 y QRCaplina3, esta última estación está ubicada a unos 50 m aguas arriba de la bocatoma Challata.

Según la información reportada de la estación ubicada en la Quebrada Ancoma, se obtiene que el agua presenta alto contenido de Hierro (324,37 mg/l en el año 2011, 222,7 mg/l en el año 2012 y 84,73 mg/l en el año 2014), esta variación de concentración se debe a que los muestreos fueron realizado en distintas estaciones del año (Octubre del año 2011, Diciembre del 2012 y Abril del 2014).

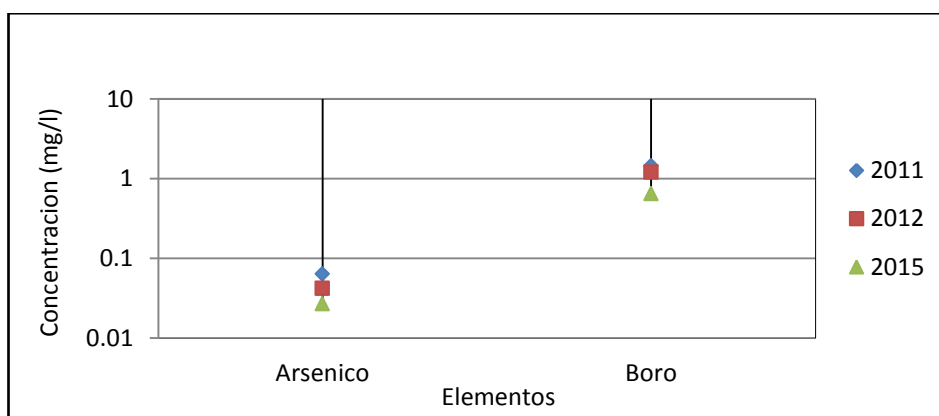
El alto contenido de hierro es debido al trasvase de canal Barroso que proviene de la zona con actividades geotermales, en la cual el elemento predominante es hierro, además se observa que la concentración en años húmedos disminuye y en tiempos de estiaje aumenta la concentración, ademas presenta un pH ácido (3,17) (Figura 41).



Fuente: Elaboración propia con datos de ANA

Figura 41: Variación de concentración de elementos en el agua Quebrada Ancoma.

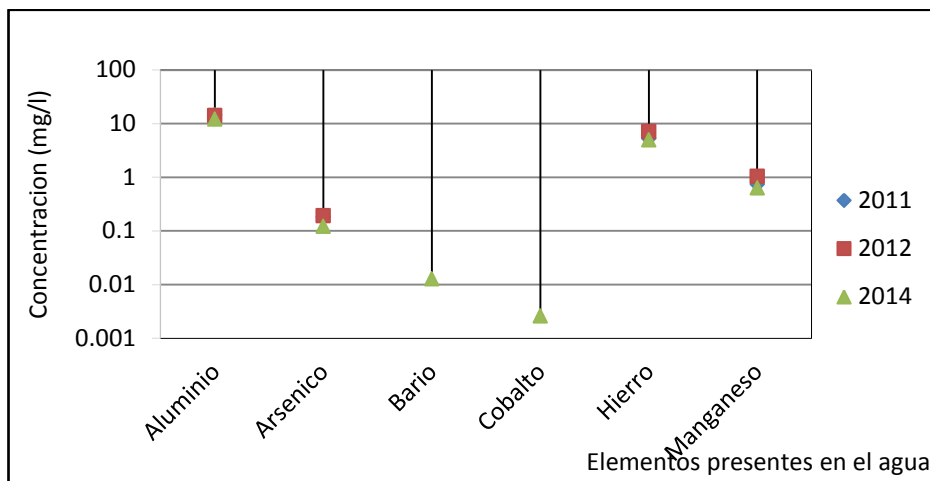
(Figura 42), muestra las concentraciones de arsénico (0,063 mg/l en el año 2011, 0,042 mg/l en el año 2012 y 0,027 mg/l en el año 2014) y boro (1,46; 1,21 y 0,65 mg/l) en la estación Toquela, estas aguas pertenecen a la categoría 2. Asimismo se puede observar la variación de dichas concentraciones de los elementos citados en época de avenidas y estiaje. También se puede apreciar la variabilidad de las concentraciones de elementos contaminantes en las estaciones QRCaplina 1 y QRCaplina3 (Figura 42 y 43).



*Fuente: Elaboración propia con datos de ANA*

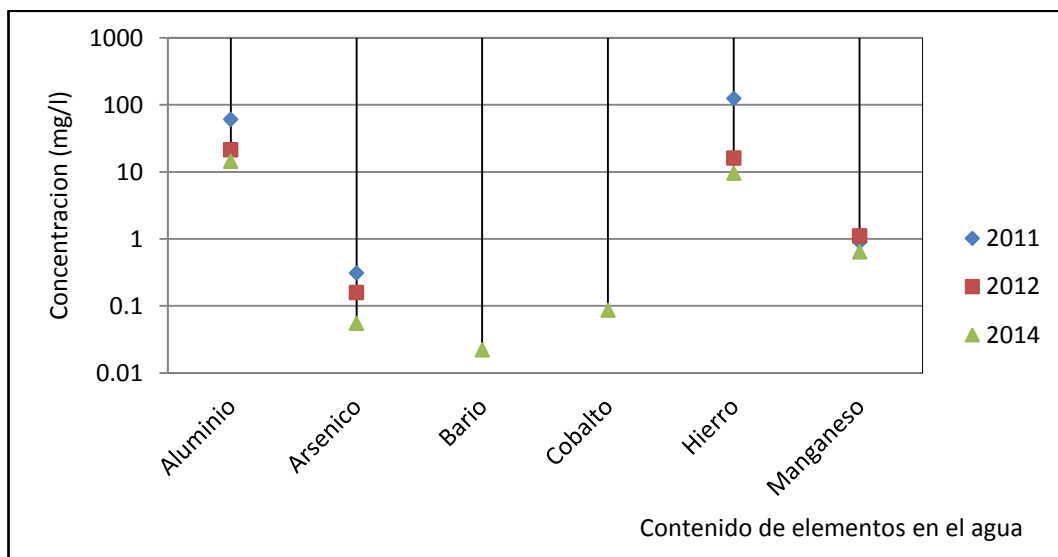
*Figura 42: Concentraciones de arsénico y boro en la estación QToquela*

Además se puede apreciar que en épocas de avenida la concentración de los elementos disminuye y en épocas de estiaje aumenta la concentración.



Fuente: Elaboración propia con datos de ANA

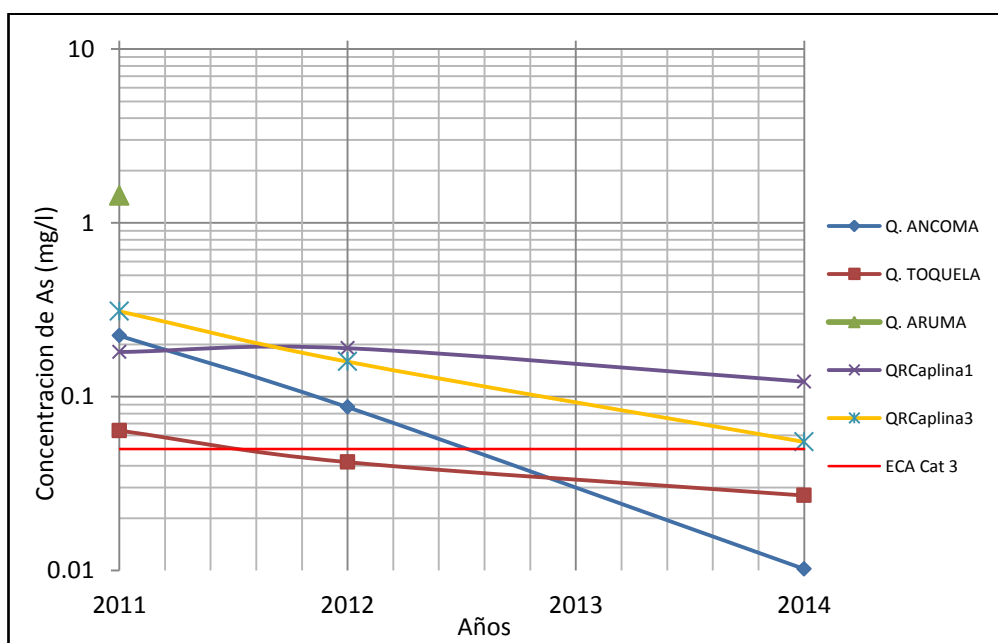
Figura 43: Concentraciones de aluminio, arsénico, hierro y manganeso en la estación de QRCap1



Fuente: Elaboración propia con datos de ANA

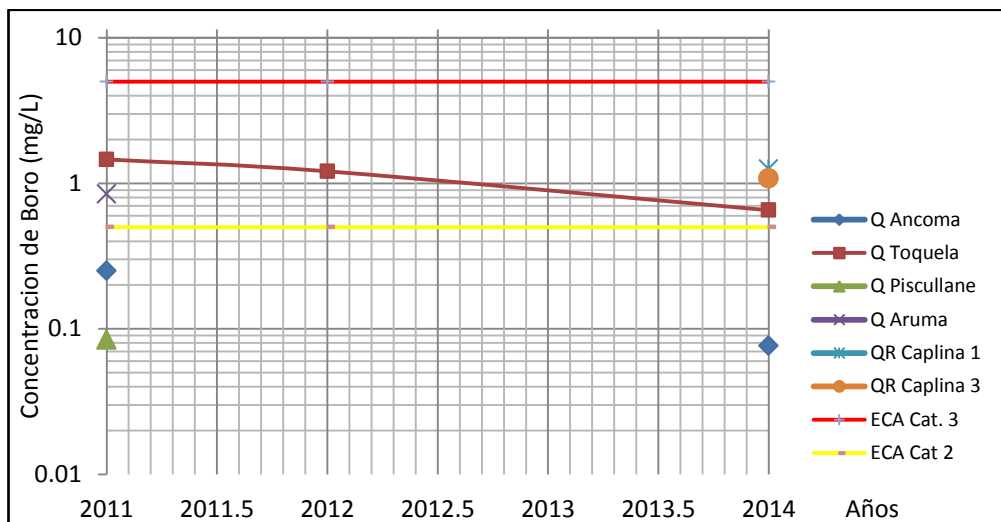
Figura 44: Concentración de aluminio, arsénico, hierro y manganeso en la estación QRCap3 (Punto de control de la zona de estudio)

Según los resultados del monitoreo de calidad de agua; las concentraciones de los elementos varía en las diferentes estaciones del año, tal como se mostró en los resultados de monitoreo en realizados en los años (Octubre del 2011, Diciembre del 2012 y Abril del 2014), es decir que en temporadas de lluvia (Verano) las concentraciones de arsénico, aluminio, hierro y de más elementos disminuye debido a la dilución y en temporadas de estiaje (invierno) las concentraciones de los mismo elementos aumenta. Lo que indica que cuando aumenta el caudal disminuye las concentraciones de los mismos. En las siguientes figuras muestra la variación de la concentraciones de arsénico, boro, hierro y aluminio, en los distintos puntos de monitoreo realizado por Autoridad Nacional del Agua (ANA).



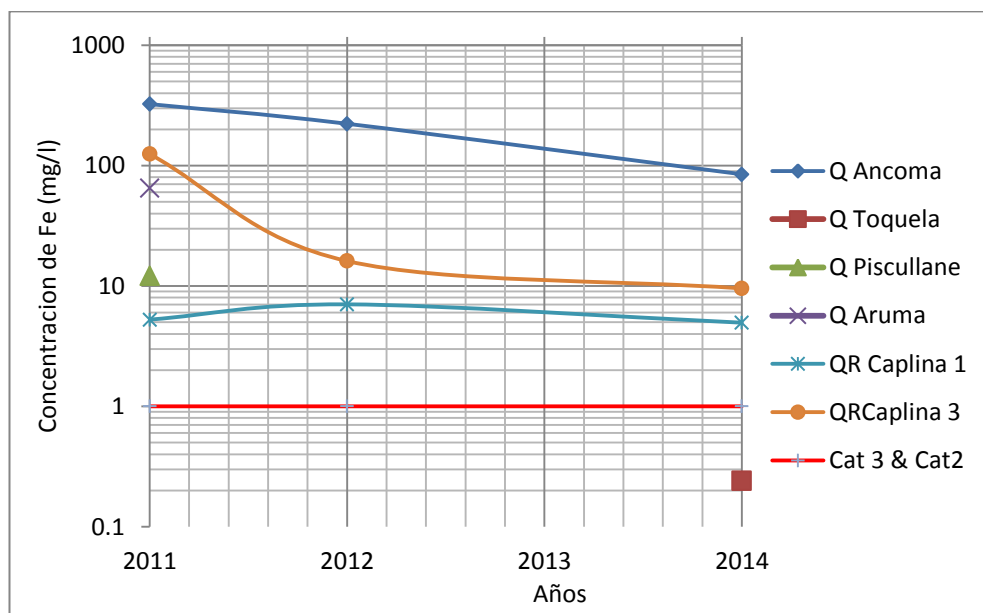
Fuente: Elaboración propia con datos de ANA

Figura 45: Concentración de arsénico en los años 2011, 2012 y 2014 en los ríos de la cuenca Caplina.



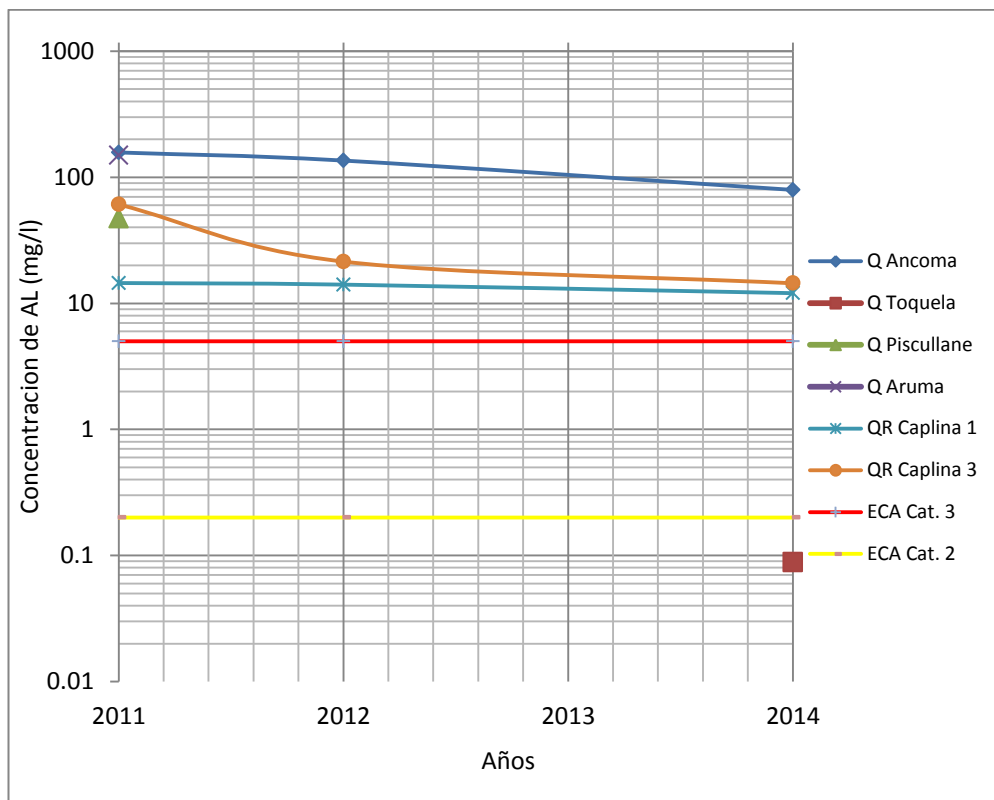
Fuente: Elaboración propia con datos de ANA

Figura 46: Concentración de boro en los años 2011, 2012 y 2014.



Fuente: Elaboración propia con datos de ANA

Figura 47: Concentración de hierro en los años 2011, 2012 y 2014.



Fuente: Elaboración propia con datos de ANA

Figura 48: Concentración de aluminio en los años 2011, 2012 y 2014.

Como se puede apreciar en las Figuras 45, 46, 47 y 48, las concentraciones de arsénico, boro, hierro y aluminio disminuyen su concentración, esto es debido a que se realizaron los muestreos de calidad de agua en distintos meses del año. Hay que indicar que en el año 2011 muestrearon el 31 de octubre, época de estiaje. Lo cual indica que el incremento de las concentraciones de dichos elementos se dio desde el comienzo de la época de estiaje, dichos valores son reflejados en los reportes de monitoreo de calidad de agua realizado por ANA.

Para referirnos a la precipitación, se consideró como referencia la estación de Paucarani de la Cuenca Uchusuma, debido a que la precipitación generalmente se produce en la Cordillera y la Puna con mayor frecuencia en el verano. Según los registros de Senamhi, en Diciembre del 2012 registraron 89 mm/mes (inicio de las lluvias) y en abril del 2014 registraron 40,8 mm/mes, el mes de abril corresponde al periodo de recesión o término de lluvias. Lo que indica que la concentración tanto del arsénico, boro, hierro y aluminio fueron diluidos durante los meses de Enero, Febrero y Marzo.

## CONCLUSIONES

- Se logró efectuar la caracterización ambiental y geológica, identificando las tres unidades geomorfológicas principales sobre las cuales discurren las aguas generadas por las precipitaciones en la cabecera de la cuenca Caplina.
- Se realizó la cartografía geomorfológica y se identificó la unidad geomorfológica Cordillera Occidental, Puna y el Flanco Disectado de los Andes. El análisis geomorfológico permitió explicar que la Cordillera Occidental presenta pendientes altas, donde las aguas debidas a las lluvias que ocurren en el verano circulan en mayor porcentaje por escurrimiento superficial, erosionando las rocas andesíticas del grupo Barroso, además estas rocas se encuentra alterada, es por esta razón que la disponibilidad de sedimentos es mayor y son transportadas por las aguas de manera recurrente.
- En la Puna se identificó quebradas poco profundas tales como son Piscullane, Paraloco, Aruma Chillahuani, Pachaza y Toquela. La velocidad de flujo disminuye, de manera que el agua tiene mayor contacto con las rocas del grupo Barroso y el volcánico Huilacollo.
- En la unidad geomorfológica Flanco Disectado de los Andes se presentan quebradas profundas, pendientes altas de manera que la velocidad de flujo incrementa y adquiere mayor poder de ataque erosivo sobre las rocas fracturadas de la unidad intrusiva Challaviento y la formación Junerata. Las precipitaciones alcanzan entre 70 a 150 mm/año y en años húmedos alcanza 300 mm/año.
- Se realizó la cartografía geológica en donde se identificó las formaciones geológicas que de alguna manera inciden sobre la calidad de agua en la cuenca

Caplina, las cuales fueron el grupo Barroso constituido por rocas andesíticas, dacíticas con alto contenido de hierro, volcánico Huilacollo constituidos por brechas andesíticas, tobas dacíticas y riódacíticas, formación Toquepala constituidas por rocas andesíticas, la unidad intrusiva Challaviento constituidas por rocas ácidas (granodiorita y monzodiorita) y la formación Junerata que está constituida por coladas basálticas y andesitas. Estas formaciones geológicas afloran en la cuenca húmeda.

- Se logró identificar las fuentes que tienen mayor influencia sobre la calidad de agua, siendo la fuente geotermal Aruma y Paralocos que emanan aguas con alto contenido de arsénico (1,43 mg/l) plomo (0,22 mg/l) sodio (296,72 mg/l), las cuales presentan concentraciones por encima de los valores de ECA. La otra fuente principal es el trasvase de aguas de la fuente Barroso Chico hacia la quebrada Ancoma, afluente del río Caplina, en donde dicha fuente presenta actividad geotermal en donde el elemento predominante es el hierro. El valor de hierro obtenido en la estación de Ancoma fue 84,73 mg/l, arsénico 0,22 mg/l en épocas de estiaje y 0,01mg/l en temporadas de lluvia, dichos valores obtenidos, son reflejados en los reportes de monitoreo de calidad de agua realizado por Autoridad Nacional del Agua (ANA).
- Se logró analizar las interrelaciones entre la geología, clima y la hidrología, dichos análisis fueron reflejados con la variación de la concentración de los elementos en el agua en épocas de estiaje y épocas de avenida. Lo que significa que la concentración de estos elementos contaminantes depende mucho de la precipitación que se cuenta en dicha zona, a mayor precipitación la concentración

de los elementos tales como arsénico, boro, hierro y aluminio disminuye, lo cual fue comprobada con los resultados de monitoreo de calidad de agua realizado por Autoridad Nacional del Agua (Octubre del año 2011, Diciembre del 2012 y Abril del 2014).

- La variación climática, por los cambios de temperatura, precipitación y horas de sol hace que las rocas del grupo Barroso, el volcánico Huilacollo, formación Junerata, Toquepala se meteoricen y luego sufran un proceso de transporte y posteriormente la disolución.
- En la bocatoma Challata, según los reporte de calidad de agua por ANA 2014, presenta concentración de arsénico 0,31mg/l en épocas de estiaje, 0,055 mg/l en temporadas de lluvia, hierro 124,7 mg/l en temporadas de estiaje y 9,54 mg/l en temporadas de lluvia, dichas evidencias son marcadas por la coloración del agua.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda a la entidad pública Autoridad Nacional del Agua ubicar dos estaciones de monitoreo de calidad de agua en los ríos Cotañane y Caplina, aguas arriba antes de confluir, para interpretar mejor la variación de la calidad de agua provenientes de la quebradas Ancoma y Caplina.
- Se recomienda a la entidad pública Proyecto Especial Tacna, con la Autoridad Nacional del Agua, realizar un estudio detallado de las fuentes geotermales en la parte alta de la cuenca, ya que estas fuentes tienen la mayor influencia sobre la calidad de agua.
- Se recomienda a la entidad pública Proyecto Especial Tacna, realizar proyectos que contemplen la evacuación las aguas provenientes de la fuente geotermal Aruma para desviar o conducir hacia zonas donde se pueda irrigar plantas resistentes al tipo de agua con alto contenido de arsénico.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ANA. (2012). Huanacuni Lupaca, C. Informe técnico del tercer monitoreo participativo de la calidad de agua superficial en la cuenca Caplina-Tacna.
- ANA. (2014). Esquives Villegas, V. Informe técnico del cuarto monitoreo participativo de calidad de agua superficial en las cuencas Caplina, Maure, Uschusuma e Intercuenca 1315-Tacna.
- ANA. (2016). Cardenas Villena, L.C.Estrategia nacional para el mejoramiento de calidad de recurso hídrico-Lima -Peru.
- Appelo, J., & Postma, D. (1993). *Geochemistry, Groundwater and Pollution*.
- Barba, A. I. (1996). Incidencias de las características geológicas y ambientales sobre la calidad de agua de los tramos superior medio del rio Arlanzón-Madrid
- Bianchi, A. (1981). Las precipitaciones en el Noroeste Argentino. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Regional Agropecuaria Salta. Secretaría de Estado de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, Buenos Aires-Argentina
- Cammeraat, Seimonsbergen AC., Sevink J., Hoogzaad YPG., Stoops de vet SJ., De Vries ME., Van Veelen M., Waiter HA., Weis N., Sanches Veg I., Cunga Castro F. (2014). Calidad de agua en relación a las propiedades del Geoecosistema. Un estudio de caso de una zona de jalca cerca de caja marca Perú.
- Chapman, & Kimstach. (1996). *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring -Second Edition*.

- Garranzo, I. V. (2009). Estudio geoquímico de suelos y agua como base para evaluar la contaminación: relación roca-suelo agua.
- INGEMMET. Steinmuller, K & Zavala, B) (1997).. Hidrotermalismo en el sur del Peru-Lima -Perú
- INGEMMET. (Wilson J. & Garcia W, 1962). Geología de los cuadrángulo de Pachia y Palca hoja (36v, 36x)- Perú.
- INRENA. (Gutierrez Bernoa, M. & Loyola Torres, D.B, 2002). Evaluación y Ordenamiento de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los ríos Caplina y Uchusuma.
- (Jacay J, Sempere J, Hugson L, Pino A, 2002). Características estructurales del sistema de falla incapuquio en el sur del Peru
- Meybeck et al. (1996). Global changes in aquatic systems and their interrelations with human health.
- Monge, R., & Cervantes, J. (2000). Mapa geologico actualizado de los cuadrangulos Pachia y Palca.
- Peña Laureano F., Cotrina Chavez G. Acosta Pereira H., (2009). Estudio Hidrogeologico de la cuenca del rio Caplina Tacna.
- PET. (2002). Plan de gestión de la oferta de agua en las cuencas del ámbito del proyecto Tacna- cuenca Caplina - Tacna
- Pino A., Jacay J., Sempere T., Lanuzzi R., Alleman V., (2002). Aportes geologicos de la evolucion geodinamica de la cordillera de los Andes en el Sur del Peru.
- Saluso, M. M. (2005). Evaluación de la calidad de los recursos hídricos superficiales en la cuenca alta de juramento Salta-Madrid

- Van Veelen, M., & De Vet, S. (2008). Hydrological response of the North-Peruvian páramo / jalca to influences of land use and socio-economic practices. Internal report University of Amsterdam. Amsterdam, The Netherlands. Perú
- Wilson, J., & Garcia, W. (1962). Geología de los cuadrangulo de Pachia y Palca - Lima -Perú.
-

## **ANEXOS**

### **ANEXO DE CUADROS**

### **ANEXO DE FOTOS**

### **ANEXO DE MAPAS**

- MAPA DE UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO
- MAPA TOPOGRAFICO
- MAPA DE PENDIENTES
- MAPA RASTER
- MAPA GEOMORFOLOGICO
- MAPA GEOLOGICO
- MAPA DE ORDEN DE RIOS
- MAPA DE ISOYETAS
- MAPA SATELITAL CUENCA HUMEDA
- MAPA DE UBICACIÓN DE FUENTES CONTAMINANTES Y ESTACIONES DE MONITOREO REALIZADOS POR (ANA)

---

# ANEXO DE CUADROS

---

**TABLA 9.**  
**PRINCIPALES FUENTES CONTAMINANTES DE LA CUENCA CAPLINA**

Fecha	Fuente contaminante identificada	provincia	distrito	Anexo/localidad C.P/otro	altitud	coordenadas		Cuerpo receptor
						ESTE	NORTE	
Dia 01/10/13	Botadero de residuos sólidos del C.P Caplina	TACNA	Pachía	Caplina	3523	401336	8043674	Rio Caplina
	Pasivo Ambiental Minero del C.P Caplina	TACNA	Pachía	Caplina	3849	400047	8041888	Rio Caplina
	Botadero de Residuos sólidos de localidad Ataspaca	TACNA	Palca	Ataspaca	3622	402333	8039793	Rio Caplina
Dia 03/10/13	Pasivo Ambiental Minero en el Rio Caplina1	TACNA	Pachía	Callata	1828	386742	8034427	Rio Caplina
	Pasivo Ambiental Minero en el Rio Caplina2	TACNA	Pachía	Callata	1662	385007	8031611	Rio Caplina
	Pasivo Ambiental Minero en el Rio Caplina3	TACNA	Pachía	Callata	1634	384451	8031510	Rio Caplina
Dia 03/10/13	Pasivo ambiental Minero en el rio Caplina4	TACNA	Pachía	Callata	1605	384163	8030828	Rio Caplina
	Botadero de residuos sólidos de la localidad de callata	TACNA	Pachía	Callata	1566	383656	8030069	Rio Caplina
Dia 05/10/13	Vertimiento de aguas Residuales de la localidad de calientes	TACNA	Pachía	Calientes	1249	380707	8024304	Rio Caplina
	Vertimiento de la EPS pachia	TACNA	Pachía	Pachía	1126	378164	8021749	Canal Caplina
Dia 11/10/13	Vertimiento de lodos del lavado de filtros EPS tacna	TACNA	Calana	Calana	714	371849	8011467	Canal Caplina
	Botadero de residuos sólidos del camal municipal de Tacna	TACNA	Calana	Calana	720	371973	8011544	Canal Caplina
	Vertimiento de lodos del lavado de filtros PTAP municipalidad de Calana	TACNA	Calana	Calana	995	375990	8019140	Canal Caplina
	Reuso no autorizado de las aguas residuales de calana y pachia	TACNA	Calana	Calana	847	373615	8014224	Canal Caplina

*FUENTE: Autoridad Nacional del Agua.*

TABLA 10: INVENTARIO DE MANANTIALES EN LA CUENCA DEL RÍO CAPLINA

N°	SUBCUENCA	NOMBRE	USO	Cota	Este	Norte	Caudal (l/s)	CE (μS/cm)	pH	T°c
1	Caplina	Quebrada Humalata	Agropecuario	4077	400459	8055606	1,20	1862	5,90	4,10
2	Caplina	Manante Piscullane	Agrícola	4615	411031	8052394	0,51	556,00	7,32	3,70
3	Caplina	Quebrada Picullane	Agropecuario	4567	411638	8052754	2,5	438,00	4,15	2,60
4	Caplina	Manante Caplina parte Alta	Agrícola	4635	411839	8051894	0,75	215,00	5,95	3,90
5	Caplina	Manante Pampa Soroche	Agrícola	4809	413996	8048780	1,34	15,00	2,38	1,80
6	Caplina	Manante Termal Aruma	Termal	4481	411493	8042511	0,60	6860,00	2,30	35,30
7	Caplina	Manante Aruma	Agropecuario	4482	411453	8042465	0,60	790,00	4,55	14,10
8	Caplina	Manante Tirata	Agrícola	4571	410196	8040510	0,60	320,00	5,95	11,50
9	Caplina	Manante Tirata 1	Agrícola	4558	410148	8040515	1,20	340,00	4,00	10,20
10	Caplina	Manantial Cocavira	Agropecuario	4117	404649	8048775	0,70	1 055,00	6,32	8,90
11	Caplina	Manantial izquierdo de Covaira	Agropecuario	3859	403554	8048343	0,60	795,00	8,53	7,30
12	Caplina	Quebrada Delaqui	Agropecuario	3614	401997	8047829	3,10	2,20	7,75	8,60
13	Caplina	Quebrada Toquela	Agropecuario	3300	400656	8048831	2,00	434,00	8,32	9,30
14	Caplina	Rio Caplina parte Alta	Agropecuario	3354	401282	8043883	2,20	1 299,00	4,52	6,80
15	Caplina	Captacion Caplina	Doméstico	3900	401800	8043400	2,40	1 229,00	6,40	12,60

16	Caplina	Manantial Quitune	Agrícola	4065	402874	8042302	0,80	657,00	7,59	12,20
17	Caplina	Captacion Ataspaca	Doméstico	3736	402637	8040547	2,00	305,00	9,11	4,20
18	Caplina	Manantial Ataspaca 2	Agropecuario	3604	402151	8039709	0,80	204,00	8,41	8,20
19	Caplina	Quebrada Ataspaca 1	Agrícola	3337	396590	8039019	1,50	1 290,00	10,81	11,40
20	Caplina	Quebrada Ataspaca 2	Agropecuario	3337	396590	8039019	1,01	1 300,00	10,60	11,40
21	Caplina	Manantial Ataspaca	Agrícola	3337	396590	8039019	0,40	2 520,00	9,11	14,50
22	Caplina	Rio Caplina parte Baja	Doméstico y Agrícola	1809	386752	8034595	1,50	1 160,00	6,74	38,20
23	Caplina	Manantial Termal Calientes	Termal	1304	381255	8025509	0,80	1680,00	11,11	15,90

FUENTE: INEGEMMET (Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, 2009)

TABLA 11

VALORES ESTÁNDARES PARA RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDA PARA ANIMALES –  
CATEGORIA 3

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
<b>Fisicoquímicos</b>		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	<2 000
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	15
Demanda química de oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos	mg/L	1
Nitratos(NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	10
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0,06
Oxígeno disuelto	mg/L	>=4
pH	Unidad de pH	6,5 -8,5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0,05
<b>Inorgánico</b>		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,05
Bario total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5 - 6
Cadmio	mg/L	0,005
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,2
Cromo (6+)	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001

Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	2
<b>Orgánicos</b>		
Aceites y grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
<b>Plaguicidas</b>		
Aldicarb	µg/L	1
Idrin (CAS 309-00-2)	µg/L	0,004
Clordano (CAS 57-74-9)	µg/L	0,3
DDT	µg/L	0,001
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	µg/L	0,7
Endrin	µg/L	0,004
Endosulfan	µg/L	0,02
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloripóxido)	µg/L	0,1
Lindano	µg/L	4
Paration	µg/L	7,5

FUENTE: NORMAS LEGALES N°002-2008 MINAM

TABLA 12:

AFLORAMIENTOS GEOLÓGICOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

FORMACIÓN GEOLÓGICA		ÁREA (Km <sup>2</sup> )	% EN SUPERFICIE
Símbolo	Nombre		
Qh_bo	Depósitos de bofedal	3,52	0,70
Qh_fg	Depósitos fluvioglaciales	42,32	8,45
Qh_fa	Depósitos fluvioaluviales	11,55	2,31
Qh_mo	Depósitos de morrena	4,30	0,86
Q_ba	Grupo Barroso	94,50	18,87
Qp_con	Conglomerado antiguo	2,33	0,47
Nm_hu	Formación Huaylillas	7,49	1,50
Po_mos	Formación Moquegua Superior	41,82	8,35
Pe_hui	Volcánico Huilacollo	47,75	9,53
Pe_cha	Unidad intrusiva Challaviento	58,38	11,66
KPp_ya	Unidad intrusiva Yarabamba	11,57	2,31
KPp_to	Grupo Toquepala	39,27	7,84
Jki_cha	Formación Chachacumane	4,45	0,89
Js_at	Formación Ataspaca	14,63	2,92
Jm_sf	Formación San francisco	15,85	3,16
Ji_pe	Formación Pelado	11,62	2,32
TrJi_ju	Formación Junerata	73,22	14,62
Trs_ma	Formación Machani	13,77	2,75
PPr_cb	Complejo basal de la Costa	2,52	0,50
TOTAL		501	100.00

Fuente: Propia

TABLA 13

RESULTADOS DE CALIDAD DE AGUA REPORTADOS POR AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA

Elementos	Unidades	ECA Cat.3	Q Piscullane		
			31/10/2011	07/12/2012	2014
pH	-	6,5-8,4	4,2	3,71	-
Ce	µs/cm	2 000		1 236	-
Calcio	mg/L	200	241,31		-
Aluminio	mg/L	5	47,190		-
Hierro	mg/L	1	12,1		-
Boro	mg/L	5	0,0841		-
Manganeso	mg/L	0,2	11,833		-
Ox. Disuelto	mg/L	>=4		7,08	-

Elementos	Unidades	ECA cat 3	Q Aruma	
			31/10/2011	
pH	-	6,5-8,4	1,84	
Ce	µs/cm	2 000		
Oxígeno disuelto	mg/L	>=4	3,5	
Sodio	mg/L	200	296,72	
Aluminio	mg/L	5	148,70	
Arsenico	mg/L	0,05	1,434	
Cadnio	mg/L	0,005	0,0302	
Hierro	mg/L	1	64,773	
Manganeso	mg/L	0,2	7,262	
Plomo	mg/L	0,05	0,2205	
Zinc	mg/L	2	2,66	
Boro	mg/L	5	0,8437	

Elementos	Unidades	ECA Cat 3	Q Ancoma		
			31/10/2011	023/12/2012	07/04/2014
pH	-	6,5 -8,4	2,7	3,17	2,94
Ce	µs/cm	2 000	3 100	2990	2 670
Calcio	mg/L	200	475,40	369,60	244,5
Aluminio	mg/L	5	157,248	135,55	79,378
Arsénico	mg/L	0,05	0,2242	0,087	0,0102
Bario	mg/L	0,7	1,194		0,0131
Cobalto	mg/L	0,05	0,1225	0,14	0,0749
Hierro	mg/L	1	324,368	222,700	84,733
Manganeso	mg/L	0,2	4,32		22,191
Mercurio	mg/L	0,001	0,0022		<0,0001
Plomo	mg/L	0,05	0,1123		0,00041
Boro	mg/L	5	0,25		0,0763

Elementos	Unidades	Cat 3	Q Caplina 1		
			31/10/2011	023/12/2012	07/04/2014
pH	-	6,5, 8,4	3,11	3,5	3,13
Ce	µs/cm	2 000			1 258
Calcio	mg/L	200			58,33
Aluminio	mg/L	5	14,49	14,07	12,039
Arsénico	mg/L	0,05	0,1807	0,19	0,122
Bario	mg/L	0,7			0,0127
Cobalto	mg/L	0,05			0,0026
Hierro	mg/L	1	5,254	7,035	4,953
Manganeso	mg/L	0,2	0,730	1,030	0,627
Mercurio	mg/L	0,001	0,0012		<0,0001
Plomo	mg/L	0,05			0,016
Boro	mg/L	5			1,25

Elementos	Unidades	ECA Cat 3	Q Caplina 3		
			31/10/2011	023/12/2012	07/04/2014
pH		6,5-8,4	3,51	3,71	3,84
Ce	µs/cm	2 000			2 670
Calcio	mg/L	200			122,9
Aluminio	mg/L	5	60,84	21,43	14,415
Arsénico	mg/L	0,05	0,31	0,159	0,0549
Bario	mg/L	0,7			0,0222
Cobalto	mg/L	0,05			0,086
Hierro	mg/L	1	124,67	16,121	9,549
Manganeso	mg/L	0,2	0,90	1,11	0,6372
Mercurio	mg/L	0,001	0,0012		<0,0001
Plomo	mg/L	0,05			0,0069
Boro	mg/L	5			1,08

Elementos	Unidades	ECA cat 2	Q Toquela		
			31/10/2011	023/12/2012	07/04/2014
pH		5,5-9,0			8,22
Ce	µs/cm	1 000			796,6
Calcio	mg/L	---			86,61
Aluminio	mg/L	0,2			0,0883
Arsénico	mg/L	0,01	0,0638	0,042	0,027
Bario	mg/L	0,7			0,0157
Cobalto	mg/L	---			0,0002
Hierro	mg/L	1			0,24
Manganeso	mg/L	0,4			0,0296
Mercurio	mg/L	0,002			<0,0001
Plomo	mg/L	0,05			0,00019
Boro	mg/L	0,05	1,46	1,21	0,6538

FUENTE: Autoridad Nacional del Agua

TABLA 14

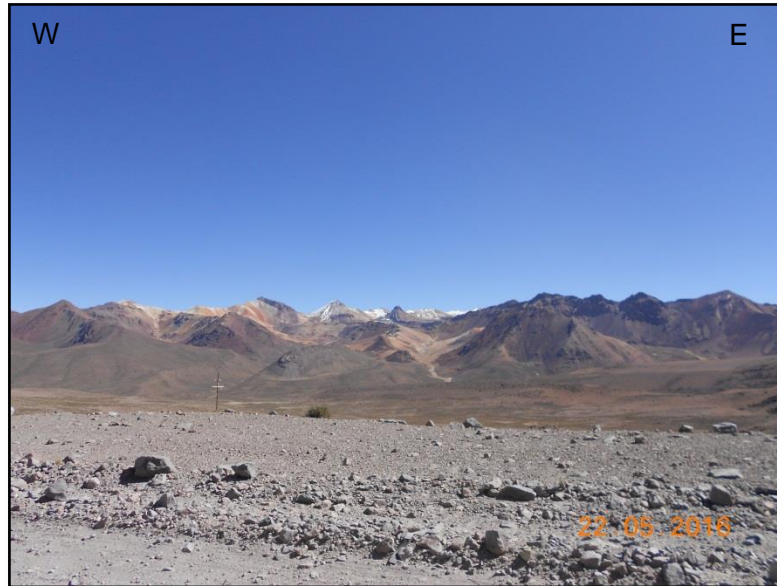
	ANALISIS QUIMICO DE MUESTRAS DE ROCAS DE LA FORMACION HUYLILLAS								
	32	33	34	80	164	26	27	29	30
SiO <sub>2</sub>	65	65,40	62,80	74,20	66,40	64	67,20	63,20	67,30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,14	4,56	5,27	3,63	5,79	8,65	3,15	2,05	2,10
FeO	2,24	1,57	2,85	2,05	2,78	4,20	2,30	1,25	0,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,86	23,44	24,73	17,73	21,46	20,31	21,35	30,95	23,20
CaO	4,62	4,93	3,57	1,85	3,70	2,88	3,98	6,65	3,08
MgO	0,27	Traz.	0,87	0,30	0,32	Traz	0,00	0,00	Traz .
H <sub>2</sub> O (45°C)	0,15	0,17	0,00	0,00	0,70	0,57	0,32	0,15	0,30
H <sub>2</sub> O(110°C)	0,90	1,05	0,60	0,35	1,87	1,24	2,36	1,35	1,56
TiO	0,32	Traz.	Traz	0,32	Traz	0,22	0,25	Traz	0,20
MnO	0,26	Traz.	0,25	0,28	Traz	0,22	0,25	Traz .	0,20
K <sub>2</sub> O	0,25	0,15	0,12	0,34	Traz	0,17	0,26	0,16	0,35
Na <sub>2</sub> O	0,47	Traz.	0,25	0,36	0,16	traz.	0,30	0,22	0,30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,16	Traz.	Traz	0,15	0,12	0,21	0,25	0,00	Traz

Fuente: INGEMMET

---

# ANEXO DE FOTOS

---



*Figura 49: Cordillera Occidental, donde se logra observar del Grupo Barroso con zonas de alteración*



*Figura 50: Depósitos fluvioglaciares en la parte superior de la quebrada Aruma*



*Figura 51: Fuente geotermal Aruma*

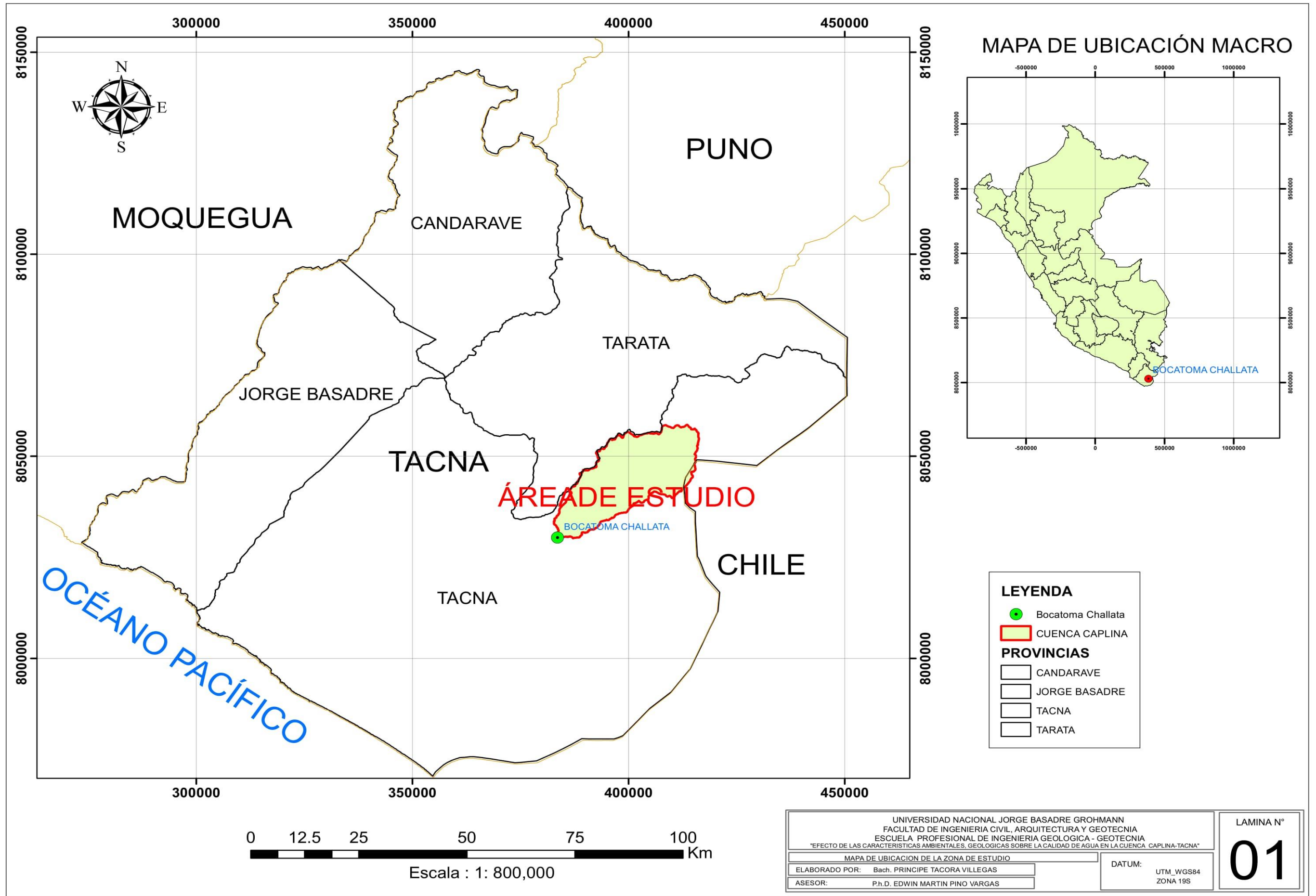


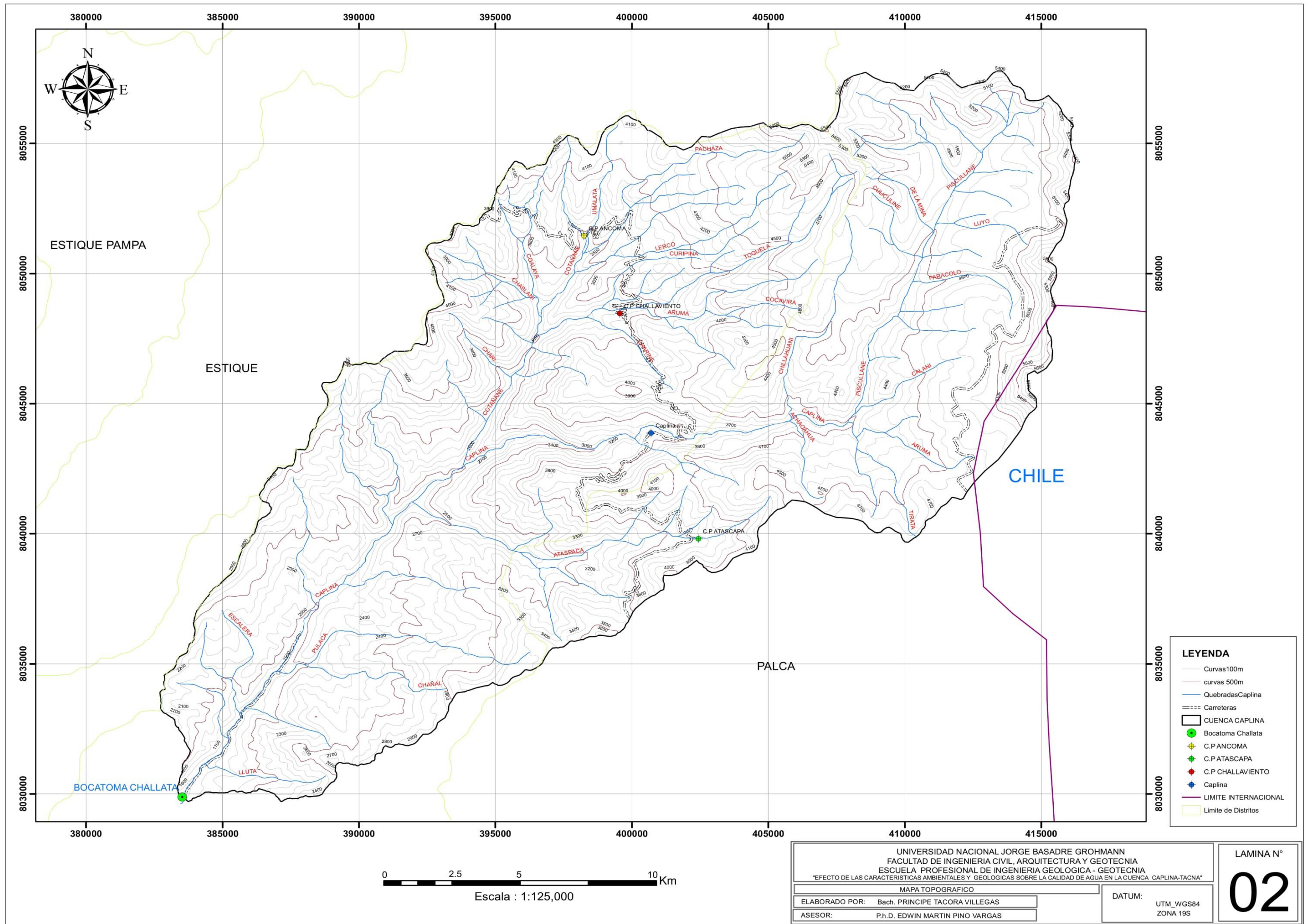
*Figura 52: Bocatoma Challata (punto de control de la zona de estudio)*

---

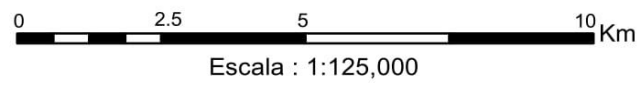
# ANEXO DE MAPAS

---





- LEYENDA**
- Curvas 100m
  - curvas 500m
  - Quebradas Caplina
  - Carreteras
  - CUENCA CAPLINA
  - Bocatoma Challata
  - ⊕ C.P. ANCOMA
  - ⊕ C.P. PATASCAPA
  - ⊕ C.P. CHALLAVIENTO
  - Caplina
  - LIMITE INTERNACIONAL
  - Limite de Distritos



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA - GEOTECNIA  
 "EFECTO DE LAS CARACTERISTICAS AMBIENTALES Y GEOLOGICAS SOBRE LA CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA CAPLINA-TACNA"

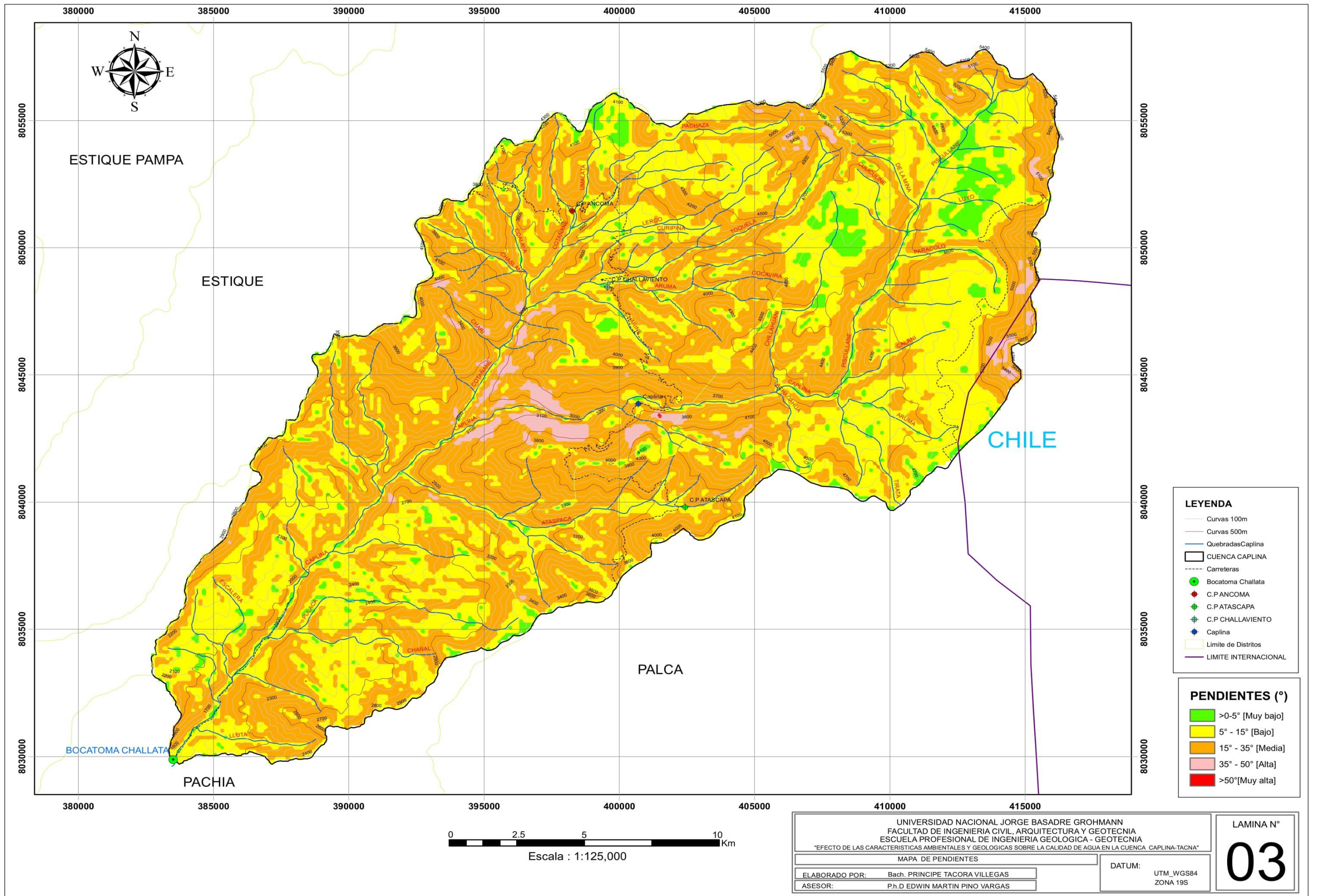
MAPA TOPOGRAFICO

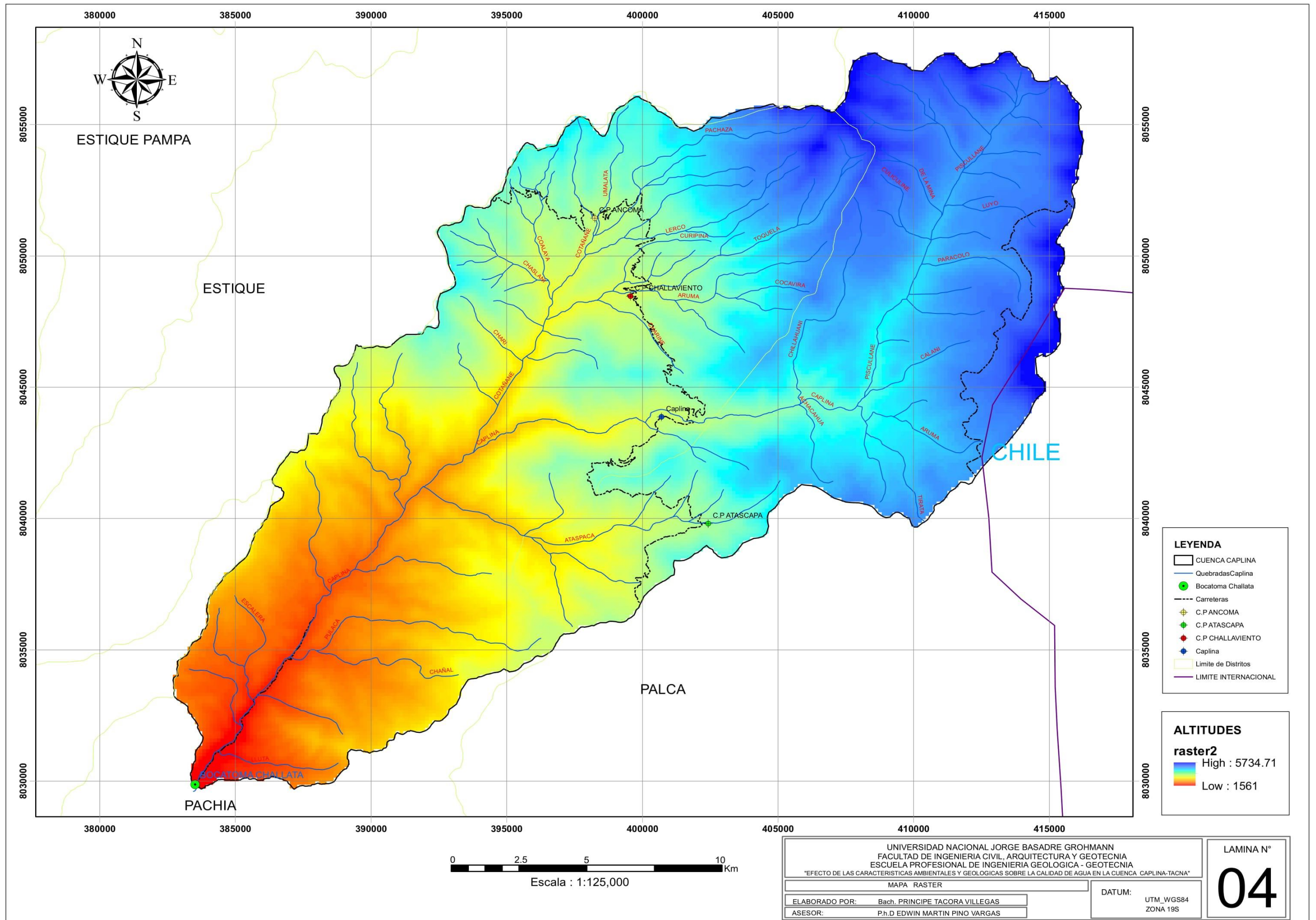
ELABORADO POR: Bach. PRINCIPE TACORA VILLEGAS

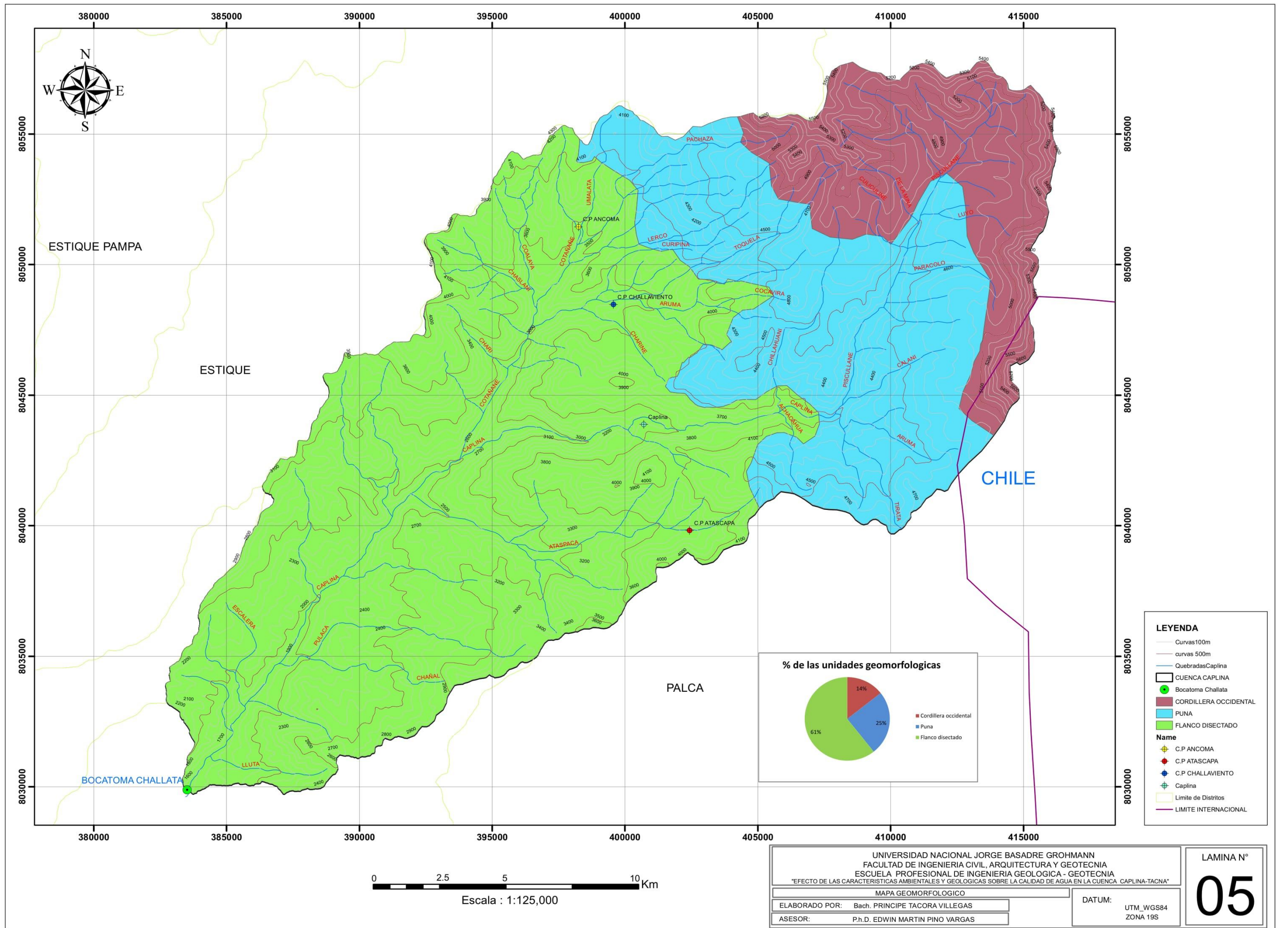
ASESOR: P.h.D. EDWIN MARTIN PINO VARGAS

DATUM: UTM\_WGS84 ZONA 19S

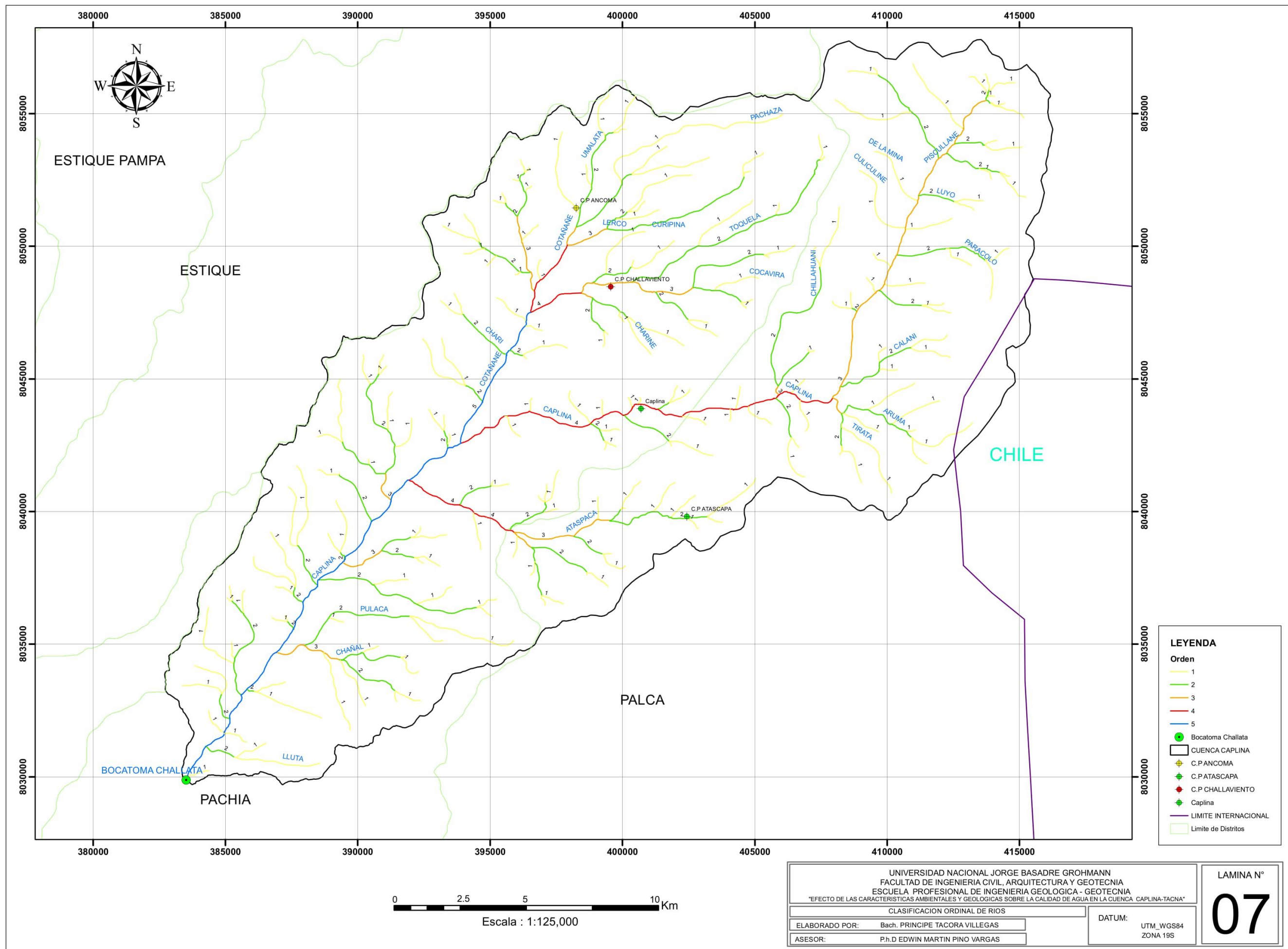
LAMINA N°  
**02**

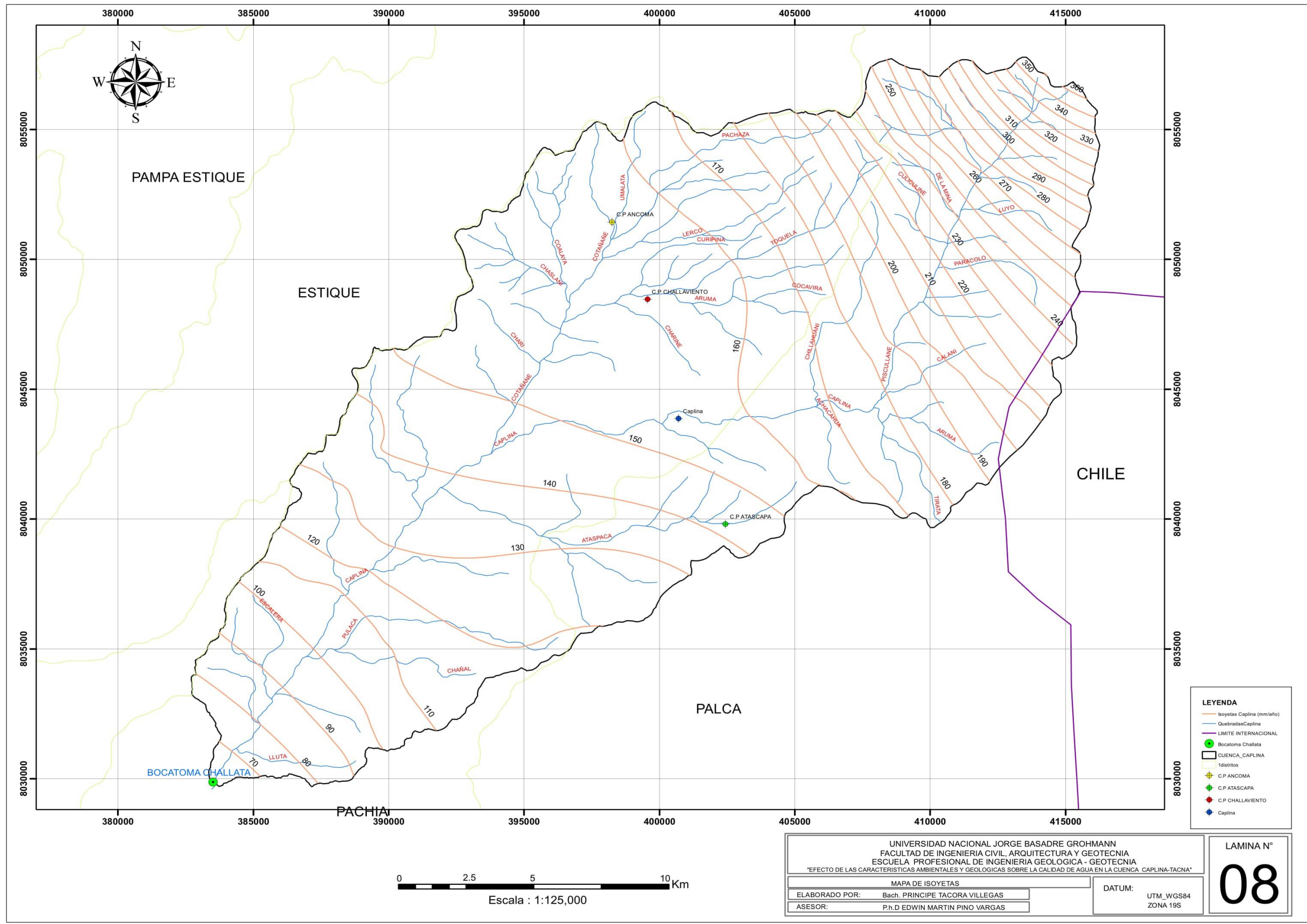




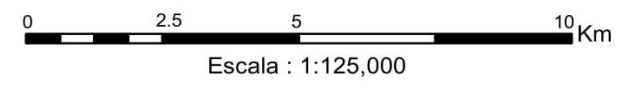








- LEYENDA**
- Isoyetas Caplina (mm/año)
  - Quebradas Caplina
  - LIMITE INTERNACIONAL
  - Bocatoma Challata
  - CUENCA\_CAPLINA
  - 1º distritos
  - C.P. ANCOMA
  - C.P. ATASCAPA
  - C.P. CHALLAVIENTO
  - Caplina



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA - GEOTECNIA  
 "EFECTO DE LAS CARACTERISTICAS AMBIENTALES Y GEOLOGICAS SOBRE LA CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA CAPLINA-TACNA"

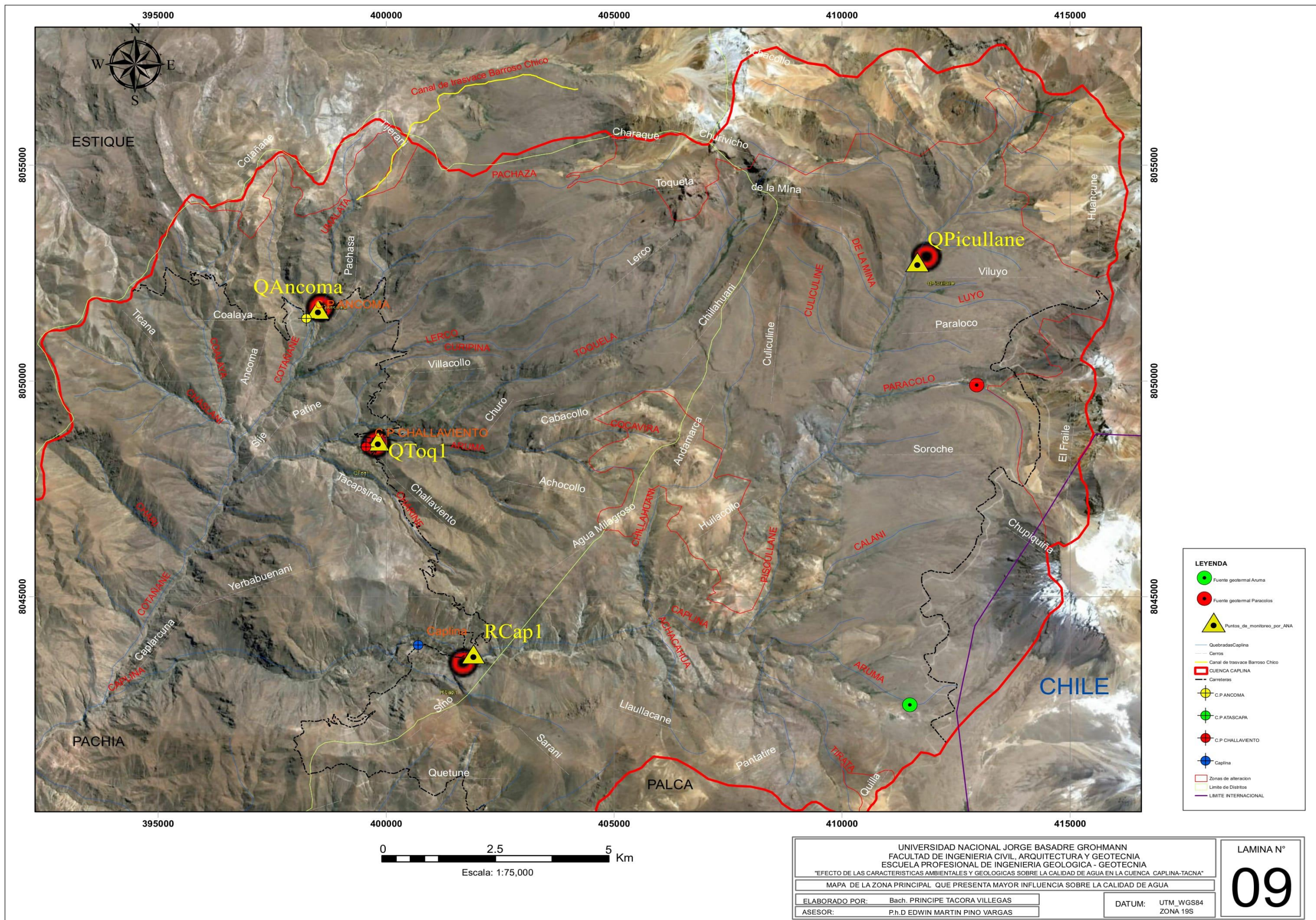
MAPA DE ISOYETAS

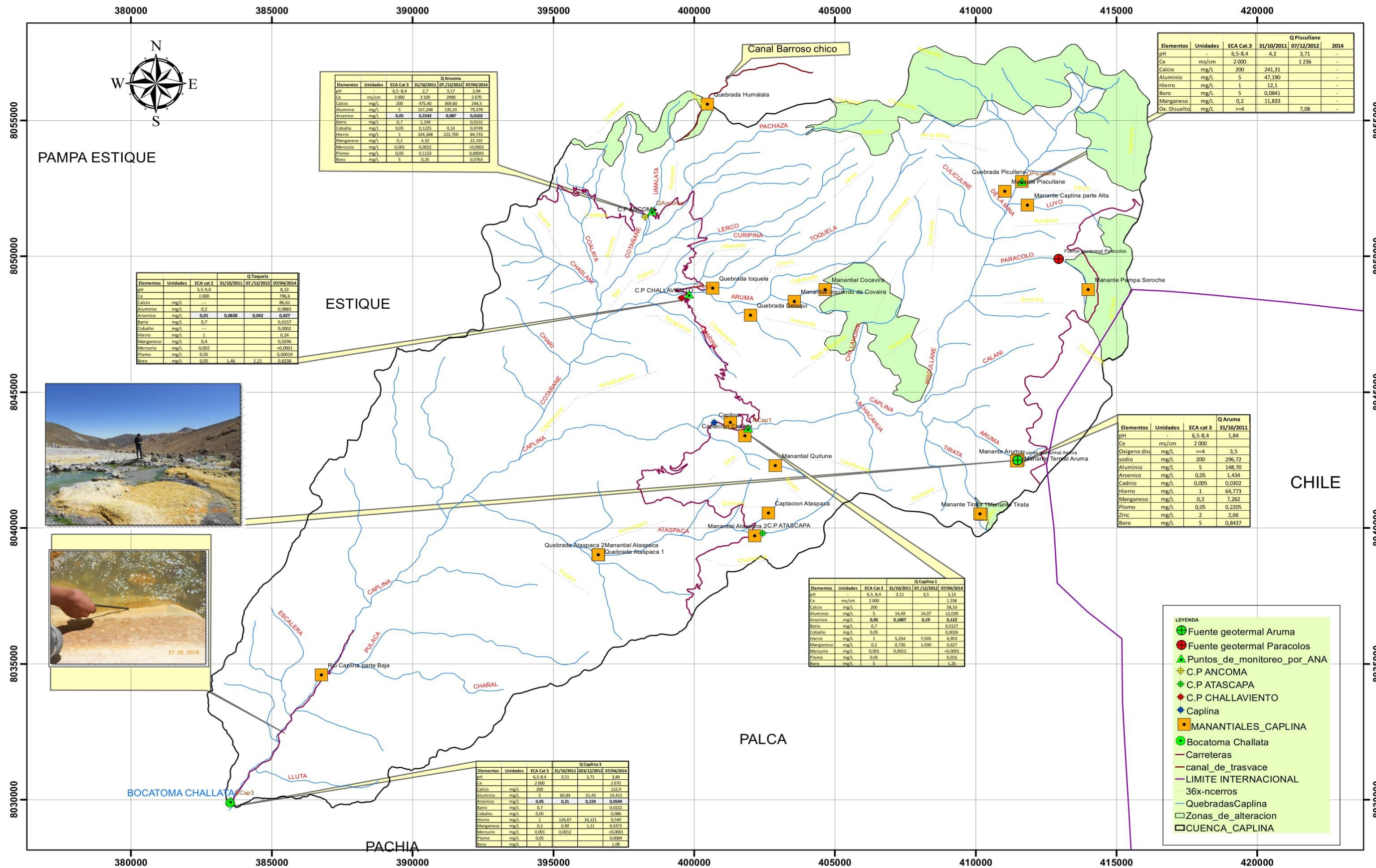
ELABORADO POR: Bach. PRINCIPE TACORA VILLEGAS

ASESOR: P.h.D EDWIN MARTIN PINO VARGAS

DATUM: UTM\_WGS84 ZONA 19S

LAMINA N°  
**08**





Elementos	Unidades	ECA Cat 3	31/10/2011	07/12/2012	07/04/2014
pH	-	6,5-8,4	3,7	3,17	2,94
Ca	ms/cm	2.000	3.100	2990	2.670
Calcio	mg/L	200	475,40	309,60	244,5
Aluminio	mg/L	5	172,248	139,55	79,178
Arsenico	mg/L	0,05	0,2242	0,087	0,0102
Bario	mg/L	0,7	1,194	-	0,0131
Cobalto	mg/L	0,05	0,1225	0,14	0,0749
Hierro	mg/L	1	324,368	222,700	84,733
Manganeso	mg/L	0,2	4,32	-	22,191
Mercurio	mg/L	0,001	0,0022	-	<0,0001
Plomo	mg/L	0,05	0,1124	-	0,0041
Boro	mg/L	5	0,25	-	0,0763

Elementos	Unidades	ECA cat 2	31/10/2011	07/12/2012	07/04/2014
pH	-	5,5-9,0	8,22	-	-
Ca	mg/L	1.000	795,6	-	-
Calcio	mg/L	-	86,61	-	-
Aluminio	mg/L	0,2	0,0883	-	-
Arsenico	mg/L	0,01	0,0638	0,042	0,027
Bario	mg/L	0,7	0,0157	-	-
Cobalto	mg/L	-	0,0002	-	-
Hierro	mg/L	1	0,24	-	-
Manganeso	mg/L	0,4	0,0296	-	-
Mercurio	mg/L	0,002	<0,0001	-	-
Plomo	mg/L	0,05	0,00019	-	-
Boro	mg/L	0,05	1,46	1,21	0,6538

Elementos	Unidades	ECA cat 3	31/10/2011
pH	-	6,5-8,4	1,84
Ca	ms/cm	2.000	-
Oxigeno dis.	mg/L	>=4	3,5
Sodio	mg/L	200	296,72
Aluminio	mg/L	5	148,70
Arsenico	mg/L	0,05	1,434
Cadnio	mg/L	0,005	0,0302
Hierro	mg/L	1	64,773
Manganeso	mg/L	0,2	7,262
Plomo	mg/L	0,05	0,2205
Zinc	mg/L	2	2,66
Boro	mg/L	5	0,8437

Elementos	Unidades	ECA Cat 3	31/10/2011	07/12/2012	07/04/2014
pH	-	6,5-8,4	5,11	3,5	3,13
Ca	ms/cm	2.000	-	-	1,258
Calcio	mg/L	200	-	-	58,33
Aluminio	mg/L	5	14,49	14,07	12,039
Arsenico	mg/L	0,05	0,1887	0,19	0,122
Bario	mg/L	0,7	-	-	0,0127
Cobalto	mg/L	0,05	-	-	0,0026
Hierro	mg/L	1	5,254	7,035	4,953
Manganeso	mg/L	0,2	0,730	1,080	0,637
Mercurio	mg/L	0,001	0,0012	-	<0,0001
Plomo	mg/L	0,05	-	-	0,016
Boro	mg/L	5	-	-	1,25

Elementos	Unidades	ECA Cat 3	31/10/2011	02/12/2012	07/04/2014
pH	-	6,5-8,4	3,51	3,71	3,84
Ca	ms/cm	2.000	-	-	2,670
Calcio	mg/L	200	60,84	21,43	14,415
Aluminio	mg/L	5	0,31	0,159	0,0549
Arsenico	mg/L	0,05	-	-	0,0272
Bario	mg/L	0,7	-	-	0,086
Cobalto	mg/L	0,05	-	-	0,086
Hierro	mg/L	1	124,67	16,121	9,549
Manganeso	mg/L	0,2	0,90	1,11	0,6377
Mercurio	mg/L	0,001	0,0012	-	<0,0001
Plomo	mg/L	0,05	-	-	0,0069
Boro	mg/L	5	-	-	1,08

**LEYENDA**

- Fuente geotermal Aruma
- Fuente geotermal Paracolos
- ▲ Puntos\_de\_monitoreo\_por\_ANA
- ◆ C.P ANCOMA
- ◆ C.P ATASCAPA
- ◆ C.P CHALLAVIENTO
- ◆ Caplina
- MANANTIALES\_CAPLINA
- Bocatoma Challata
- Carreteras
- canal\_de\_trasvace
- LIMITE INTERNACIONAL
- 36x-ncerros
- QuebradasCaplina
- Zonas\_de\_alteracion
- CUENCA\_CAPLINA

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA - GEOTECNIA  
"EFECTO DE LAS CARACTERISTICAS AMBIENTALES Y GEOLOGICAS SOBRE LA CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA CAPLINA-TACNA"

MAPA DE UBICACION DE FUENTES GEOTERMALES, CANAL BARROSO CHICO Y ZONAS DE ALTERACION

ELABORADO POR: Bach. PRINCIPE TACORA VILLEGAS

ASESOR: P.h.D EDWIN MARTIN PINO VARGAS

DATUM: UTM\_WGS84 ZONA 19S

LAMINA N°  
**10**