



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
FACULTAD DE TECNOLOGIA y CIENCIAS APLICADAS**



SEMINARIO

GEOLOGIA E HIDROLOGIA DE LA CUENCA DEL RIO TRAPICHE

**Dpto. Antofagasta de la Sierra, Provincia de
Catamarca**

Alumna: Jorgelina Gisele Segovia - MU N°455

Directora: Lic. Miriam Ysabel Cisternas

AÑO 2017



GEOLOGÍA E HIDROLOGIA DE LA CUENCA DEL RÍO TRAPICHE
Dpto. Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca



INDICE

RESUMEN

CAPITULO I

Introducción.....	5
I.1 Ubicación del área de estudio y vías de accesos.....	6
I.2 Objetivo General.....	8
I.3 Objetivos específicos.....	8
I.4 Fundamentación.....	8
I.5 Hipótesis.....	9
I.6 Metodología.....	9

CAPITULO II

II Características Geográficas	12
II 1 Hidrografía de la región.....	12
II 2 Hidrografía de la Cuenca Trapiche	12
II.3.Clima	13
II.3.1.Precipitación	15
II.3.2 Temperatura	17
II 4 Suelos.....	18
II.5 Vegetación.....	19
II.6 Fauna	20
II.7 Demografía	21

CAPITULO III

III.1 Geología Regional	23
III.1.1 Estructura	25
III.2 Geología Local.....	26
III.2.1 Estratigrafía	26
III.2.1.1 Formación Pachamama	26
III.2.1.2 Formación Falda Ciénega.....	33
III.2.1.3 Formación Tebenquicho.	37
III.2.1.4 Complejo Volcanico Cerro Galán	41
III.2.1.5 Formación Incahuasi.....	43
III.2.1.6 Depósitos Aluviales y Coluviales.....	44



CAPITULO IV

IV.1 Caracterización morfométrica	46
IV.1.1. Parámetros relacionados con la geometría de la Cuenca	46
IV.1.2 Parámetros relacionados con el relieve	49
IV.1.3 Parámetros de la red de Drenaje	51
IV.2 Morfometría de la Subcuenca Peñas Blancas	55
IV 2.1 Parámetros de forma	55
IV 2.2 Características según las altitudes.	56
IV 2.3 Parámetros de la red Hidrónica	59
IV 3 Morfometría de la Subcuenca Trapiche	60
IV 3.1 Parámetros de forma	60
IV 3.2 Características según las altitudes.	62
IV 3.3 Parámetros de la red Hidrónica	65

CAPITULO V

V.1 Caracterización hidroquímica	69
V 1 1 Datos de caudales e hidroquímicos	69
V.1.2 Estaciones de monitoreo	70
V.1.3 Parámetros hidroquímicos seleccionados	71
V.1.4 Control de calidad de los análisis hidroquímicos	71
V 2 Estación Río Peñas Blancas	76
V 2.1 Caudal- datos de la SEM	76
V 2.2 Composición de agua	77
V 3 Estación Río Trapiche	83
V 3.1 Caudal	83
V 3.2 Composición de agua	85
V 4 Evaluación de iones minoritarios y trazas	92

CAPITULO VI

VI.1 Conclusiones	96
VI 1.1. Geología	96
VI.1.2. Morfometría	97
VI.1.3. Hidroquímica	98
VI.2. Recomendaciones	99

BIBLIOGRAFÍA.....	100
--------------------------	------------



FIGURAS

Figura N°1 Localización del área y vías de acceso	7
Figura N°2 Clasificación climáticas de la provincia de Catamarca	13
Figura N°3 Clasificación Bioambiental-Norma IRAM 11603/93	14
Figura N°4 Variación anual Precipitación	16
Figura N°5 Precipitación promedio mensual	16
Figura N°5 Precipitación promedio mensual	16
Figura N°6 Variación de Temperatura.....	18
Figura N°7 Fractura Transpuneña	26
Figura.N°8 Modelo de curvas hipsométricas.....	49
Figura N°9 Clasificación de cursos fluviales Strahler (1957).	52
Figura N°10 Tipo de diseños de drenaje según Way (1978	54
Figura N°11 Curva hipsométrica de la Subcuenca Peñas Blancas	57
Figura N°12 Mapa de pendientes Subcuenca Peñas Blancas	57
Figura N°13 Subcuenca Peñas Blancas con su cauce principal	58
Figura N°14 Perfil del cauce principal Rio Peñas Blancas	59
Figura N°15 Estadística de órdenes Ríos Subcuenca Rio Peñas Blancas.	60
Figura N°16 Curva Hipsométrica Cuenca Trapiche.....	62
Figura N°17 Mapa de pendientes para la Subcuenca Trapiche	63
Figura N°18 Subcuenca Trapiche con su cauce principal	64
Figura N°19 Perfil del cauce principal Rio Trapiche	64
Figura N°20 Estadística de órdenes de Ríos SubcuencaTrapiche	65
Figura N°21 Mapa de ubicación de los puntos analizados	70
Figura N°22 Diagrama de Piper para la composición de las agua	74
Figura N°23 Diagramas de Stiff	75
Figura N°24. Caudales del Rio Peñas Blancas	77
Figura N°25 Conductividad Eléctrica Campo vs. Laboratorio-SEM	78
Figura N°26 Estación Rio Peñas Blancas- pH (Laboratorio vs Campo) SEM.....	78
Figura N°27.Cationes mayoritarios del Rio Peñas Blancas	79
Figura N°28.Aniones mayoritarios del Rio Peñas Blancas	80
Figura N°29 Diagrama de Stiff Rio Peñas Blancas	80
Figura N°30 Representación Stiff- muestras Rio Peñas Blancas	81
Figura N°31 Clasificación geoquímica de Piper Rio Peñas Blancas.....	82
Figura N°32 Caudales del Rio Trapiche.....	84
Figura N°33 Caudales instantáneos Rio Trapiche.....	85
Figura N°34 Conductividad Eléctrica Rio Trapiche Campo vs Laboratorio	86
Figura N°35 pH- Rio Trapiche Campo vs Laboratorio	87
Figura N°36 Cationes mayoritarios del Rio Trapiche.....	88
Figura N°37 Aniones mayoritarios del Rio Trapiche.....	88
Figura N°38 Representación de los iones del Rio Trapiche	89
Figura N°39 Representación de Stiff – Rio Trapiche.....	90
Figura N°40.Clasificación geoquímica de Piper Rio Peñas.	91
Figura N°41.Representación de los elementos minoritarios.....	94



FOTOGRAFÍAS

Foto N°1.Cortes delgados de Formaciones de la Cuenca.....	10
Foto N°2.Cubierta vegetal del Rio Trapiche	20
Foto N°3.Especie Vegetal.....	20
Foto N°4.Especie Mamífero- Puma andino	21
Foto N°5 Afloramiento Formación Pachamama	28
Foto N°6 Muestra macroscópica Esquisto	28
Foto N°7.Microfotografía esquisto.....	29
Foto N°8 Muestra del Macizo Rocoso Pachamama esquisto.....	30
Foto N°9 Formación Pachamama Dique Diorítico	31
Foto N°10 Microfotografía Granito	32
Foto N°11 Formación Pachamama.....	33
Foto.N°12 Microfotografía de una protomilonita	33
Foto N°13 Formación Falda Ciénega.....	34
Foto N°14 Microfotografía: Muestra de roca Pelítica	35
Foto N°15 Microfotografía Roca metamórfica	35
Foto N°16 Afloramiento de la Formación Falda Ciénega	36
Foto N°17 Microfotografía Pelitas	37
Foto N°18.Ignimbritas de la Formación Tebenquicho	38
Foto N°19 Muestra macroscópica de una Reoignimbritas.....	38
Foto N°20.Microfotografías de Ignimbrita.....	39
Foto N°21 Muestra macroscópica Dacita.....	39
Foto N°22 Formación Tebequincho, Ignimbritas al margen Oeste	40
Foto N°23 Muestra macroscópica - Roca Dacítica.....	40
Foto N°24 Muestra microscópica -Roca Dacítica	41
Foto N°25 Muestra de Vulcanita	42
Foto N°26 Muestra microscópica Roca Volcánica.....	42
Foto N°27 Formación Incahuasi.....	43
Foto N°28 Panorámica de terrenos Cuaternarios.....	44



TABLAS

Tabla N°1 Datos de precipitaciones Estación Campamento Fénix.....	15
Tabla N°2 Datos de la temperatura	17
Tabla N°3 Cuatro fases magmáticas principales.....	24
Tabla N°4 Muestras de la Formación Pachamama	27
Tabla N°5. Clasificación de Cuencas- Areas.....	46
Tabla N°6. Clases de valores de forma.....	47
Tabla N°7 Clases de cuencas por su alargamiento.....	47
Tabla N°8. Valores de índice de compacidad.....	48
Tabla N°9 Pendiente Media.	50
Tabla N°10 Rango de pendientes	50
Tabla N°11 Clasificación de la pendiente.....	51
Tabla N°12 Rangos de coeficiente de masividad De Martonne.....	51
Tabla N°13 Clasificación de ordenes de corrientes fluviales.	52
Tabla N°14 Clase de densidades de drenajes	53
Tabla N°15 Parámetros principales de la Subcuenca Peñas Blancas.....	55
Tabla N°16 Índices de forma Subcuenca Peñas Blancas	56
Tabla N°17 Datos procesados para la curva hipsométrica Rio Peñas Blancas	56
Tabla N°18. Parámetros de la Red Hídrica-Peñas Blancas.	59
Tabla N°19 Parámetros principales de la Subcuenca Trapiche.....	61
Tabla N°20 Índices de forma Subcuenca Trapiche	61
Tabla N°21 Datos procesados para la curva hipsométrica Subcuenca Trapiche.....	62
Tabla N°22. Parámetros de la Red Hídrica.-Subcuenca Trapiche	65
Tabla N°23 Parámetros determinados	66
Tabla N°24 Estaciones de monitoreo dentro de la Cuenca	70
Tabla N°25 Error admisible en el balance de la electroneutralidad.	72
Tabla N°26 Caudal para la Estación Rio Peñas Blancas.	76
Tabla N°27 Datos de campo estación Rio Peñas Blancas..	77
Tabla N°28 Caudales obtenidos para el Rio Trapiche.....	83
Tabla N°29 Datos de caudales Estación Trapiche.	84
Tabla N°30 Datos de campo Estación Rio Trapiche	85
Tabla N°31 Niveles guías de Calidad de Aguas en Argentina.....	92
Tabla N°32 Datos de la SEM –para la Estación Peñas Blancas	93
Tabla N°33 Datos de la SEM –para la Estación Rio Trapiche.....	93
Tabla N°34 Concentraciones de los elementos minoritarios	94
Tabla N°35 Unidades estratigráficas de la Cuenca.....	96

ANEXOS

Anexo I Mapa Geológico de la Cuenca del Rio Trapiche.

Anexo II Mapa Hidrológico de la Subcuenca Peñas Blancas

Anexo III. Mapa Hidrológico de la Subcuenca Trapiche.

Anexo IV. Datos de cationes y aniones mayoritarios Subcuenca Peñas Blancas.

Anexo V. Datos de cationes y aniones mayoritarios Subcuenca Trapiche.

Anexo VI. Datos de elementos minoritarios Subcuenca Peñas Blancas y Subcuenca Trapiche.



GEOLOGÍA E HIDROLOGIA DE LA CUENCA DEL RÍO TRAPICHE Dpto. Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca



AGRADECIMIENTOS

A él por permitirme llegar a este momento de mi profesión, por darme la fuerza y fe para superar obstáculos a lo largo de mi camino.

A mis padres por el apoyo, confianza y valores inculcados a lo largo de mi vida.

Una profunda gratitud a mi directora por su tiempo, apoyo y conocimiento otorgado en el desarrollo de mi formación profesional.

A mis sobrinos, el motor de mis días

A mis hermanos y amigos por cada momento compartido.





GEOLOGÍA E HIDROLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO TRAPICHE Dpto. Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca



RESUMEN

El área de estudio corresponde a la cuenca del río Trapiche, localizada en el sector S del Salar del Hombre Muerto, departamento Antofagasta de la Sierra, provincia de Catamarca. Se ubica dentro de la Provincia geológica de la Puna Austral, a más de 4000 m.s.n.m.

Tuvo como objetivo realizar la caracterización desde el punto de vista geológico e hidrológico, de la cuenca del Río Trapiche, mediante el uso de técnicas de teledetección y análisis de parámetros morfométricos, a escala 1:100.000, que sirva como base de investigación del territorio a diferentes medios público y privados.

El área de estudio se caracteriza por presentar peneplanicies onduladas, de naturaleza predominantemente volcánica, en las que se destaca la formación de cordones alineados acompañados de aventamiento centrípeto. Frecuentemente, estas características dan lugar al desarrollo de salares típicos en cuencas cerradas, que constituyen el centro de recepción de las aguas superficiales y subterráneas.

Los datos meteorológicos, hidroquímicos y de caudal fueron procesados y analizados mediante tratamiento estadístico – en una hoja de cálculo con programa Excel 2013- a efectos de analizar valores promedios y tendencias de los principales parámetros. Se elaboraron diagramas hidroquímicos, mediante software DIAGRAMMES, que permiten visualizar gráficamente la composición química dominante de las aguas de la cuenca.

Para la elaboración de cartografía hidrológica y geológica se utilizó la carta de imagen satelital 2566 III “Cachi”, editada por el Instituto Geográfico Nacional. La interpretación se apoyó en las fotografías satelitales de alta resolución espacial y de fecha más reciente (2016), disponibles en el website Google Earth. Se empleó el programa ARCGIS 10.3. Fue verificada y controlada mediante relevamientos en terreno, que incluyó la descripción de las características geológicas macroscópicas más relevantes y muestreo de las principales unidades litológicas, aflorantes en el área, para su análisis microscópico, llevado a cabo en el laboratorio de Petrología de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca.

El cálculo y análisis de los parámetros morfométricos se realizó sobre la base del estudio de los materiales cartográficos disponibles (carta de imagen satelital, carta topográfica) y el software ARCGIS antes mencionado.

La geología de la cuenca Trapiche se encuentra integrada por rocas metamórficas de bajo, medio y alto grado, perteneciente a la formación Pachamama de edad Neoproterozoica, seguida por la formación Falda Ciénega (Ordovícico), conformada por pelitas y psamitas de origen marino, consolidadas y metamorfitas de muy bajo a bajo grado. El Cenozoico del área está representado por la formación Tebenquicho de edad Miocena constituida por diferentes materiales volcánicos (reognimbritas y dacitas). Continúa la secuencia estratigráfica el Complejo Volcánico Cerro Galán del Plioceno, formado por ignimbritas y vulcanitas hialopilitas y como representante del Cuaternario la formación Incahuasi (Pleistoceno) integrada por basaltos, hasta concluir con depósitos aluviales y coluviales del Holoceno.

La cuenca del río Trapiche se dividió en dos Subcuencas: Peñas Blancas y Trapiche, a los efectos de su caracterización morfométrica teniendo en cuenta que son los dos cursos de agua, principales que la drenan. Ambas subcuencas son alargadas en sentido de su cauce principal, el cual es alimentado por tributarios de corto recorrido y bajo poder de erosión dentro de un relieve de fuerte pendientes, constituido por metamorfitas y vulcanitas y escasas sedimentitas, sumada a la baja cubierta vegetativa y las escasas precipitaciones de la región. Predomina un diseño de red de drenaje dendrítico en las nacientes de las subcuencas para transformarse en subparalelo en el centro y zona de desembocadura.



GEOLOGÍA E HIDROLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO TRAPICHE Dpto. Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca



Como una primera aproximación, debido a los escasos datos disponibles, se determinó que el caudal promedio del Río Peñas Blancas es de 60,4 m³/h. en base a 6 registros puntuales y del Río Trapiche es de 380,8 m³/h sobre 10 registros puntuales. Los máximos caudales corresponden a los meses de Junio a Septiembre.

El agua del Río Peñas Blancas es del tipo Bicarbonatada Sódica/Cálcica de baja conductividad (218 uS/cm), alcalina con un valor de pH promedio de 8. El agua del Río Trapiche posee características químicas muy similares, es de tipo Bicarbonatada Sódica con una conductividad promedio ligeramente mayor (274,5 uS/cm).

En la subcuenca Peñas Blancas las concentraciones mayores corresponden al Hierro y Aluminio sobre el Boro, Arsénico y Bario (Fe>Al>B>As> Ba) a diferencia de la subcuenca Río Trapiche en la cual el Boro y Arsénico muestra contenidos más elevados, seguido por Boro, Aluminio y Hierro (Ba>As>B>Al> Fe).

El contenido de Boro y Arsénico exceden ligeramente los niveles guía de calidad de agua establecido por el Código Alimentario Argentino para agua potable y la normativa complementaria de la ley 25.585 "De Protección Ambiental para la Actividad Minera"

ABSTRACT

The study area corresponds the Trapiche river basin, located in the south sector of the Salar del Hombre Muerto, Department Antofagasta de la Sierra Catamarca province. It is located within the geological province of the Southern Puna, to more than 4000 meters above sea level.

The objective was to carry out the geological and hydrological characterization of the Trapiche river basin through the use of remote sensing techniques and analysis of morphometric parameters, at a scale of 1: 100,000, which serves as a research base for the territory different public and private media.

The area of study is characterized by peneplanicies wavy, predominantly volcanic in nature, emphasizing the training of beads aligned accompanied by winnowing centripetal. Often, these features give rise to the development of salares typical in closed basins, which are at the center of reception of surface water and groundwater.

The meteorological, hydrochemical and flow data were processed and analyzed by statistical treatment - in a spreadsheet with Excel 2013 program - in order to analyze average values and trends of the main parameters. Hydrochemical diagrams were elaborated, using DIAGRAMMES software, which allow graphical visualization of the dominant chemical composition of waters of the basin.

For the elaboration of hydrological and geological cartography the satellite image letter 2566 III "Cachi" was used, edited by the National Geographic Institute. The interpretation was based on the satellite photos of high resolution spatial and of more recent date (2016), available in the Google Earth website. The ARCGIS 10.3 program was used. It was verified and controlled by surveys in the field, which included the description of the most relevant geological characteristics and sampling of the main lithological units, outcrops in the area, for their microscopic analysis, carried out in the Petrology Laboratory of the Faculty of Technology and Applied Sciences of the National University of Catamarca.

The calculation and analysis of the morphometric parameters was carried out on the basis of the study of cartographic materials available (letter of satellite image, topographic letter) and the ARCGIS software mentioned above.



GEOLOGÍA E HIDROLOGIA DE LA CUENCA DEL RÍO TRAPICHE **Dpto. Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca**



The geology of the Trapiche basin is composed of metamorphic rocks of low, medium and high grade, belonging to the Pachamama formation of Neoproterozoic age, followed by the formation Falda Ciénega (Ordovícico), formed by pelitas and psamitas of marine origin, consolidated and metamorphites from very low to low grade.

The Cenozoic of the area is represented by the Tebenquicho formation of Miocene age constituted by different volcanic materials (reignimbritas and Dacitas). The Cerro Galán Volcanic Complex of the Pliocene, formed by ignimbrites and hyalopilite volcanites, and as a representative of the Quaternary, the Incahuasi (Pleistocene) formation composed of basalts, until concluding with alluvial and colloidal deposits of the Holocene.

The Trapiche river basin was divided into two sub-basins: Peñas Blancas and Trapiche, for the purposes of its morphometric characterization considering that these are two principal watercourse. Both sub-basins are elongated in the direction of their main channel, which is fed by tributaries of short distance and low power of erosion within a relief of strong slopes, constituted by metamorfitas and vulcanitas and few sedimentitas, added to the low vegetative cover and the few rainfall in the region. A dendritic drainage network predominates in the sources of the sub-basins to become sub-sand in the center and mouth area.

As a first approximation, due to the limited data available, it was determined that the average flow of the Peñas Blancas River is $60.4 \text{ m}^3 / \text{h}$ based on six specific registers. And the Rio Trapiche is $380.8 \text{ m}^3 / \text{h}$ on ten point records The maximum flows correspond to the months of June to September.

The Peñas Blancas River water is of the Sodium / Calcic Bicarbonate type of low conductivity ($218 \text{ uS} / \text{cm}$), alkaline with an average pH value of 8. The water of the Rio Trapiche has very similar chemical characteristics, it is of the Sodium Bicarbonate type with a slightly higher average conductivity ($274.5 \text{ uS} / \text{cm}$).

In the Peñas Blancas sub-basin, the highest concentrations correspond to Iron and Aluminum over Boron, Arsenic and Barium ($\text{Fe} > \text{Al} > \text{B} > \text{As} > \text{Ba}$) unlike the Rio Trapiche subbasin in which Boron and Arsenic show higher contents, Followed by Boron, Aluminum and Iron ($\text{Ba} > \text{As} > \text{B} > \text{Al} > \text{Fe}$).

The content of Boron and Arsenic slightly exceeds the guide levels of water quality established by the Argentine Food Code for drinking water and the complementary legislation of Law 25,585 "Environmental Protection for Mining Activity"



CAPITULO I





INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se ejecutó a fin de cumplimentar con lo estipulado en el plan de estudio de la carrera Licenciatura en Geología, para acceder al título de Licenciada en Geología de la Universidad Nacional de Catamarca.

Ha sido elaborado de acuerdo a la Ordenanza N° 002/2015 del Consejo Directivo de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, de fecha 12/06/2015, que estableció la reglamentación de Seminario o Trabajo Final para la carrera de Licenciatura en Geología.

Su objetivo ha sido caracterizar la cuenca hídrica del río Trapiche, ubicada en el sector N de la provincia de Catamarca, desde los puntos de vista geológico, hidrológico e hidroquímico.

El nivel de base de esta cuenca es el Salar del Hombre Muerto, cuya salmuera es explotada por la empresa Minera del Altiplano S.A.- FMC, propietaria del Proyecto Fénix, para producir carbonato de litio y el cloruro de litio, desde el año 1997.

La zona está caracterizada por un ambiente de vega propio de la región puneña. Los afluentes de esta cuenca confluyen, alimentando el cono aluvial sobre el que se encuentran ubicadas las instalaciones del proyecto Fénix, desarrollándose a lo largo de 11 Km con dirección noreste hacia el Salar del Hombre Muerto.

El agua subterránea como superficial provenientes de la cuenca del río Trapiche, es aprovechada por la mencionada empresa minera, a través de una serie de pozos subterráneos, que en conjunto con la represa artificial Trapiche (terraplén de 140 metros) a la salida del río homónimo, son las fuentes que proveen de agua al campamento habitacional y a la planta de proceso del proyecto que funciona los 365 días del año.

Entre los estudios existentes del área se destaca la carta geológica 2566 III Cachi (Hongn, F y Seggiaro, R. 2001) a escala 1:250.000, editada por el Servicio Geológico Minero Nacional (SEGEMAR).

El aporte de las investigaciones realizadas por la empresa Minera del Altiplano S.A.- FMC, a través de las empresas consultoras, son centradas en el cono aluvial del río Trapiche sin datos de la alta cuenca, obteniendo de estas los antecedentes climáticos y datos de caudal del río Trapiche.

La fuente de información del organismo de control provincial -Secretaría de Estado de Minería (SEM), a través del Dirección de DiPGAM (Dirección Provincial de Gestión Ambiental) posee monitoreos trimestrales desde 2013, generando una base de datos de la composición fisicoquímica y de caudales del río Peñas Blancas y Río Trapiche.

Gran parte de las tareas realizadas se basaron en el uso y aplicación de las herramientas que brinda actualmente la teledetección. Las imágenes satelitales disponibles, hoy en día y accesible al público en general, en forma gratuita o a bajo costo, permitieron realizar diversos análisis con gran precisión y disminuyeron en cierto grado las necesidades de repetir los controles de campo, lo que redujo notablemente los costos de la investigación.

A partir de la información bibliográfica disponible, herramientas y del conocimiento logrado en los diferentes relevamientos de campo y gabinete, se seleccionaron las unidades representativas de la cuenca con la finalidad de generar un mapa temático que permita confirmar las características litológicas e hidrológicas que poseen su desarrollo dentro del área de estudio.



GEOLOGÍA E HIDROLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO TRAPICHE **Dpto. Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca**



Este trabajo se ha estructurado en diferentes capítulos, que involucran Introducción al contenido de la investigación (hipótesis, objetivos, ubicación, y metodología), seguido con los capítulos de resultados (geología, morfometría e hidroquímica), cerrando el presente informe con las conclusiones en donde se expresa el fruto de los resultados obtenidos.

Aporta información para un mejor conocimiento de estos aspectos, que puede contribuir al desarrollo de actividades productivas en la región, además de ser un artículo bibliográfico público.

I.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y VÍAS DE ACCESO

El área de estudio corresponde a la cuenca del río Trapiche, localizada en el sector S del Salar del Hombre Muerto, Departamento Antofagasta de la Sierra, provincia de Catamarca. (Figura N°1).

La zona de estudio está integrada por dos Subcuencas, drenadas por los afluentes:

- El río Trapiche nace en las estribaciones de la Sierra Nevado de Concha Argolla, con el nombre de río Vicuña Muerta y circula con dirección predominante SE –NO.
- El río Peñas Blancas, ubicado en el sector SO del área, nace en las proximidades del sitio denominado Campo Morado y circula en dirección S-N hasta confluir con el río Trapiche en la zona de desembocadura de la cuenca, manteniendo esta denominación aguas abajo.

A la salida del sistema montañoso el río Trapiche, forma un extenso cono aluvial, que se conecta con la amplia depresión salina Salar de Hombre Muerto.

Sus aportes más importantes provienen de las precipitaciones líquidas y del deshielo que se producen en la región.

El Departamento Antofagasta de la Sierra, se encuentra aproximadamente a 680 Km al NO de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca, accediendo a partir de la mencionada ciudad por la RN N° 38, con dirección hacia el S.

Circulando por la localidad de Chumbicha (Dpto. Capayán) se empalma con la RN N° 60 que atraviesa la quebrada de la Cébila, pasando por las localidades de Villa Mazan, Aimogasta y Alpasinche hasta empalmar con la RN N° 40, atravesando por localidades de Londres, Belén, San Fernando, culminando en El Eje.

A partir de este lugar, se continúa en dirección O por la RP N° 36 hasta la localidad de Puerta de Corral Quemado, donde se conecta con la RP N° 43, para continuar por ésta, hasta la localidad de Antofagasta de la Sierra. Transitando por la ruta mencionada, 100 Km con dirección hacia el N, se encuentra el ingreso al campamento de Minera del Altiplano S.A.- FMC.

El acceso al área de estudio se realiza, partiendo de las instalaciones de la empresa, a través de huellas mineras, utilizando vehículos doble tracción en algunos sectores, y en otros se lo efectúa caminando.

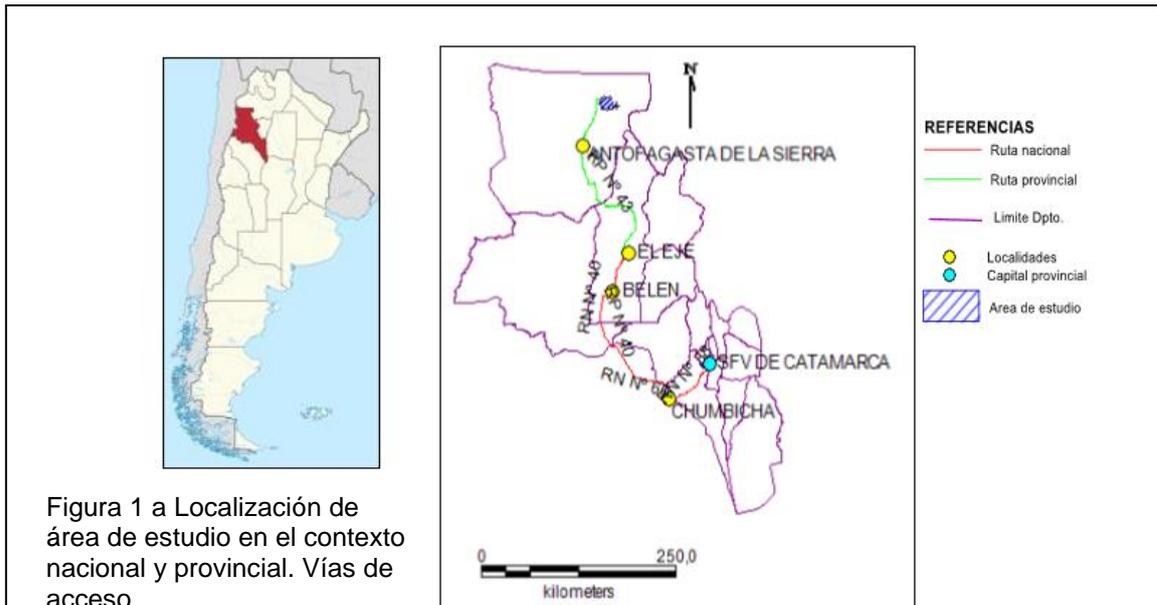


Figura 1 a Localización de área de estudio en el contexto nacional y provincial. Vías de acceso

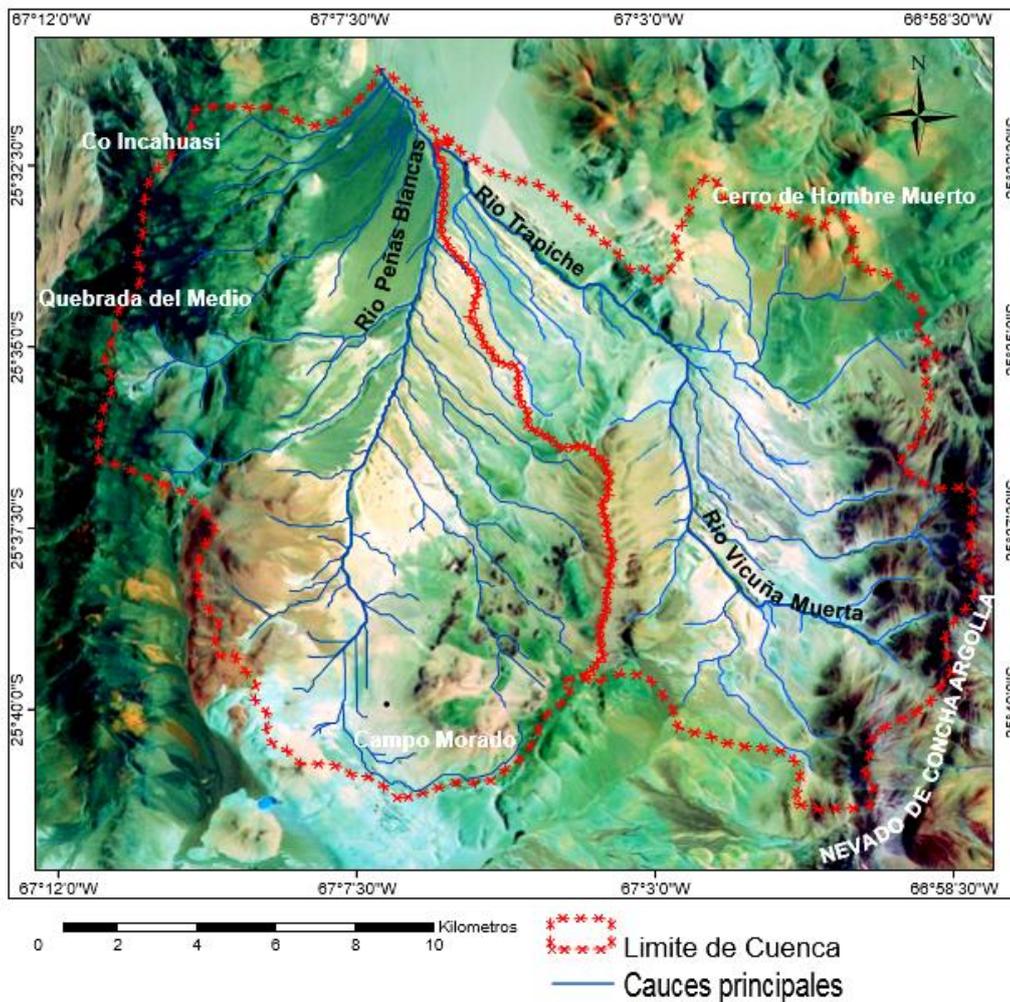


Figura N° 1b: Localización del área de estudio sobre carta de imagen satelital 2566 III de IGN



I.2 OBJETIVO GENERAL

- Caracterizar desde el punto de vista geológico e hidrológico, el tramo medio y superior de la cuenca del Río Trapiche, Dpto. Antofagasta de la Sierra, provincia de Catamarca, mediante el uso de técnicas de teledetección y análisis de parámetros morfométricos, generando cartografía a escala 1:100.000, a fin de aportar información que sea de utilidad, para el conocimiento de los recursos hídricos de la provincia y para la empresa Minera del Altiplano S.A.-FMC.

I.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Efectuar recopilación y análisis crítico de antecedentes del área de estudio.
- Generar cartografía geológica e hidrológica del área de estudio a partir de análisis visual de la carta de imagen satelital 2566 III del Instituto Geográfico Nacional e imágenes satelitales disponibles en Google Earth, a escala 1:100.000, mediante el uso de programas de diseño gráfico y de tipo GIS.
- Controlar en terreno la cartografía elaborada y realizar la correspondiente descripción macroscópica de las unidades mapeadas.
- Desarrollar el muestreo de las principales rocas de las unidades litológicas.
- Confeccionar cortes delgados de rocas constituyentes de las principales unidades aflorantes y su correspondiente análisis petrográfico.
- Realizar el análisis de las principales variables meteorológicas del área, en base a los datos de la estación meteorológica de la empresa Minera del Altiplano S.A.-FMC.
- Analizar parámetros de forma, relieve y drenaje de la cuenca en estudio (superficie, perímetro, forma, número de órdenes de ríos, diseño y densidad de drenaje, coeficiente de rugosidad, coeficiente de compacidad) a fin de determinar sus características morfométricas principales.
- Caracterizar los principales cursos de agua del área, desde el punto de vista hidroquímico y de su caudal.
- Elaborar informe final.

I.4. FUNDAMENTACIÓN

El presente trabajo se realizó a fin de cumplimentar el requisito establecido por la reglamentación vigente, para la obtención del título de Licenciada en Geología, en el marco de la carrera Licenciatura en Geología, que se dicta en la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca.

Los tramos, superior y medio de la cuenca del río Trapiche constituyen un área con escasos estudios geológicos a escala de semidetalle.

Existen bases de datos meteorológicos, hidrológicos e hidroquímicos generados por empresa Minera del Altiplano S.A. (algunos de los cuales datan desde la década del 90 hasta la actualidad) quien ha permitido el acceso a dicha información, a fin de poder ordenarlos, controlar su validez - confiabilidad y evaluarlos.



Asimismo, la Secretaría de Estado de Minería, ejecuta desde el año 2013 un programa de monitoreo de calidad de agua en el tramo medio de la cuenca, como parte de las actividades de control ambiental a la actividad minera que se desarrolla en el área, datos que están disponibles a la comunidad a través de la consulta pública de los expedientes ambientales

I.5. HIPÓTESIS

La cuenca del río Trapiche, está desarrollada sobre terrenos de naturaleza predominante volcánica y en menor medida, sedimentaria y metamórfica, que condicionan en gran medida su morfología y características hidroquímicas. Es un área de pequeño tamaño, con forma aproximadamente circular, con un sistema de drenaje poco jerarquizado, de tipo dendrítico en las áreas de cabecera y subparalelo, en las planicies ignimbríticas. El río Trapiche presenta escaso caudal y composición bicarbonatada - sulfatada sódica - cálcica, condicionada por sus rasgos geológicos, topográficos y climáticos.

I.6. METODOLOGIA GENERAL

La presente investigación se desarrolló en tres etapas.

PRIMERA ETAPA (GABINETE)

Esta etapa se desarrolló en gabinete y consistió en la recopilación bibliográfica de antecedentes del sector de estudio, los cuales se revisaron y analizaron cuidadosamente para determinar la información de mayor relevancia. Se recurrió a publicaciones en sitios web, trabajos de investigación de empresas privadas, publicaciones científicas, y archivos de carácter público del gobierno de Catamarca.

Se elaboraron los primeros bosquejos cartográficos geológico e hidrológico, teniendo como referencia la geología regional e hidrología de la cuenca en análisis, a escala 1:100.000, mediante el empleo del software ARCGIS versión 10.3. Para la interpretación visual se utilizó la carta de imagen satelital 2566 III "Cachi", apoyada en la visualización de imágenes de alta resolución espacial que provee la aplicación web Google Earth.

SEGUNDA ETAPA (CAMPO)

En esta etapa se lleva a cabo el control en el terreno de las unidades litológicas representadas en la cartografía elaborada en la primera etapa de gabinete.

La campaña de relevamiento se realizó en el mes de Mayo 2016; a fin de reconocer las características geológicas de la cuenca. Se efectuó el muestreo y descripción macroscópica de las principales unidades litológicas aflorantes en el área.

Los instrumentos y materiales utilizados en la recolección de las muestras de rocas, fueron GPS, lupa de 25x25, martillo de geólogo, regla y cintas métricas, lápiz magnético, corta plumas, agua oxigenada, bolsas plásticas rotuladas, material cartográfico.

Del total de las muestras de rocas recolectadas, se seleccionaron las más representativas, teniendo en cuenta las características litológicas dominantes de las formaciones en estudio, para ser enviadas al Laboratorio CITERRA- CONICET, de la provincia de Córdoba, a fin de generar 10 cortes delgados, con sus correspondientes secciones pulidas. Las mismas fueron analizadas en el Laboratorio de Petrología de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas mediante microscopio de polarización. (Foto N°1).

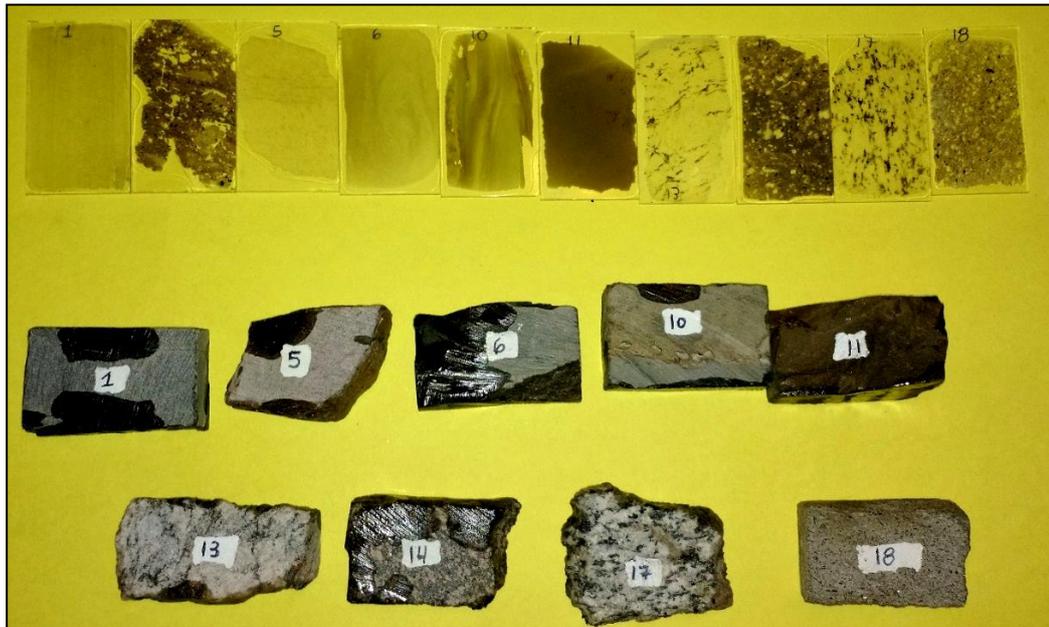


Foto N°1. Cortes delgados y pulidos obtenidos de las diferentes formaciones de la Cuenca.

TERCERA ETAPA

En la etapa final, se efectuaron las tareas de gabinete de:

- Rectificación y confección final de los mapas geológico, hidrológico y mapa con características morfométricas a escala 1:100.000, haciendo uso del software ArcGIS, versión 10.3.
- Elaboración de los capítulos con descripciones geológicas por medio de la descripción petrográfica de los afloramientos litológicos mapeados y sus cortes delgados elaborados.
- Confección de los Capítulos Rasgos Morfométricos, Hidroquímica y Conclusiones.



CAPITULO II GEOGRAFIA





II. CARACTERISTICAS GEOGRAFICAS

II.1 HIDROGRAFÍA DE LA REGIÓN

Hidrográficamente, la Puna Austral se distingue por presentar un avenamiento en numerosas cuencas endorreicas. Las escasas precipitaciones por el ingreso de masas de aire atlánticas, que descargan su humedad sobre las barreras orográficas de las Sierras Subandinas y la Cordillera Oriental, condicionan de tal forma, a los vientos portadores de humedad que cuando éstos las sobrepasan, únicamente se producen precipitaciones muy escasas.

El escurrimiento superficial de esta región está caracterizado por una baja densidad de drenaje y un alto porcentaje de cursos de régimen temporario. Las escasas precipitaciones y elevados valores de evaporación son indicativos de que en la Puna existe un elevado déficit hídrico durante la mayor parte del año. La existencia de precipitaciones sólidas (granizo y nieve), que hasta la actualidad no han sido debidamente cuantificadas, son una fuente alternativa de recarga a través de los ciclos de deshielo que ocurren diariamente. Este proceso, seguramente permite explicar la presencia y recarga de los embalses subterráneos, existen en muchos sectores de esta región que albergan un volumen importante de recursos hídricos.

II.2 HIDROLOGÍA DE LA CUENCA TRAPICHE

La cuenca denominada Cuenca del Trapiche, se encuentra dentro del ambiente del salar del Hombre Muerto. Desde el punto de vista de la génesis del agua, pertenece a la Provincia Hidrogeológica de Frente Montañoso, siguiendo el criterio de Issar y Passchier (1990).

Los principales y escasos aportes de la hoyada hidrográfica Trapiche provienen principalmente de las precipitaciones líquidas y en menor medida de las precipitaciones sólidas, desarrolladas sobre las altas cumbres (Conhidro, 2015), en las cuales existen influencias de los parámetros meteorológicos de la región como lo son la fuerte evaporación y los intensos vientos que se desarrollan en el ambiente de la Puna Austral.

La zona de estudio está integrada por dos subcuencas, la Subcuenca Trapiche y la Subcuenca Peñas Blancas.

La Subcuenca del río Trapiche es drenada en sus nacientes por el Río Vicuña Muerta localizada en las estribaciones Sur de la Sierra conocida como Nevado de Concha Argolla, con dirección predominante SE –NO. A mitad de la cuenca y a consecuencia de afloramientos rocosos orientados en sentido N-S, circula en esta dirección para posteriormente retomar el sentido SE-NO y cambiar su nombre por río Trapiche.

La Subcuenca Peñas Blancas es drenada por el río homónimo, posee sus nacientes en la en el sector SO de la cuenca sobre el Campo Morado, ubicado.

En la zona de desembocadura de la cuenca en análisis confluyen ambos ríos, manteniendo la denominación de río Trapiche, siendo éste el aporte superficial del Cono de deyección Trapiche, explotado por la empresa Minera del Altiplano S.A., propietaria del Proyecto Fénix.

II.3 CLIMA

Clima es el conjunto de condiciones atmosféricas típicas de una región específica, registrado durante un determinado período de tiempo, por lo general treinta años, a diferencia del Tiempo atmosférico el cual es el estado momentáneo de la atmósfera en un punto fijo y en un momento exacto. Ambos son afectados por algunos elementos y factores, que se manifiestan a través de fenómenos meteorológicos: temperatura, humedad, presión atmosférica, vientos y precipitaciones.

En la provincia de Catamarca se distinguen en tres categorías climáticas basadas en el estudio realizado por el Dr. Herminio Navarro, quien a su vez toma la clasificación de Dauss y de García Gache. (Fig.Nº2).

- Clima cálido tropical serrano.
- Clima árido andino puneño.
- Clima árido de sierras y bolsones



Figura N°2. Clasificación climáticas de la provincia de Catamarca de Dauss y de García Gache

El área de estudio se encuentra dentro del tipo árido andino puneño, caracterizado por ser frío y seco con una gran amplitud térmica diaria, que puede alcanzar los 30° C. Posee medias anuales inferiores a 8 °C y mínimas invernales inferiores a - 20° C.

La precipitación, estimada en menos de 100 mm anuales, se concentra en los meses de verano (Diciembre, Enero, Febrero y Marzo); la evaporación potencial de aproximadamente 570 mm, de modo que existe un déficit hídrico muy acusado durante todo el año.

Los vientos que se desarrollan en la Región de la Puna son intensos y constantes, alcanzan velocidades que oscilan entre los 55 y 77 Km/hora y la presión atmosférica es baja siendo la media de aproximadamente 654 mmHg (presión normal es de 760 mmHg ó 1.013 milibares).

Acorde a la Norma IRAM 11603/93, el área de estudio se encuentra entre dos zonas bioambientales:

Zona IV-(Subzona IV-De Montaña): Se ubica en una faja meridional paralela a la Zona III, clasificada como templado frío de montaña, que tiene como límite superior la isolínea 1170 grados días, y límite inferior la isolínea de 1950 grados días, donde los veranos rara vez superan los 30° C y los inviernos son fríos.

Zona V: clasificada como frío, limitada entre las isolíneas de 1950 y 2730 grados días; comprende una extensa faja de Norte – Sur a lo largo de la Cordillera y la región central de la Patagonia, caracterizado por los veranos frescos con temperatura media inferior a 16°C. (Figura N°3)

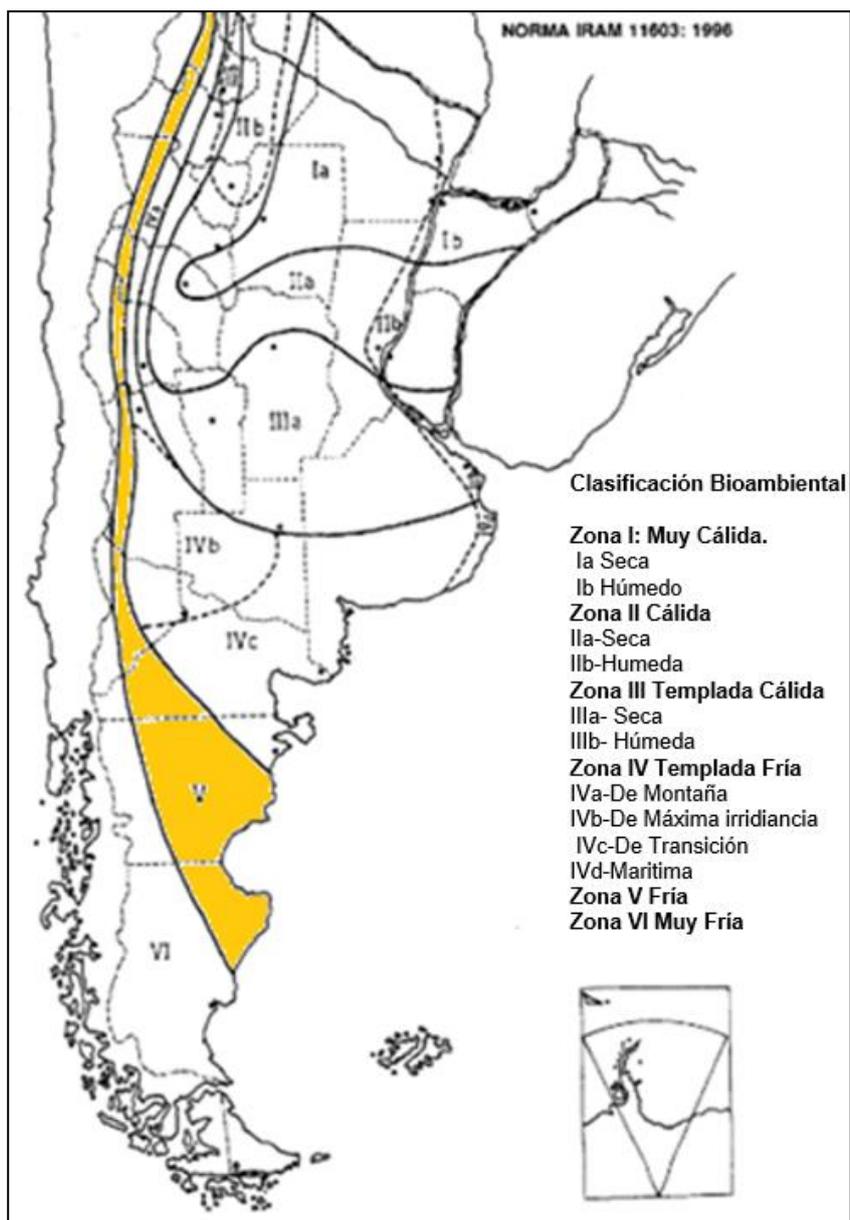


Figura N° 3. Clasificación Bioambiental según la Norma IRAM 11603/93

II.3.1 PRECIPITACIÓN

Para la caracterización climática del área de estudio se tomó como base de análisis los datos climáticos de la Estación Meteorológica ubicada en el campamento Fénix-Minera del Altiplano S.A. correspondientes a los registros de los años 1992 – 2016 (Tabla N°1).(Figuras N° 4 y 5)

La precipitación media anual calculada para el periodo 1992-2014 es de 83,4 mm

El año 2002 constituyó el año de mayor precipitación con un valor de 177 mm, seguido por el año 2013 con 173 mm. El año de menor precipitación correspondió al 2016, con 6 mm, seguido por el año 1998 con 9 mm.

Es notable la intercalación de años de muy escasa precipitación con periodos más húmedos de tres o cuatro años

Año	Ene	Feb.	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Pp Anual (mm/año)
1992	31,4	2,6	1,6	11,0	1,0	4,0	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	64
1993	108,4	5,8	1,2	0,0	2,0	0,0	0,0	6,2	0,2	0,0	0,0	0,0	124
1994	1,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,4	21,5	24
1995	44,6	0,0	9,0	0,4	2,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	25,0	82
1996	0,0	0,1	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	15,8	21
1997	36,7	37,7	8,8	0,0	0,8	4,5	0,9	0,9	8,0	0,0	0,0	0,0	98
1998	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,5	1,0	0,0	3,0	2,2	9
1999	11,1	61,5	45,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	118
2000	67,6	18,8	0,0	0,0	0,0	1,5	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	89
2001	54,8	73,6	7,9	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0	1,7	145
2002	1,0	45,7	104,8	0,0	0,0	5,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	177
2003	3,5	9,0	1,0	0,0	16,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30
2004	30,5	31,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	0,5	0,0	0,0	1,0	71
2005	14,0	40,2	0,0	4,0	0,5	0,0	0,0	0,0	4,6	0,0	0,0	73,0	136
2006	32,5	18,5	4,5	10,0	0,5	0,8	0,0	0,1	4,6	0,0	0,0	0,0	72
2007	32,3	2,5	0,5	0,0	0,0	4,5	1,5	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5	43
2008	82,3	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	97
2009	4,7	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0	14,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	23
2010	7,3	1,5	0,0	0,0	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25
2011	28,1	44,4	12,7	0,1	0,0	1,6	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	58,6	156
2012	50,9	87,6	4,3	1,8	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	148
2013	138,0	14,6	0,0	0,0	3,3	2,3	2,0	3,0	2,0	0,0	0,0	8,0	173
2015	10	34	22,5	4	1	0	0	0	0	0	0,01	0	72
2016	0	4,8	0	0,6	0	0	0	0	0	0,2	0	0,2	6
Pp (mm)	33,0	22,7	9,6	1,3	1,8	1,0	2,6	0,8	1,2	0,0	0,2	9,2	83,4

Tabla N°1 Datos de precipitaciones Estación Campamento Fénix. -Fuente: Minera del Altiplano S.A.

Sobre la base de los datos con los que se cuenta se puede afirmar que los años 1993, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2005, 2011, 2012, 2013 han superado el valor medio anual.

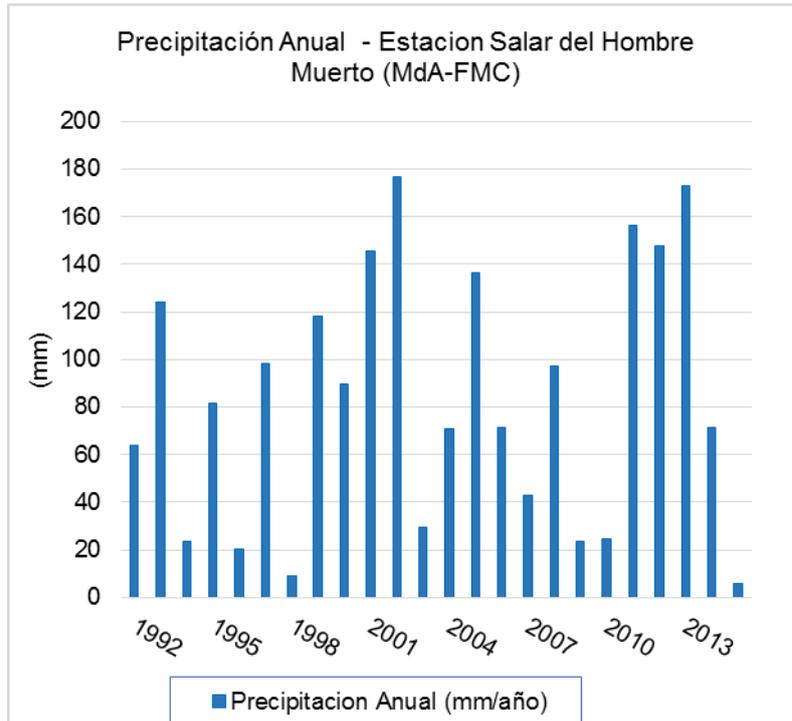


Figura N°4- Variación Anual Precipitación Figura (1992-2016)

Teniendo en cuenta la precipitación promedio mensual los meses más lluviosos corresponden a la época estival. Enero evidencia una precipitación mensual de 33 mm, representando el 40% de la precipitación media anual. En segundo lugar se encuentra el mes de Febrero con 22 mm. Los meses más secos corresponden a los meses de Octubre y Noviembre.

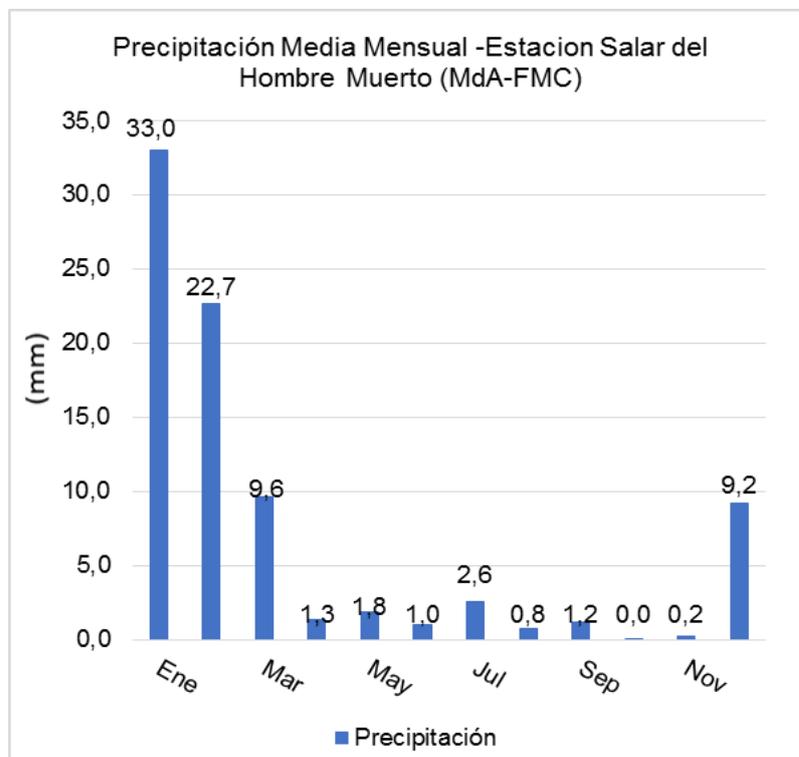


Figura N° 5- Precipitación promedio mensual (1992-2016)

II.3.2 TEMPERATURA

La temperatura media de la región es relativamente baja y es afectada principalmente por la gran altitud. En la atmósfera libre, la temperatura disminuye con la altura a una tasa cercana a 6,5° C/km. En la pendiente andina el gradiente es menor como resultado de la transferencia de energía desde la superficie (Tabla N°2). (Figura N°6).

En los datos de la estación meteorológica Salar del Hombre Muerto la marcha anual de la temperatura media, presenta una frecuencia marcada con valores máximos en el periodo de verano, y mínimos en los meses invernales.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Temp. Anual (°C)
1992	10,9	10,3	8,3	3,9	1,8	-0,6	-2,8	-0,5	1,1	5,9	7,8	9,9	4,3
1993	11,5	9,1	9,2	5,6	1,9	0,9	-0,6	1,3	2,6	7,1	8,9	11,3	5,7
1994	12,1	10,7	8,7	5,8	2,9	0,7	0,1	1,7	5,7	5,7	8,5	12,4	6,3
1995	13	9,8	8,8	5,2	2,5	0,9	-1	2,7	5,1	6,7	9,9	8,9	6,0
1996	11,1	11,8	8,3	5,7	2	-1,2	-1,5	1,1	2,6	6,3	8,6	10,8	5,5
1997	13,6	12,1	7,9	6,6	0,6	-1,4	0,2	1,6	4,7	4,5	8,2	9,4	5,7
1998	13,8	11,6	9,5	6,6	1,2	-0,4	-0,9	-1,5	0,6	3,6	6,4	8,5	4,9
1999	8,9	11,2	10,7	5	1,4	-3	-4,6	-1	1,6	5	4,6	7,5	3,9
2000	11,2	11,2	8,1	5,2	1,1	-2	-3,8	-1,8	0,2	4,4	4,4	9	3,9
2001	10,7	12	11	5,7	1	-1,6	-1,5	-0,3	2,8	4,8	7	8,6	5,0
2002	9,4	10,9	11,7	5,8	2,5	-0,6	-4	0,9	3,4	7,1	8,2	9,3	5,4
2003	12,5	13,5	10	5,2	3,6	2,2	-0,6	-2,5	1,2	6,3	8	8,9	5,7
2004	11,6	11,2	9,4	7,4	0,9	-1,7	0,4	0,4	3,5	4,8	7,1	10,7	5,5
2005	12,5	11,2	10	6	1,9	0,7	-1,5	1,5	1,3	3,6	6,4	11,1	5,4
2006	11,9	10,7	10,3	6,4	2,3	-1,1	0,7	1,0	1,7	6,6	8,7	10,9	5,8
2007	11,5	10,0	10,0	5,7	1,3	1,0	-1,7	-0,6	1,8	6,8	7,4	8,9	5,2
2008	12,6	9,8	8,7	3,7	0,2	-0,5	-1,3	1,0	1,9	4,9	7,3	10,5	4,9
2009	10,4	10,5	9,0	6,1	2,1	0,9	-3,8	0,5	2,4	6,2	10,2	12,0	5,5
2010	11,8	12,4	9,8	5,5	1,3	0,0	-2,0	1,3	2,5	3,1	5,9	9,8	5,1
2011	11,3	10,9	8,6	5,1	2,0	-0,3	-3,3	0,6	3,5	3,6	8,8	9,8	5,1
2012	10,6	11,4	10,2	5,1	1,9	s/d	-0,8	1,8	5,0	5,5	9,8	12,5	6,6
2013	10,8	11,8	10,8	5,1	4,3	-0,9	-0,6	1,8	2,5	3,9	8,4	11,2	5,8
2015	11,3	10,6	10,9	5,8	3	0,2	0,2	0,5	4,1	5,1	7	9,4	5,7
2016	11,8	12,4	9,9	7,1	4,2	0,6	-0,6	1,7	4,3	5,6	7,5	10,1	6,2
Promedio	11,5	11,1	9,4	5,6	1,9	-0,3	-1,5	0,6	2,6	5,3	7,7	10,1	5,3

Tabla N° 2. Datos de la temperatura (1992-2016) Fuente Minera del Altiplano SA- FMC

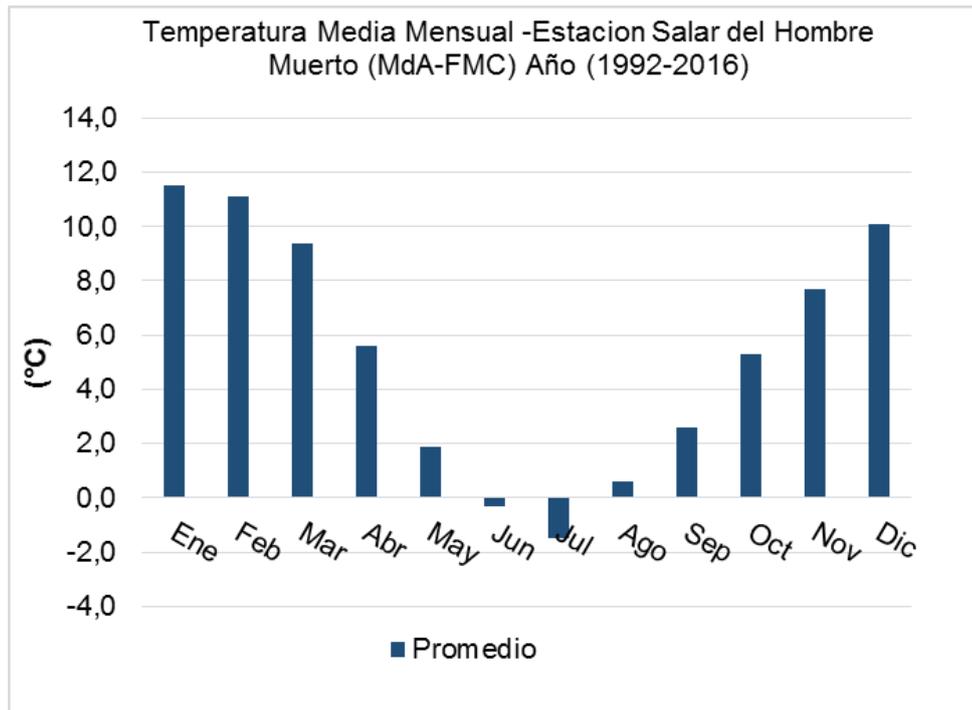


Figura N°6- Variación de Temperatura

Los registros de temperaturas para el período 1992–2016 indican que los menores registros ocurren entre los meses de Mayo a Septiembre. El mínimo promedio de -1,5 °C. se registra para el mes de Julio.

II.4 SUELOS

El principal condicionante para la evolución de los suelos en la región es el clima y en consecuencia el desarrollo de la vegetación. Por esta razón, los suelos dentro del área del proyecto no poseen gran desarrollo y en caso de poseerlo se debe a condiciones particulares.

Los suelos de la Puna desde el punto de vista edáfico se caracterizan por su pobre evolución. Nadir y Chafatinos (1990) describen la predominancia de tres tipos de suelos: Litosoles, Fluviosoles y Solonchaks.

- Los Litosoles se distribuyen en forma longitudinal a los cordones montañosos por lo que adoptan una distribución meridional (N-S). Son suelos incipientes o sin formación de horizontes, con abundante presencia de clastos de diversos tamaños. La secuencia de horizontes es (A)-C-R, observándose muchas veces el material original sobre la roca. En ellos el relieve es montañoso a fuertemente montañoso, con pendientes entre 8 y 30%, drenaje y escurrimiento rápido a excesivo, erosión severa a muy severa tanto hídrica como eólica y rápida infiltración. La falta de horizontes pedológicos superficiales impide la presencia de epipedones u horizontes diagnósticos, y cuando se presenta esta limitado a un epipedónócrico incipiente asociado a afloramientos (Nadir y Chafatinos 1990).
- Los Fluvisoles se ubican en las áreas bajas que ocupan las cuencas endorreicas con relieves de hasta 4%. Poseen incipiente desarrollo con perfiles A-C de texturas gruesa a medianamente gruesa. Se reconocen los Fluvisoles calcáreos, moderadamente alcalinos a neutros en profundidad y los Fluvisoleeutricos, ácidos a neutros con drenaje excesivo. Presentan epipedonesócricos incipientes.



- Los Solonchacks son suelos enriquecidos en sal a causa de una intensa evaporación. Se ubican en áreas periféricas al salar y en el sector distal de conos aluviales asociados.

En este caso particular, la posición en el relieve es uno de los determinantes en la formación de los suelos, dentro de la Vega de Río Trapiche se encontraron Histosoles (turba) de escaso espesor (entre 20 y 60 cm) con restos orgánicos fibrosos, reconocidos taxonómicamente como Fibríst, que se encuentran total o parcialmente saturados gran parte del año apoyados sobre materiales inorgánicos gruesos. Los mismos se encuentran ubicados aguas arriba del embalse construido por la empresa.

Aguas abajo del embalse, puede observarse la presencia de Histosoles (turbas) que manifiestan la discontinuidad de agua a la que se vieron sometidos. Estos son de menor espesor que los anteriores, debido a que su presencia está relacionada a la disponibilidad de agua.

II.5 VEGETACIÓN

La vegetación corresponde a la Provincia Puneña. Ocupa áreas situadas entre los 3000 a 3700 m.s.n.m. (Morláns, 2003) Los arbustos dominantes de los 3100-3200 a 3500 m.s.n.m., son: *Fabiana densa* (Tolilla), *Acantholippiapunensis* (Chijua) y *Adesmiahorridiuscula* (Añagua), la cual forma matorrales bajos subsféricos, fácilmente reconocibles por presentar una "cubierta" de espinas blancas, tríficas (hórridas).

Otras especies casi siempre presentes son *Juneliaseriphioides* (Rosita), también de muy cortos entrenudos. Entre las plantas herbáceas (anuales y perennes) que acompañan a esta comunidad arbustiva, predominan los géneros *Hoffmanseggia*, *Evolvulus*, *Astragalus*, *Portulaca*, *Gomphrena*, *Ranunculus*, *Trichocline*, etc. Bajo la protección de los arbustos pueden encontrarse algunas Gramíneas como *Panicumchloroleucum* (Jaboncillo), *Pennisetumchilense* (Esporal) y *Bouteloua simplex* (Peludilla). *Tolillas*, *Rica-rica*, *Chijua* y *Añagua*.

A mayores alturas (3500 - 3700 m.s.n.m.) los arbustos se van haciendo cada vez más bajos y se encuentran mucho más distanciados unos de otros. Inclusive es frecuente encontrar vastas extensiones totalmente carentes de vegetación, salvo alguna *Rica-rica* o *Ephedrasolitarias* o bien efemerófitas de muy corto ciclo.

Otra situación particular son las vegas o ciénagas donde, gracias a la humedad permanente del sustrato, se desarrolla un rico y denso tapiz herbáceo con predominio de Ciperáceas (*Scirpusatacamensis*, *Heleocharisalbibracteata*), Juncáceas (*Juncusdepauperatus*) y Gramíneas (*Festucascirpifolia*) principalmente. (Foto N°2)

El área de mayor humedad de la vega Trapiche, se termina abruptamente. La misma presenta un ancho promedio de 20 m encontrándose especies xerófilas o más bien características de suelos más secos o de estepa como *Festucasp.* *Fabiana sp.*, *Senecioviridis* fuera de la misma (Foto N°3).

Se reporta por primera vez la presencia de *Upucerthiavalidirostris* (bandurrita andina) y de *Tringaflavipes* (Pitotoy chico). Estos hallazgos elevan la cifra para la zona de Trapiche a 32 especies (aunque no todas en la misma época).



Foto N°2.- Cubierta vegetal en el margen del cauce medio del Rio Trapiche

A)



B)



Foto N°3.-A) Especie Vegetal Festuca. B) Cardón de 10 cm. Sobre ladera del Cauce Peñas Blancas

II.6 FAUNA

Las especies animales del área de estudio se encuentran sometidas a condiciones climáticas característicos de la Puna, estrés hídrico, grandes amplitudes térmicas, intensa irradiación solar, bajas presiones de oxígeno, etc.

Anfibios Se reporta nuevamente la presencia de *Rhinellaspinulosa*, un anfibio característico de la puna de Argentina, Chile, Bolivia y Perú. Se observaron individuos adultos en la zona de la Vega Trapiche.

Reptiles Se verificó la presencia de *Liolaemusdorbignyi*, especie de hábitos saxícolas presente en las zonas rocosas aledañas a la Vega Trapiche. También se registra *Liolaemuspoecilochromus*, especie abundante que se encuentra en toda el área de estepa que circunda a la vega de Río Trapiche y Campamento Fénix

Aves el sitio más rico en especies sea el área de la vega Trapiche. Se destacan especies como *Upucerthiavalidirostris* (bandurrita andina), fácilmente reconocible por su pico fuertemente curvado. Esta especie es endémica del O cordillerano argentino, desde Mendoza hasta Jujuy.

Por otro lado, en los márgenes del río Trapiche se encuentran ejemplares de *Tringa flavipes* (pitotoy chico), especie que apenas supera los 20 cm, de pico delgado recto y patas amarillas. *Querula punctata* o Perdiz puneña (*Tinamitis pentlandii*), patos de la familia *Lophonettidae* y *Anas platyrhynchos* y el cóndor.

En el dique del Río Trapiche se observaron individuos de *Anas platyrhynchos* (incluyendo pichones), *Chloephaga melanoptera* (guayata) con pichones también, individuos de *Anas platyrhynchos* (pato puneño), *Lophonettidae* (pato crestón), *Podiceps occipitalis* (macá plateado) y de una especie de *Fulica americana* (gallareta).

Mamíferos se encuentran en el área de la Vega del Río Trapiche son *Lagidium viscacia* (chinchillón), zorro colorado (*Dusicyon culpaeus*), zorro gris (*D. gymnocercus*). Los mamíferos de gran porte son característicos en la zona, especies endémicas como la vicuña (*Vicugna vicugna*) los domésticos (ganadería incaica) como la llama y los depredadores el puma andino. (Foto N°4), el gato andino.

Ictiofauna: trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). Este último se trata de un pez perteneciente al grupo de los salmónidos. Y rastros de la presencia del roedor *Phyllotis xanthopygus* (pericote panza gris) y también *Ctenomys opimus* (oculto).



Foto N°4- Especie Mamífero- Puma andino

II.7 DEMOGRAFÍA

El departamento Antofagasta de la Sierra posee una superficie de 28.260 km² y cuenta con un total de 1430 habitantes (816 varones y 614 mujeres). En consecuencia, la densidad poblacional es de 0,05 hab/ Km, datos según la Dirección del Instituto Nacional de Estadística y Censos (2010). La Villa de Antofagasta de la Sierra es la cabecera departamental, la cual concentra algo más del 70% de la población del departamento, siguiéndole en importancia el poblado de El Peñón ubicado a 63 km al sur de éste. Al Norte de la cabecera departamental se encuentran poblados menores como ser Paicuqui 17 km, Los Nacimientos y La redonda, hacia Noroeste se encuentra la localidad Antofalla.

Actualmente se observa que los habitantes cercanos a la planta de Salar del Hombre Muerto están compuestos aproximadamente por 9 personas, que practican la cría de ganado caprino y camélido para autoconsumo con escasa incorporación de productos al mercado y el patrón de asentamiento registrado es disperso, coherente con la actividad pastoril. Para una utilización racional de los recursos, las poblaciones humanas deben trasladarse con sus animales a los puestos que poseen a diferente altura obedeciendo a la oferta de recursos.



GEOLOGÍA E HIDROLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO TRAPICHE
Dpto. Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca



CAPITULO III

GEOLOGIA



Geología de la Cuenca Trapiche sector Sur (Fm. Pachamama- Fm Tebequincho y derrubios Fm. Incahuasi- sobre la Fm. Falda Ciénega)

AÑO 2017



III.1 GEOLOGÍA REGIONAL

La descripción del marco geológico regional se ha realizado en base a los antecedentes descriptos en la Hoja Geológica 2566-III, CACHI, (Hongn, F y Seggiaro, R. 2001), apoyada con actualizaciones de investigaciones recientes.

La provincia geológica de la Puna fue originariamente descrita como una unidad geológica por Brackebusch (1883), quien la denominó Puna de Atacama, nombre reemplazado simplemente por el de Puna por los investigadores que lo siguieron (Bonarelli, 1913-15; Keidel, 1927). Dentro de Argentina, abarca la parte occidental de las provincias de Jujuy, Salta y Catamarca.

Esta unidad está caracterizada por una altiplanicie sobrelevada por encima de los 3.700 m s.n.m. y presenta límites bien definidos con la provincia geológica Cordillera Oriental y Sierras Pampeanas, al E, pasado transicionalmente al S por la Cordillera Frontal y Sistema de Famatina. Su límite hacia el O se corresponde con la frontera Argentino-Chilena -Cordillera Occidental- parcialmente en territorio Chileno conformado por la línea de cumbres de los grandes estratovolcanes del Cenozoico superior, hacia el N se continúa por el altiplano Boliviano - Peruano.

Una diferencia entre la Provincia geológica de la Puna y su vecina la provincia geológica Cordillera Oriental la establece el Paleozoico Inferior en el cual tuvo lugar una intensa actividad magmática representada por las granodioritas y granitos del Complejo Eruptivo Oire, localmente en la Cordillera Oriental se puede distinguir en la formación Cachi, y en distintos granitos como el denominado Granito del Pucara.

Algunos autores como Alonso et al. (1984) han propuesto dividir a la Puna en dos sectores diferentes sobre la base de sus características geológicas regionales, la Puna Septentrional o Jujeña, que correspondería principalmente al sector donde las rocas más antiguas aflorantes son ordovícicas y la Puna Austral o Puna Salto-Catamarqueña separadas por el lineamiento de Olacapato, que responde a una mega fractura regional con rumbo ONO-ESE. (Salfity 1975)

Las características geológicas principales de la Puna fueron definidas por Turner (1970), se compone de un zócalo de sedimentitas y leptometamorfitas de edad Ordovícica que en el sector Occidental, están fuertemente deformadas. El basamento metamórfico de estas sedimentitas se conoce en su parte Norte indirectamente a través de los xenolitos que traen a la superficie las vulcanitas Terciarias. Estos depósitos contienen dos fajas de rocas predominantemente volcánicas de Edad Ordovícica media a superior identificada como la faja eruptiva de la Puna oriental (Méndez et al., 1973) y la occidental (Palma et al., 1986).

Litológicamente el basamento Puna Austral está constituido por rocas sedimentarias y magmáticas Neoproterozoicas, (eocámbricas?) afectadas por diferentes fases de deformación, las cuales componen varias formaciones Pachamama, Complejo Rio Blanco, Metamórfica Antofallita,. La cobertura que acompaña al zócalo está compuesta por rocas de diversas edades.

El Paleozoico está representado por las turbiditas de la Formación Falda Ciénega, del Ordovícico y las sedimentitas marinas de la Formación Tolillar son las más representativas en la columna estratigráfica de la comarca. Además de Complejo básico ojo Colorado, Complejo Oiré y Formación Cortaderas.

Los depósitos Mesozoicos a Eoterciarios no fueron evidenciados dentro de la Puna Salto-Catamarqueña, a diferencia de la Cordillera Oriental, los cuales son los estratos pertenecientes a la cuenca de rift del Grupo Salta. (Salfity y Marquillas, 1994).



GEOLOGÍA E HIDROLOGIA DE LA CUENCA DEL RÍO TRAPICHE Dpto. Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca



La era Cenozoica del área la conforman diferentes litologías producto de los acontecimientos sedimentarios y magmáticos ocurridos. En el caso del Paleógeno está representado por la Formación Geste (Puna Septentrional), compuesta por conglomerados y areniscas, cuya fauna registra condiciones de clima subtropical. Siguen la columna estratigráfica las Sedimentita Vizcachera, la Formaciones Catal, Batin y Sijes.

Durante el Mioceno Superior- Plioceno, se produjeron diferentes acontecimientos del magmatismo, como consecuencia de la migración del arco volcánico hacia el Este. En la Puna austral el volcanismo del Cenozoico, comenzó a manifestarse a partir del Mioceno Medio (11-15 Ma) con lavas andesíticas y dacíticas que integran la Formación Tebenquicho (González, 1983), secuencias piroclásticas intercaladas con depósitos sedimentarios de la Formación Catal y cuerpos subvolcánicos que integran la Formación Inca Viejo (González, 1984). Conjuntamente durante este período ocurrió una importante emisión de ignimbritas, denominada Ignimbrita Pucarilla de 14,22 Ma descritas por Sparks (1985), dispuestas en mantos extensos y de poco espesor. El volcanismo correspondiente a este ciclo se produjo antes de la fase de mayor deformación y engrosamiento cortical en la Puna a partir de magmas que evolucionaron en niveles intermedios de la corteza.

Uno de los eventos más espectaculares del volcanismo Cenozoico sucedió a los 2 Ma con la emisión de la Ignimbrita Galán y la consiguiente formación de la caldera. La actividad volcánica del último millón de años estuvo dominada por los derrames de coladas basálticas a partir de centros monogénicos y derrames fisúrales representados por la Formación Incahuasi. En función de los rangos de edades registrados por las dataciones disponibles en el área de estudio, las unidades reconocidas se separaron en cuatro fases magmáticas principales, según Alonso y Gutiérrez, 1986; Aceñolaza, 1976.(Tabla N°3).

Los depósitos cuaternarios están representados por materiales sedimentarios clásticos de pie de monte y conos de deyección, depósitos vinculados genéticamente al relieve estructural impuesto por la compresión Plioceno-Pleistocena. Asimismo, el desarrollo de depósitos evaporíticos configuraron extensos salares. Entre éstos, se destacan Hombre Muerto, Antofalla, Ratones, Diablillos y Tolillar. Las pequeñas depresiones cerradas están ocupadas por lagunas (ej. Caro, Diamante, Verde, Ciénaga Redonda, y otras), salitrales (ej. Gallego, Tolar Chico) o barreales.

Fase Magmática	Unidad	Edad	Litología
Cuarta	Formación Incahuasi	1,1-0,1 Ma	Basaltos
Tercera	Complejo Volcánico Galán	2,0-2.4 Ma	Ignimbritas y Lavas
Segunda	Ignimbritas Toconquis	4,8 Ma- 7,0 Ma	Ignimbritas Andesitas
Primera	Formación Tebenquicho Ignimbrita Pucarilla Formación Inca Viejo Formación Catal	11,0 – 14,0 Ma 12,1 – 14,2 Ma 15,0 Ma 13,2- 16,7 Ma.	Dacitas y Andesitas Ignimbritas Pórfidos Sedimentitas y Volcanitas

Tabla N°3 Cuatro fases magmáticas principales en la región definidas por Alonso y Gutiérrez, 1986; Aceñolaza, 1976.



III.1.1 ESTRUCTURA

En el marco regional la descripción de las estructuras locales que afectan a la Puna, (Hongn, F y Seggiaro, R. 2001) exponen que se ha realizado siguiendo lo confirmado en la hoja geológica de Cachi, exponen que la estructura del terreno es el resultado de la superposición de varios procesos de deformación ocurridos desde el Neoproterozoico hasta la actualidad, destacando que la particular altura vigente de la Puna es una respuesta térmica al atenuamiento litosférico (Isacks, 1988), que se sobrepone al levantamiento por apilamiento tectónico.

En el periodo Mioceno, en el cual se produce el engrosamiento cortical diferenciándose nítidamente la Puna de la Cordillera Oriental.

Una diferencia destacable que presenta la Puna Austral es que es el único sector de Los Andes que presenta en sus estribaciones orientales un frente orogénico dominado por una tectónica de alivio extensional que impera en la región desde fines del Plioceno hasta hoy.

Dentro de las deformaciones frágiles del área se reconocen las fracturas de rumbo andino (aproximadamente NO-SE) que controlan la inclinación de los bloques hacia el E u O, mientras que las fracturas de rumbo ONO-ESE, controlarían la inclinación hacia el Norte o hacia el S. El lineamiento submeridiano está cruzado por un fracturamiento de rumbo ONO-ESE en muchos casos reomagmático. Ambos fracturamientos han segmentado el zócalo puneño en grandes bloques que han tenido gran influencia en el control de las cubetas terciarias y cuaternarias

La fractura de rumbo NO-ESE, más importante es la de OlacapatoTranspuneña, con un recorrido de unos 700 Km, atravesando varias provincias morfoestructurales del Orógeno. Varios autores han analizado el papel del fracturamiento transversal de la Puna. Whiting (1959) y Baldis (1980) lo relacionaron con las principales mineralizaciones del noroeste Argentino; Salfity, (1984) en tanto lo vincula al control de la sedimentación y efusividad de las cuencas cenozoicas así también se vincula con el control paleogeográfico, que los lineamientos tienen sobre las cuencas, Por otro lado Viramonte (1984) plantea la correspondencia con el desarrollo del vulcanismo y su quimismo, y autores como Sureda (1986) con los fenómenos metalogenéticos. (Figura N°7).

Las megafracturas de rumbo ONO-ESE han tenido varios movimientos y en algunos casos sus bloques limitantes se han desplazado decenas de kilómetros. Estos fenómenos relacionados con neotectónica están ampliamente distribuidos en la Puna Austral y restringidos en la Puna Septentrional (Strecker, et al., 1985; Allmendinger, 1986).

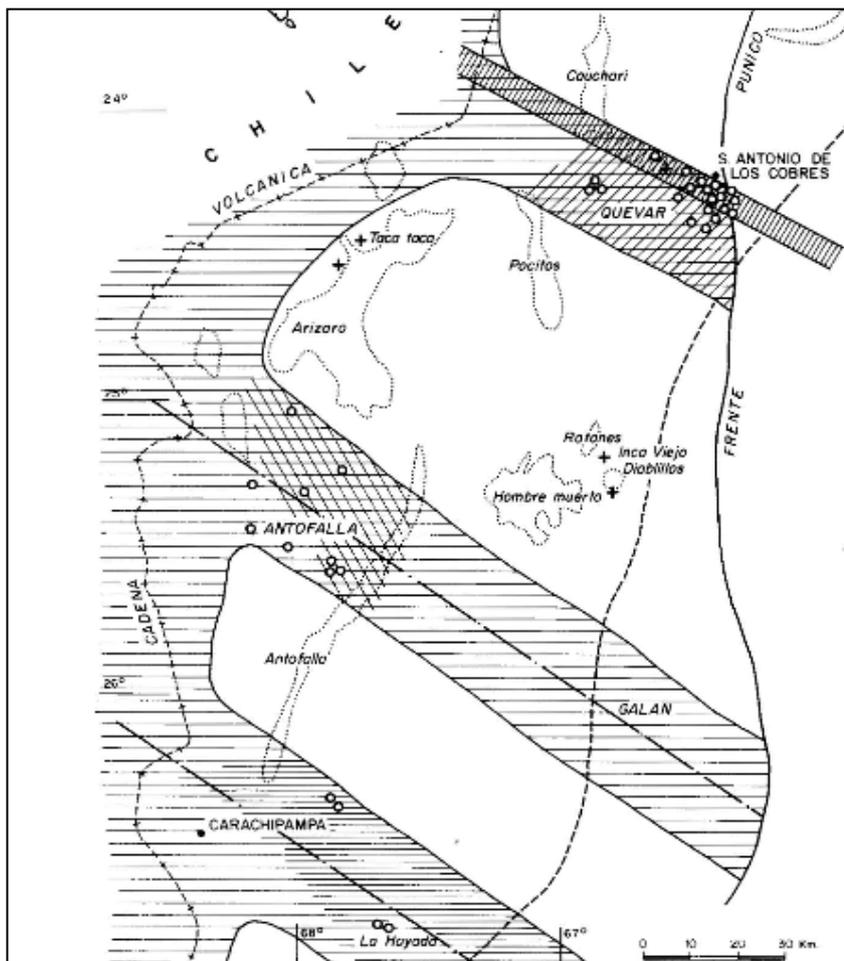


Figura N°7 Fracturas de rumbo NO-ESE, la más importante es la de Olacapato-Transpuneña (Whiting 1959 y Baldi 1980)

III.2 GEOLOGÍA LOCAL

III.2.1 ESTRATIGRAFIA

Las formaciones que se encuentran distribuidas en el área de estudio datan del Neoproterozoico, Ordovícico, Mioceno, Plioceno y Pleistoceno. Se describen a continuación teniendo en cuenta su posición estratigráfica (ANEXO I: MAPA GEOLÓGICO)

III.2.1.1 FORMACIÓN PACHAMAMA

La formación Pachamama ha sido definida por Aramayo (1986). Hongn y Seggiaro (2001) y se le asigna edad Neoproterozoico. Presenta su mayor desarrollo areal en el sector Este de la cuenca, constituyendo el Cerro Nevado de Concha Argolla, y Cerro Aguas Calientes.

Está integrada por esquistos y gneises (para y ortogneises) con intercalaciones de calizas y anfibolitas (Aramayo, 1986). Según Quenardelle, 1989 incluye metamórficas de mediano-alto grado metamórfico (esquistos comunes y esquistos migmáticos, mármoles, felsitas calcosilicáticas, felsitas aluminosilicáticas, metareniscas y metabasitas) y granitoides (tonalitas y granitos) gnéisicos.

Este paquete de rocas muestra una intensa polideformación, tanto que la estratificación está totalmente transpuesta y sólo se reconoce como relictos. Todavía no se conoce de forma precisa la relación entre metamorfismo y deformación.



GEOLOGÍA E HIDROLOGIA DE LA CUENCA DEL RÍO TRAPICHE Dpto. Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca



Así también sus relaciones estratigráficas son poco conocidas, reconociendo que la Formación Pachamama cabalga hacia el O a las secuencias Ordovícicas de la Formación Falda Ciénega (Mon y Hongn, 1987, 1991; Hongn, 1992, 1994).

Debido a la litología muy variada que conforma esta formación y su distribución en el área de estudio, se recolectaron 5 muestras representativas en diferentes sectores de la cuenca (Tabla N°4).

Muestra	Coordenadas Geográficas		Rumbo e Inclinación	Descripción de la muestra	Tipo de Roca
N° 1	25°37'54.00"S	67° 5'47.60"O	120°-30NE	Macroscópica Microscópica	Esquisto
N°3	25°39'19.9"S	67° 5'57.20"O	155°- 57NE	Macroscópica	Esquisto Cuarcítico
N°4	25°39'29.20"S	67° 6'23.30"O	48°- 85 SE	Macroscópica	Esquisto
N°13	25°40'45.18"S	67° 0'40.84"O	178°- 43NE	Macroscópica- Microscopia	Protomilonita
N°17	25°40'45.30"S	67° 0'39.33"O	Sin registro	Macroscópica- Microscopia	Protomilonita

Tabla N° 4 Muestras de la Formación Pachamama

Muestra N° 1

El afloramiento presenta fuertes planos de foliación, distinguiendo dos divisiones dentro del mismo: un sector de roca con coloración oscura y otro sector de rocas más alteradas con patinas verdosas y mayor contenido de vetillas de cuarzo.

En la zona N el paquete de rocas posee color pardo a grisáceo, aspecto rugoso con una leve meteorización producto del clima de la región, en el que se distingue un grado medio de metamorfismo. (Foto N° 5). Han sido identificados como un Esquisto con marcada foliación y con textura laminar grano fino a medio (milímetros). El índice de color de melacromático a mesocromático lo determina su color gris claro, con patinas ferruginosas. Los minerales observados a simple vista corresponden a minerales esenciales como cuarzo en disposición planar, feldespatos y anfíboles en conjunto micas que forman la fina matriz. (Foto N°6).



Foto N°5 Afloramiento ubicado en el Centro de la Cuenca pertenecientes a la Formación Pachamama, constituida por rocas esquistosas con importante foliación.



Foto N°6 Muestra macroscópica Esquisto de coloración gris clara con minerales félsicos en posición planar, inmersos en una fina matriz de minerales maficos

El corte microscópico muestra una textura interesquistosa y estructura granolepidoblastica, formada por los minerales principales de cuarzo anhedro, finas micas y en menor proporción pequeños anfíboles aislados. Como minerales accesorios se encuentran la clorita y epidota en pequeñas cantidades. (Foto N°7)

Debido a la elevada interesquistosidad de la roca, no se diferencia completamente las características de los minerales que la componen, se desataca la extinción ondulosa del cuarzo, en contacto de lepidoblastos de muscovita con alteracion en los bordes. Se observan biotitas pardas en mayor cantidad que muscovita. La alteración observada corresponde a clorita, con el destacado pleocroísmo.

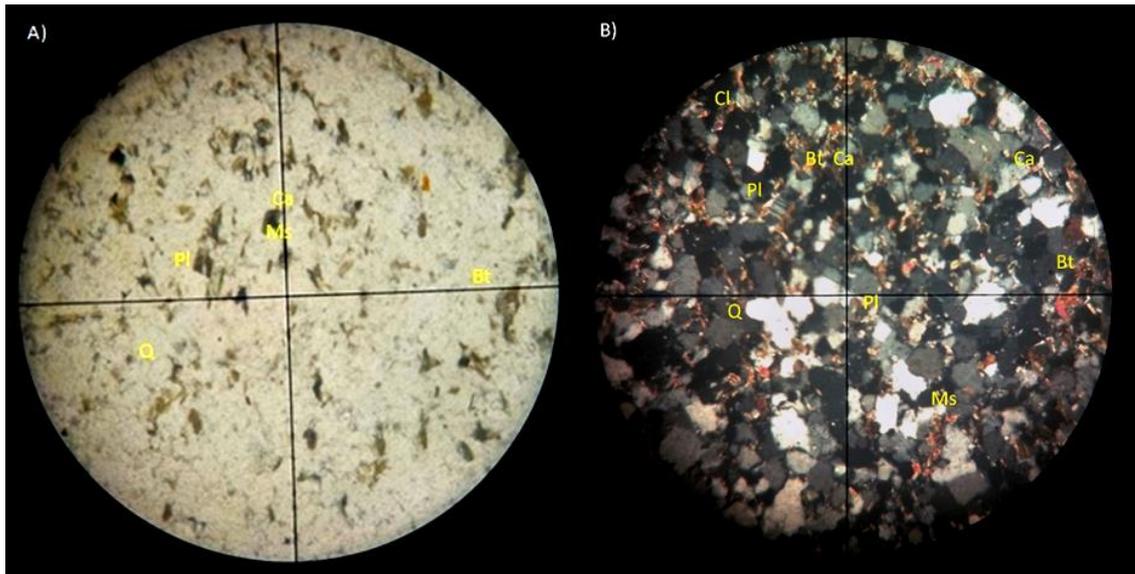


Foto N°7. Microfotografía con objetivo 10/0,25: Esquisto de grano muy fino de textura granolepidoblastica. Los minerales presentes (Q) cuarzo, (Pl.) plagioclasas, (Bt) biotitas pardas, (Ms) muscovita en menor cantidad y de concentraciones muy pequeñas (Cl) clorita.

Las muestras 3 y 4

Fueron obtenidas a lo largo del Cordón central de la cuenca corresponden a rocas de naturaleza metamórfica de la Formación Pachamama según las características macroscópicas, y verificadas por análisis microscópico. Cabe destacar que Hongn, F y Seggiaro, R. 2001 hoja Cachi 2566-III asignan estos afloramientos a la formación Falda Ciénega.

Ambas muestras presentan características de esquistos de color gris claro con un alto contenido de venillas de sílice de centímetros en dirección perpendicular a la foliación de la roca, esto proporciona una textura suave al tacto. (Foto 8 a). En muestra fresca se identifica una fábrica esquistosa de láminas de minerales claros y oscuros de pocos centímetros. Su composición mineral es idéntica a la muestra uno, con un mejor desarrollo de vetas de minerales maficos y félsicos. (Foto N°8 b)



Foto N°8 a) Muestra del Macizo Rocoso Pachamama ubicado en el centro de la Cuenca de estudio, esquistos con un gran dominio de vetas de cuarzo mayores a 1 cm. Se entrecruzan con la foliación 8 b) Muestra macroscópica, esquistos con vetas de minerales maficos y félsicos de milímetros.

Muestra 13

La sección ubicada en el sector E de la hoyada sobre la Sierra del Nevado de Concha Argolla muestra planos de diaclasamiento con rumbo 178° e inclinación 43° NE. (Foto N°9 a)

Se trata de un gran cuerpo granítico con una dirección de los minerales que forman lentes, (ojos), de coloración clara con los grandes cristales de cuarzo y plagioclasa de aproximadamente 1,5 cm, acompañado de minerales micáceos de coloración oscura con un gran brillo. (Foto N°9 b y c)

Dentro del muro se distingue un Dique Diorítico, de 1,30 metros de espesor de rumbo 195° e inclinación de 21° al NO., con una marcada foliación.

Bajo la observación de luz polarizada, se determina una estructura maciza, y textura granular con minerales esenciales de cuarzo anhédros de pequeño tamaño, incoloro, en abundante cantidad, muy alterado con sus bordes. Presenta individuos de plagioclasas tipo albita periclina, con maclado tipo Carlsbad. La abundancia del microclino de mayor tamaño con típico maclado enrejado, que en sectores se encuentra alojando a la muscovita. Estos minerales forman un contacto triple indicando la deformación de un prototipo granítico.

Las micas presente corresponden a muscovita que crece a expensas de la biotita la cual predomina en todo el corte formando largas franjas con una orientación única y un pleocroísmo moderado. (Foto N°10)



Foto N°9-Formación Pachamama **a)** Afloramiento compuesto de granitoides, rocas migmatíticas interceptado por un Dique Diorítico de 1.3 m. en la cumbre del macizó. **b)** Se distinguen los minerales micáceos que engloban a los minerales leucocráticos, formando una leve textura oftálmica **c)** muestra macroscópica con corte perpendicular al bandeo de los minerales micáceos.

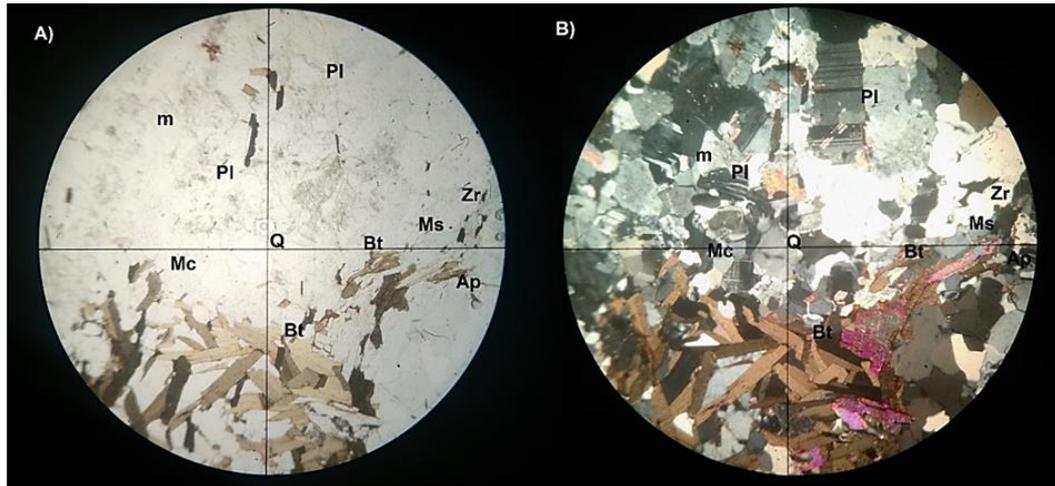


Foto N°10 Microfotografía Corte delgado de un contacto triple de una roca metamórfica y un Granito A) luz paralela – presencia de diferentes plagioclasas espécimen albita periclina, (Q) cuarzo de extinción sondeada, crecimiento de (Ms) muscovitas a expensa de biotita (Bt) (Mc) microclino con maclado tipo enrejado, minerales accesorios (Ap) apatito, (Zr) zircón (m) mirmecítica de plagioclasas

Muestra 17.

Corresponde a una roca metamórfica, constituida por núcleos masivos interdigitados entre sí, atravesados por venas leucocráticas de composición granítica. Por las características del conjunto, se deduce que el espécimen ha sido parcialmente afectado por una deformación frágil-dúctil, motivo de diversos núcleos sin deformación que conservan su textura granoblástica original. Se observa otros sectores donde la roca se exhibe fuertemente foliada, de textura, milonítica. (Foto N°11)

Consiste en un granito protomilonizado, de estructura holoesquistosa y textura milonítica conformada por poiquiloblastos de (Q) cuarzo, con contornos irregulares a suturados, que forman agregados con las plagioclasas de maclado polisintético, se encuentran acunadas formando estructura de mirmecitas en todo el corte. Las plagioclasas sondeadas son las de mayor dimensión dentro del corte delgado.

Se diferencia al microclino debido a su característico enrejado, el cual en su interior posee inclusiones de pequeñas micas corroídas por procesos de alteración. (Foto N°12)

La biotita parda muy plegada en abundante desarrollo, se alteran levemente a caolín y sericita, la muscovita en general de menor tamaño crece a expensas de la biotita dominante, identificada como inclusiones en los diferentes xenoblastos.

Los anfíboles presentes muy escasos se identifican como tremolita-actinolita, de forma alargada, y marcada exfoliación con un alto pleocroísmo.



Foto N°11 Formación Pachamama, se distinguen la estructura en bandas de los minerales maficos y félsicos que la componen.

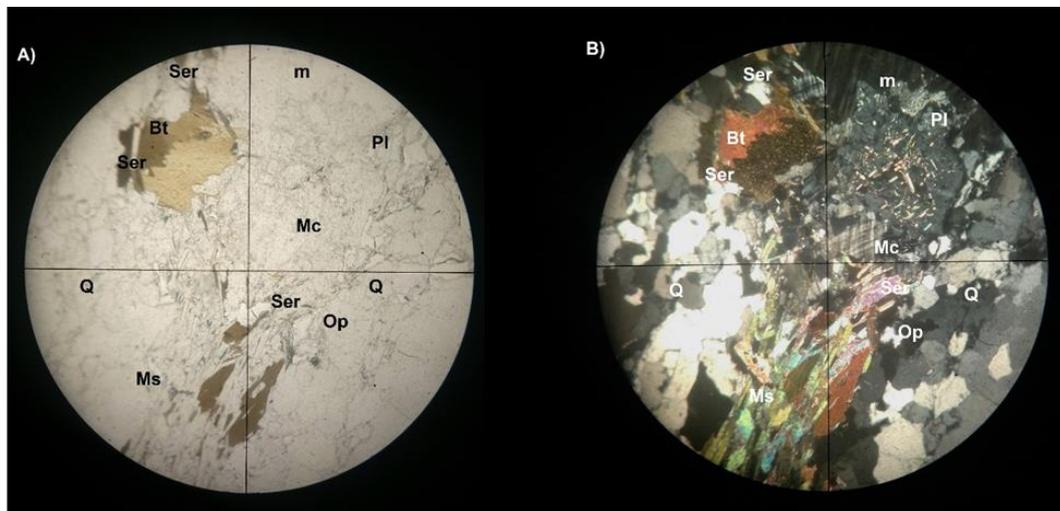


Foto.N°12 Microfotografía de una protomilonita de la Formación Pachamama. A) muestra con luz paralela los minerales esenciales y secundarios. B) con nicoles cruzados se distingue las (PI) Plagioclasas, (Mc) microlina. (Q) cuarzos, (Bt) biotitas, con alteración a sericita (Ser) y, minerales opacos (Op).

III.2.1.2 FORMACIÓN FALDA CIÉNEGA

La formación Falda Ciénega (Ordovícico) fue definida por Turner, 1964 para incluir los afloramientos con fósiles ordovícicos que hasta ese momento se asignaban a las Formaciones Caucota y Copalayo del Precámbrico. Se encuentra en los contras fuertes occidentales, de la Cuenca del Río Trapiche, ampliamente distribuida en el sistema montañoso denominado Cerro Falda Ciénega, compuesta por rocas sedimentarias epimetamórficas,- grauvacas y pelitas con intercalaciones de areniscas cuarzosas, lavas dacíticas y areniscas volcanoclasticas, con anquimetamorfismo y depósitos marinos. Aceñolaza (1976)

En la Formación Falda Ciénega existen modificaciones metamórficas de muy bajo a bajo grado, que ubica el proceso metamórfico entre el anquimetamorfismo y el epimetamorfismo (Toselli, 1982), su edad es Llanvirniana alta Llandeiliana de acuerdo con sus fósiles de graptolites (Aceñolaza et al., 1976)

Dentro del área de análisis se observan niveles de psamitas y pelitas estratificadas rítmicamente, con intercalaciones menores de conglomerados, tobas y areniscas volcanoclasticas, todo el conjunto se haya afectado por un metamorfismo de muy bajo grado, ocasionalmente de bajo grado (anquimetaformismo).

La unidad mapeada registra una distribución en el Centro-S y O de la Subcuenca Peñas Blancas. Los ejemplares identificados como muestra 5, 6 y 10 fueron recolectados en este afloramiento y se describen en ese orden:

Muestra 5

La muestra obtenida en el punto de coordenadas 25°39 '54.60"S y 67° 8'28.00" O, corresponde a pelitas de color pardo claro, compacta, con intercalaciones de niveles arenosos generalmente pequeños. El afloramiento posee estratificación rumbo de 15° e inclinación 65° W, se encuentra alterado por procesos de meteorización. Dentro de esta unidad se observan restos de graptolites y varias impresiones de vegetales de diferente tamaños, la de mayor dimensión corresponde a 9 cm (Foto N° 13 a).

La muestra fresca posee una estructura de finas bandas, dada por la alternancia de minerales félsicos tipo blanquecino y maficos de tipo rojizos, acompañados por inclusiones de pirita oxidada. Las pelitas poseen una fábrica planar muy bien marcada, definida por la disposición de los filosilicatos de neoformación, principalmente clorita-sericita. (Foto N°13 b)



Foto N°13 A) Formación Falda Ciénega pardo rojiza con diferentes niveles de laminación y fósil de 9 cm. B) Muestra macroscópica se distinguen diminutas laminaciones con espesor del orden de milímetros

En la lámina de corte delgado se observa en forma poco nítida la alternancia de los niveles psamíticos y pelíticos. La matriz de este ejemplar con rasgos muy finos exhibe distintos minerales esenciales de cuarzo, plagioclasas con maclas tipo albita, feldespatos alcalinos (minerales mixtos de feldespato potásico y albita), y opacos. Los cristales que componen la finas venillas se corresponden a biotitas y moscovitas alteradas (Foto N°14)

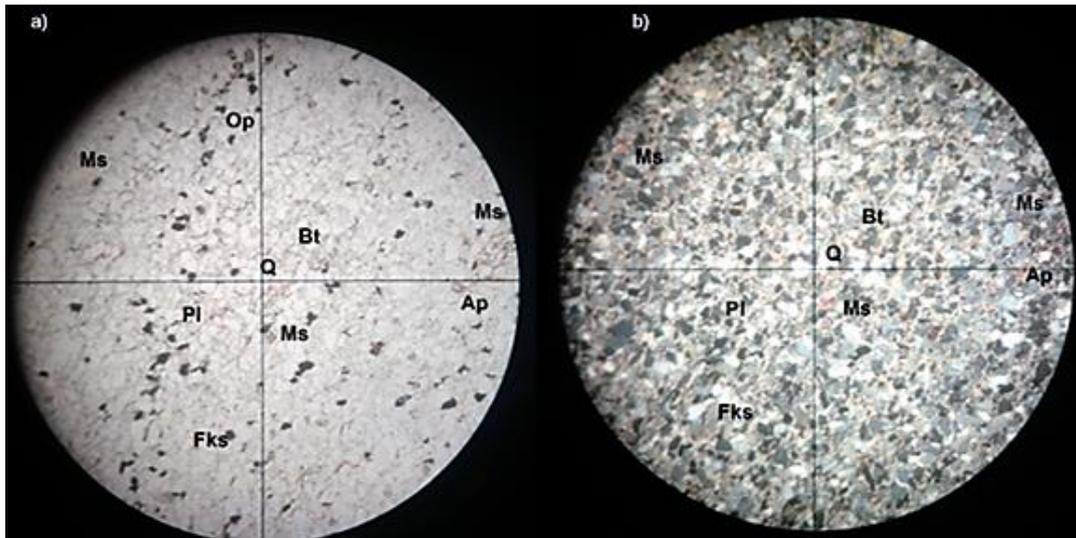


Foto N°14 –Microfotografía: a) Muestra de roca Pelitica con niveles Psamiticos, de estructura maciza-se distinguen el dominio de los minerales opacos. b) Los minerales micáceos forman diminutas venillas que cortan todo el corte delgado.

Muestra 6.

La unidad localizada sobre el Cordón O de la Subcuenca Peñas Blancas (Coordenadas 25° 38' 53.80"S - 67° 8'43.50"O), presenta una superficie meteorizada, estratificación con un rumbo de 22° e inclinación de 65° SW bien consolidada, formada por granos de minerales muy finos, formando una matriz limo-arcillosa. Posee una estructura de tipo planar horizontal que le otorga una notable fisibilidad en las capas. En la muestra fresca se observa la estratificación de los minerales diferenciados por la coloración, de láminas de aproximadamente 8 mm. Es posible identificar pequeños cristales de cuarzos, con diminutos niveles de moteados formados por los minerales ferromagnesianos.

Bajo el microscopio óptico la lamina delgada muestra una alternancia de niveles psamiticos y peliticos (relictos), con abundante minerales opacos que forman parte de la matriz. El cuarzo y biotita se encuentran presentes en una proporción menor, y con una orientación predominante a lo largo de todo el corte. Posee una estructura secundaria que se entrecruzan permitiendo denominarla como metaspamita con niveles peliticos de un anquimetamorfismo de muy bajo grado. (Foto N°15).

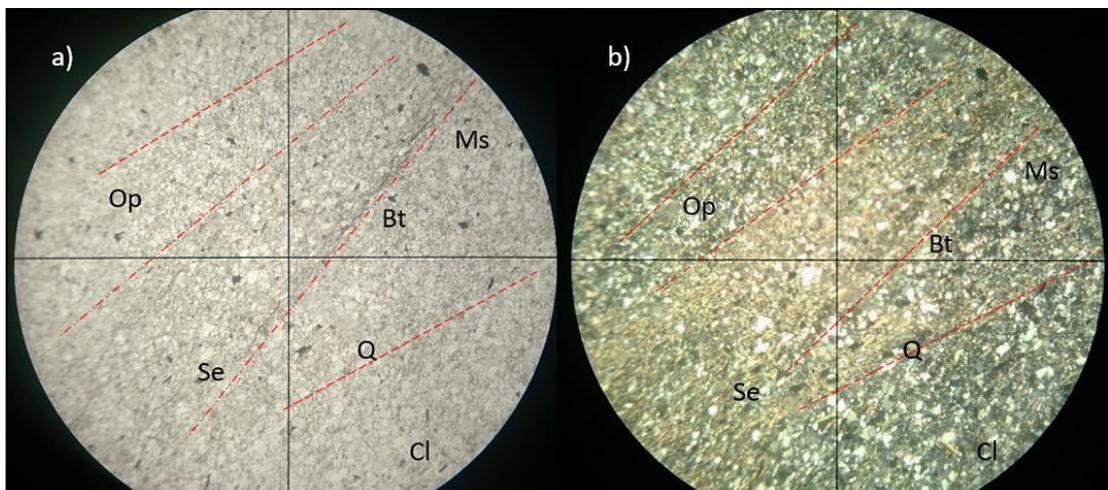


Foto N°15 Microfotografía -Roca metamórfica (filita) con antimetamorfismo definido por los relictos de la estructura secundaria –A) sin analizador B) con nicoles cruzados.

Muestra 10

Extraída de la ladera Oeste de la Subcuenca Peñas Blancas – (coordenadas 25°34'55.70"S- 67° 9'19.20"O) la zona se encuentra cubierta de material Cuaternario y vegetación baja, donde se pudo diferenciar pequeños estratos con alternancia rítmica, tipo microflich integrado por las capas de centímetros. Las capas más compactas presentan una coloración oscuro debido a la litificación y oxidación, en tanto que las capas más friables poseen un color verde claro de aproximadamente 2 cm de espesor. (Foto N°16).

El corte delgado muestra una matriz equidimensional, integrado por minerales maficos, imperceptible para ser diferenciados bajo el objetivo más pequeño. Los reconocibles son cuarzos muy euhedros con extinción levemente ondulosa. Siendo los minerales de mayor tamaño, las biotitas pardas- rojizas, muy alteradas en los bordes –anhedral- con leve pleocroísmo en nicols cruzados, Estas micas se disponen formando franjas alargadas que recorren todo el corte delgado. (Foto N°17)



Foto N°16 A) Afloramiento de la formación Falda Ciénega B) Muestra macroscópica de alternancia rítmica.

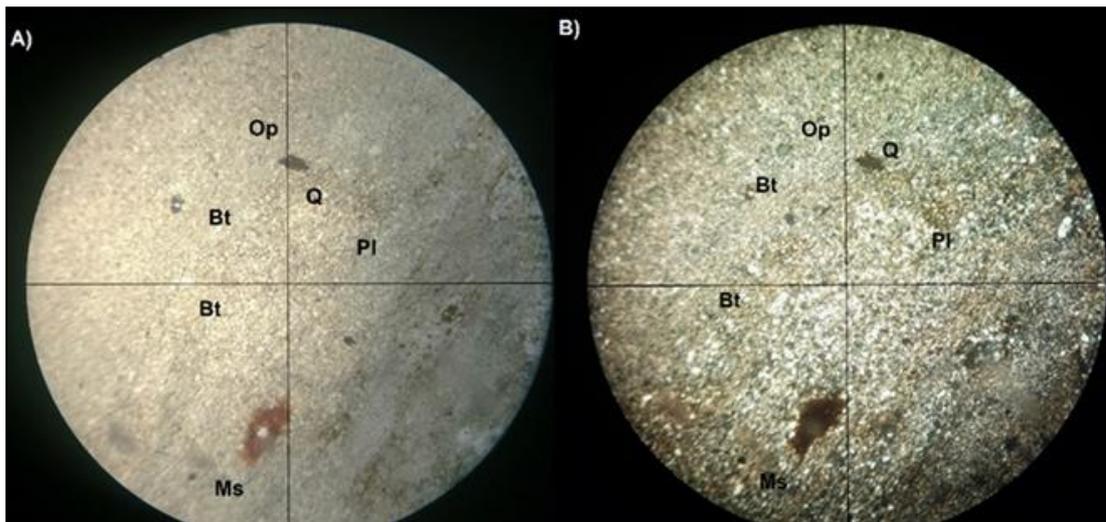


Foto N°17 Microfotografía: **A)** Luz directa, se identifican los minerales de (Q) cuarzo, (PI) plagioclasas (Bt) biotitas (Ms) muscovitas (Op) Opacos que conforman la matriz **B)** Con nicoles cruzados, se diferencia en el cuadrante derecho inferior los niveles Pelíticos por los la concentración de minerales micáceos observados bajo lente ocular 4x0.10.

III.2.1.3 FORMACIÓN TEBENQUICHO

Definida por González (1983) esta unidad corresponde a la primera fase magmática de edad Miocena. Los afloramientos se encuentran distribuidos en el sector central y Noroeste de la Cuenca Rio Trapiche con amplia distribución sobre el Cerro del Hombre Muerto.

Integrados por coladas y aparatos antiguos de composición dacita y andesita, en diferentes sectores se presentan de colores castaños oscuros, rojizos y violáceos. Hongn, F y Seggiaro, R. 2001- menciona la existencia de rocas andesitas anfibólicas y piroxénicas, brechas volcánicas y niveles tobáceos en algunos aparatos volcánicos que pertenecen a esta unidad.

Muestra 2

La muestra fue recolectada (Coordenadas 25°38'16.70" y 67° 5'42.80"O). El afloramiento presenta buena estratificación con rumbo de 232° e Inclinación 69° NE. En el sector centro y Sur de la cuenca de investigación. El paquete de color castaño oscuro de un 1,3 cm de espesor, contiene minerales leucocráticos, de castaño rojizos, con una textura piroclásticas suave al tacto, y estructura porfídica. Se encuentra meteorizado (diaclasado) en bloques. (Foto N°18)

La muestra fresca corresponde a una Ignimbritas con un alto grado de alteración considerándose un reoignimbrita compacta y maciza con cristales de cuarzo ligeramente redondeado, acompañado con plagioclasas de mayor tamaño aproximadamente de 2, 5 cm, con una alineación ligeramente fluidal. (Foto N°19)

Los minerales férricos de pequeño tamaño se encuentran distribuidos en toda la roca. Se diferencia macroscópicamente una orientación de los minerales leucocráticos, alternados con fenocristales férricos. Dentro de los minerales secundarios se observa en gran proporción, la presencia de vidrio volcánico.



Foto N° 18. Paquete de rocas Ignimbritas de la Formación Tebenquicho de espesor 1,2 m.

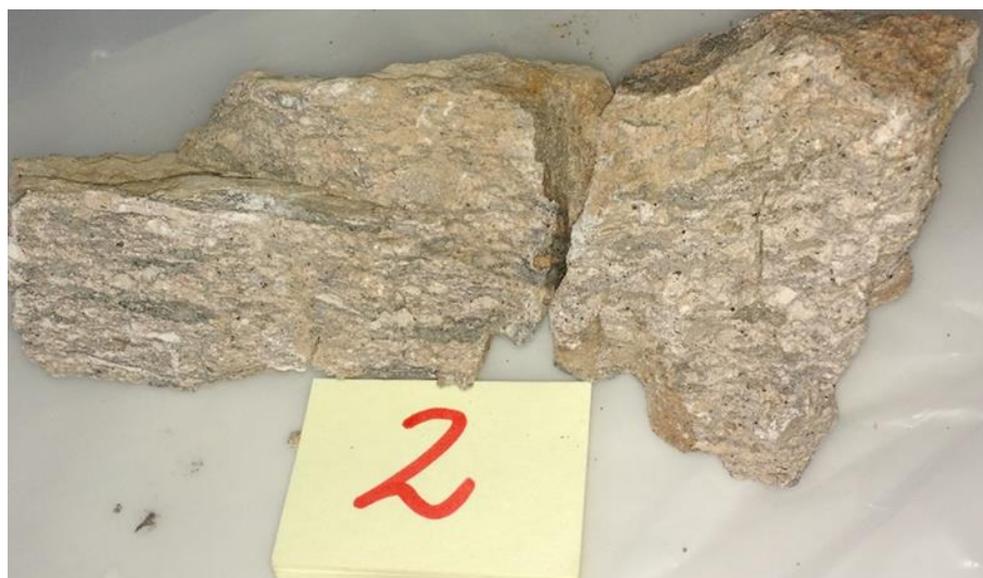


Foto N°19 Muestra macroscópica de una reoignimbritas, de coloración clara, con nódulos leucáticos que establecen una lineación dentro de una matriz muy fina

La muestra microscópica de la roca Ignimbrita de la formación Tebenquicho posee una estructura levemente fluidal con textura eutaxítica desarrollada por los flujos, cuya composición es lapilitica, inmersos en una matriz 90 % vítrea. Los minerales esenciales como cuarzo y plagioclasas anhédros dispuestos paralelamente a la dirección de flujo. Son destacables los sectores con desvitrificación en los márgenes de biotita parda (Foto N°20).

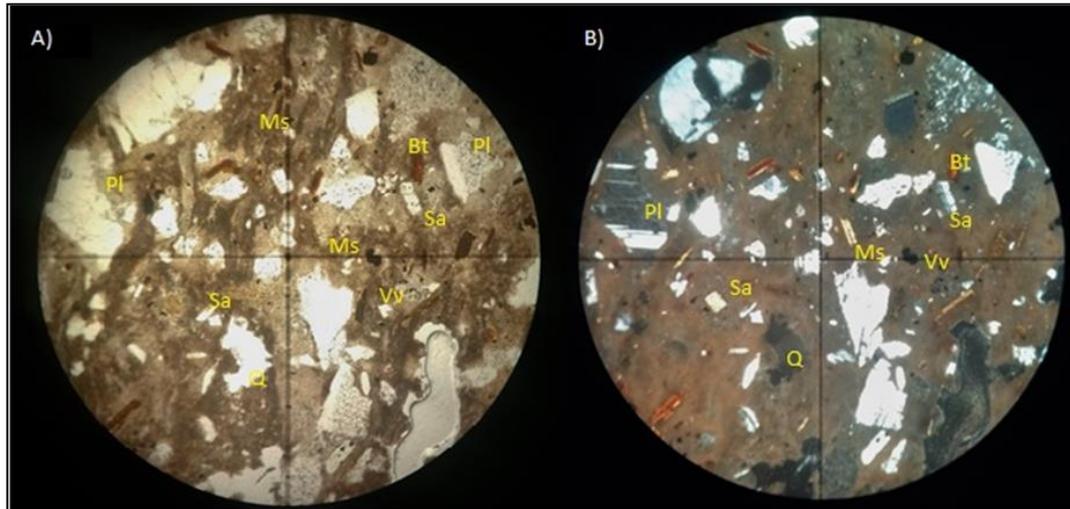


Foto N°20. Microfotografías con luz plana de Ignimbritas: A) Matriz compuesta de vidrio con vitroclastos deformados durante la compactación de la Ignimbrita., acompañada de fiames de los minerales micáceos. B) Se observan las maclas de las Plagioclasas y pequeños cristaloclastos de sanidina incolora, y límpida

Muestra 16

Esta muestra fue recolectada en los afloramientos ubicados en el sector N de la Subcuenca Trapiche (Coordenadas 25°35'0.82"S- 67° 2'40.93"O) tienen su máxima distribución en el denominado Cerro Hombre Muerto, los afloramientos corresponden a rocas Dacíticas e Ignimbritas Las primeras de una coloración ligeramente parda, con mayor compacidad y rugosidad que los afloramientos del centro-sur de la cuenca (Foto N°21).Las segundas próximas al río Trapiche forman mantos blanquecinos Ambos ejemplares muestran fragmentos líticos en su interior y presencia de vidrio volcánico de diferente tamaño. (Foto N°22)



Foto N°21- Muestra macroscópica - Dacita con fragmentos de lapilli



Foto N° 22 Formación Tebenquicho, Ignimbritas al margen Oeste del tramo superior del Rio Trapiche Ignimbrita blanquecina con vidrio volcánico y fragmentos lapillíticos de milímetros

La muestra 14.

Obtenida en los estratos dispersos del centro de la cuenca Trapiche (coordenadas 25°39'13.14"S y 67° 3' 30.50"O), en la cual sus macrocristales de cuarzos y plagioclasas se alojan en una fina matriz de minerales oscuros no identificados a simple vista, de color gris claro a oscuro. (Foto N°23)



Foto N°23 Muestra macroscópica - Roca Dacítica – Su textura es afanítica y porfídica con cristales de gran tamaño

En el análisis bajo microscopio polarizado, la lámina muestra que se trata de una roca tipo Dacita de textura hialopilitica, y estructura fluidal, con una matriz conformada por vidrio que aloja los critoclastos de cuarzo, plagioclasas, biotitas y algunos piroxenos alterados con hábito tabular.

Se distinguen en la muestra los litoclastos de mayor tamaño según la cronología de la zona éstos pueden pertenecer a los eventos magmáticos descriptos. (Foto N°24)

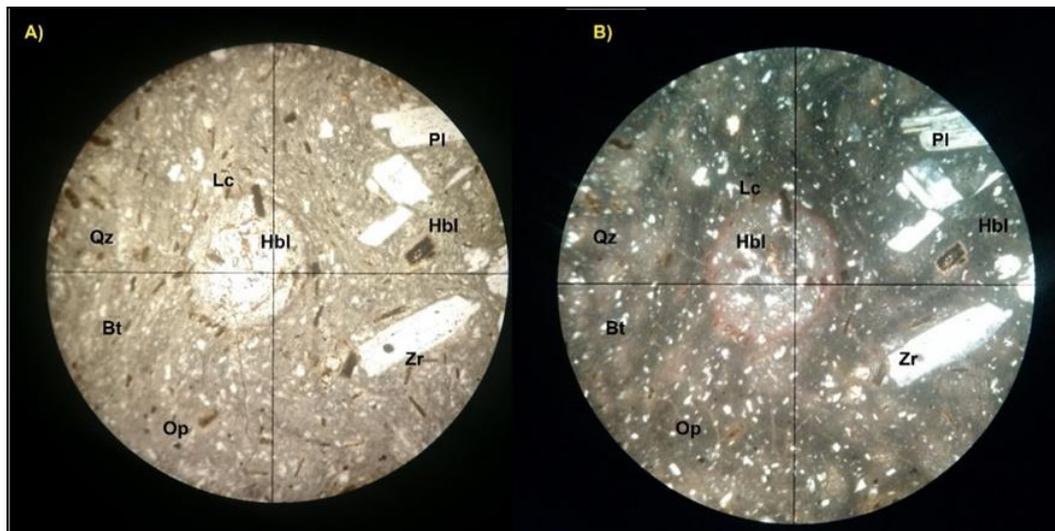


Foto N°24 Muestra microscópica -Roca Dacítica de matriz compuesta por vidrio y minerales opaco (Op), aloja minerales de biotitas muy diminutas, con hornblenas (Hbl) corroídas y alteradas euhedras. En el centro de corte se identifica un litoclasto de Honblenda en su interior.

III.2.1.4 COMPLEJO VOLCÁNICO CERRO GALÁN (CVCG)

El nombre de la unidad se debe a Francis 1978 desarrollado en la tercera Fase Magmática de edad Cuaternaria. Sus depósitos se identifican en el Sector S Campo Morado, en el centro y al E de la cuenca Rio Trapiche. Este complejo originado por la Caldera del Cerro Galán de dimensiones de 35 km de largo por 20 km de ancho la ubican entre una de las más grandes del mundo y la segunda de las hasta el presente detectadas en los Andes Centrales después de la caldera Lapacana en Chile (Gardeweg y Ramírez, 1988).se encuentra integrado por tres unidades, según su posición estratigráfica se definen como:

- Vulcanitas del centro surgente: Afloran en el centro de la caldera, formando un relieve positivo, constituidas por ignimbritas, dispuestas en forma de capas, con coloración blanquecinas a amarillentas.
- Lavas y domos de post caldera; representan la actividad volcánica de post caldera, con flujos de lavas y domos, muchos de los cuales están afectados por alteración hidrotermal.
- Ignimbrita Dacítica: constituidos en su mayoría por dacitas y andesitas El espesor de esta unidad varía de 180 m, se encuentra relleno de valles. Los depósitos se disponen en extensos mantos de ignimbritas distribuidos radialmente hasta distancias que alcanzan los 100 km desde el borde de la caldera. Los mantos continuos que presentan las mayores extensiones flanquean la caldera en su borde O-N.

Muestra 11

Las rocas que componen esta sección ubicada en el centro punto triple de contacto entre tres formaciones (Tebenquicho, CVCG, Falda Ciénega) (coordenadas geográficas 25°37'13.70"S y 67° 5'54.50"O) los planos de estratificación presentan un rumbo 9° e inclinación 69° SE. Cubren al sector una capa de sedimentos de coloración parda, además de una mezcla de derrubios de diferente génesis, Ignimbritas y basaltos. El paquete de vulcanitas negras analizado posee un color gris oscuro, con textura afanítica. En la muestra fresca se distinguen escasos fenocristales de tamaños menores a 0,002 mm, con brillo vítreo. (Foto N°25).

Dentro de la descripción microscópica se define una estructura fluida y textura hialopilitica, compuesta por un 80 % de vidrio además de pequeños cristales de plagioclasas tabulares con leves maclas de Carlsbad. Los cristales de sanidina se diferencian por ser esta, límpida e incolora, la Nefelina de mayor tamaño se distinguen levemente por su hábito cuadrado, el cuarzo euhedros, de pequeño tamaño en la fina matriz de la roca. (Foto N°26).



Foto N°25 Muestra de macro Vulcanita de grano muy fino, con diminutos moteados de minerales maficos

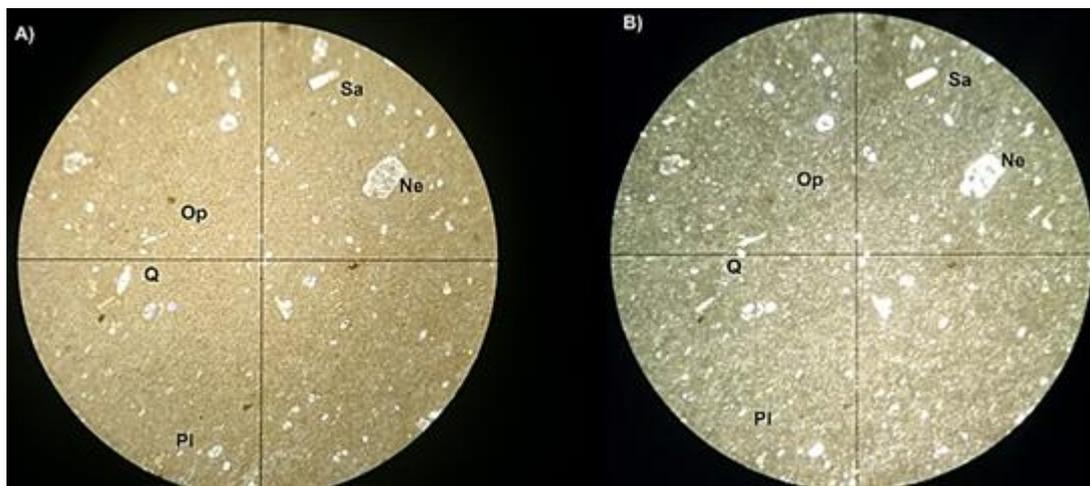


Foto. N°26 Muestra microscópica: Roca Volcánica de textura hialopilitica y estructura fluidal. Minerales presentes (Q) cuarzo, Sa (sanidina), (Ne) nefelina, (Pl) plagioclasas, (Q) cuarzo, (Op) Opaco, vidrio volcánico.

CUATERNARIO

Está representado por basaltos y materiales sedimentarios clásticos procedentes de la fragmentación de las distintas litologías descritas en esta cuenca. Integran los depósitos de pie de monte y zona de quebrada, el sector E posee una mayor concentración de detritos de cuarzo de coloración blanquecina, en tanto que en el centro de la cuenca corresponde a materiales muy finos tipo arenas y detritos de basaltos e ignimbritas.

III.2.1.5 FORMACIÓN INCAHUASI

La formación Incahuasi definida por Aceñolaza et al., 1976, corresponde a la cuarta fase magmática de la Puna, de edad Pleistocena. Sus afloramientos se localizan sobre las Serranías al O de la Cuenca, y constituyen coladas y conos de escorias basálticos como andesítico-basálticos. Esta unidad está bien representada en la Sierra de Incahuasi y bordeando el salar del Hombre Muerto.

Los basaltos de la última fase magmática provienen de magmas generados en el manto y que tuvieron un fraccionamiento relativamente escaso. Kay y Kay 1993, mencionan que los basaltos OIB (Oceanic Island Basalt) se originaron a partir de un proceso de laminación consistente en la remoción de bloques litosféricos, y su ocupación por material astenosférico fundido en la base de la corteza.

Los basaltos de la formación Incahuasi cubren algunas penínsulas limitantes de la cuenca Trapiche, como la Isla Catal (Península de Los Negros). En otros sectores sobreyacen a las sedimentitas rojas salinas, yesíferas, fuertemente deformadas, cuya base estratigráfica son las Ignimbritas del Galán, por debajo de la Ignimbrita continúa una sección de sal de roca, muy mezclada con arena y cenizas volcánicas, que en algunas perforaciones llegó a 90 m de espesor (Alonso et al., 1984b; Alonso, 1986).

Dentro de la cuenca de estudio se identificaron diferentes afloramientos (coordenadas 25°36'8.00"S y 67° 8'51.17"O) Estas rocas basálticas de colores oscuros y estructura fluidal poseen una amplia distribución por toda la área, distinguiendo una pequeña manifestación del afloramiento con un rumbo de 17° e inclinación de 50° SE. No se identifican minerales a simple vista, en la muestra fresca. Sin obtención de corte delgado para su análisis microscópico. No se realizó corte delgado de esta muestra. (Foto N°27)



Foto N°27 Afloramiento de la formación Falda Ciénega con derrubios de la Formación Incahuasi

III.2.1.6 DEPÓSITOS ALUVIALES Y COLUVIALES

Los depósitos cuaternarios están representados por materiales sedimentarios clásticos y evaporíticos.

Se reconocen los depósitos aluviales en el área central de la cuenca en estudio, formando los mantos de pie de monte están muy distribuidos a partir de algunos de los relieves mayores, así situamos como representativo el Cono Aluvial Trapiche localizado en la cuenca del mismo nombre.

Estas geoformas resultantes están compuestas por gravas, arenas y arcillas (barreales). Muestran una variación granulométrica bien definida entre las zonas proximales y distales donde generalmente están en contacto con las evaporitas de los salares. También contienen intercalaciones delgadas de tobas. (Foto N°28)

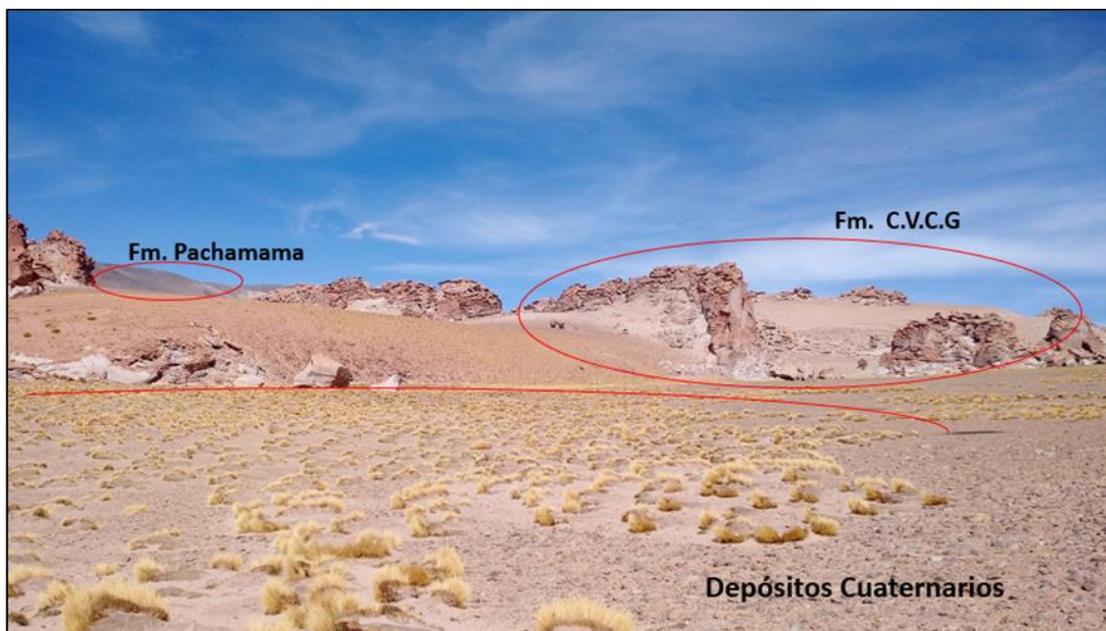


Foto N°28 Panorámica de terrenos cuaternarios, rodeados por Ignimbritas del Complejo Volcánico Cerro Galán, sobre el fondo a la izquierda se visualiza la Formación Pachamama sobre el Cerro Aguas Calientes



CAPITULO IV

MORFOMETRIA



VISTA DESDE EL OESTE DE LA CUENCA



IV.1 CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA

Una de las herramientas más importantes en el análisis hídrico es la morfometría de cuencas (Maidment, 1992; Verstappen, 1983; Campos, 1992, Gregory and Walling, 1985) que permite establecer parámetros de evaluación del funcionamiento del sistema hidrológico de una región, por su fuerte influencia en los fenómenos de escorrentía superficial, infiltración, erosión hídrica, entre otros. Recíprocamente, el aspecto hidrológico de la cuenca contribuye considerablemente a la conformación de ellas.

Constituyen una base cuantitativa para predecir la respuesta de la cuenca en función de algunos parámetros, estos pueden agruparse en tres grandes categorías:

- Los que se refieren a la **geometría de la cuenca**, tales como: tamaño, elongación y forma.
- Los relacionados con la **distribución de altitudes y pendientes**.
- Los vinculados a la **red de drenaje**, entre los que se destacan: la longitud de sus cauces, jerarquía, su grado de inclinación, densidad espacial y otros indicadores que definen la red.

La caracterización y discriminación de los factores morfométricos y topográficos de la cuenca se realizó a escala 1:100.000, a través del modelo digital de elevación, haciendo uso del software Google Earth, y sitios web – CONAE – Global Landcover Facility.

Estas aplicaciones permitieron obtener las imágenes bases para proceder al desarrollo de los cálculos y análisis de los parámetros por medio del programa ARCGIS 10.3.

La cuenca alta de Rio Trapiche abastece del recurso hídrico al Dique Trapiche y al Cono aluvial explotado por la empresa Minera del Altiplano-FMC.

El análisis de las características morfométricas, para esta cuenca se presenta individualmente en la Subcuenca Peñas Blancas y Subcuenca Trapiche, considerando los parámetros relacionados a forma, relieve y drenaje hídrico presentes en el área.

IV.1.1 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS RELACIONADOS CON LA GEOMETRÍA DE LA CUENCA

Los parámetros seleccionados para caracterizar la cuenca desde el punto de vista morfométrico se exponen a continuación:

A) ÁREA

Es la superficie en proyección horizontal encerrada por la línea divisoria de aguas, definida ésta como la línea imaginaria formada por los puntos de nivel topográfico más alto, que separa una determinada área de una superficie más extensa (Monserrat Jordi 1985). Respecto al tamaño de la cuenca existen diversas definiciones. Se utilizó la propuesta por I-PaiWu y R. Springall G (en Campo, 1998), Tabla N°5.

Tamaño de la Cuenca (km ²)	Clasificación
<25	Muy pequeña
25-250	Pequeña
250- 500	Intermedia- Pequeña
500- 2500	Intermedia a Grande
2500-5000	Grande
>5000	Muy grande

Tabla N°5. Clasificación de Cuencas según su tamaño (I-PaiWu y R.Springall 1998)



B) LONGITUD, PERÍMETRO Y ANCHO

Para el análisis de comportamiento hidrológico de una cuenca, la medida de la longitud de la misma deberá coincidir con el máximo recorrido del agua; es decir, se deberá tomar la longitud del curso principal definiendo como la medida de dicho curso en toda su longitud, y se simboliza por (L) incluyéndose, por tanto, toda la sinuosidad del mismo.

Perímetro (P) es la longitud del contorno del área de la cuenca. (Montserrat Jordi 1985)

Amplitud o ancho de la cuenca (W) es la amplitud de la cuenca de drenaje relaciona el área (A) de la cuenca y unidad de longitud (Montserrat J. 1985)

$$W = L / A$$

Los valores altos de W implicaran cuencas más anchas, y valores bajos implicaran cuencas elongadas, pero siempre por encima de 1.

C) FACTOR DE FORMA (Kf)

Este índice propuesto inicialmente por Maggette 1976, se estima a partir de la relación entre el ancho promedio del área de captación y la longitud de la cuenca, longitud que se mide desde la salida hasta el punto más alejado de ésta.

$$A = \frac{A}{L^2}$$

Este factor relaciona la forma de la cuenca con la de un cuadrado, correspondiendo un Kf= 1 para regiones con esta forma, que es imaginaria. Horton en 1932 propone la siguiente clasificación (Tabla N°6).

Tabla N°6. Clases de valores de Forma	
Rango de Kf	Clases de Forma
0,1 – 0,18	Muy poco achatada
0,18 – 0,6	Ligeramente achatada
0,36 – 0,54	Moderadamente achatada

D) ÍNDICE DE ALARGAMIENTO (Ia)

Este índice propuesto por Horton (1945), relaciona la longitud máxima encontrada en la cuenca, medida en el sentido del río principal y su ancho máximo, de acuerdo a la fórmula siguiente.

$$Ia = L / W$$

Cuando Ia toma valores mucho mayores a la unidad, se trata de cuencas alargadas, mientras que para valores cercanos a 1, se trata de una cuenca cuya red de drenaje presenta la forma de abanico y puede incluir un río principal corto (Tabla N°7)

Clase de Alargamiento	Rangos de Ia
Poco Alargada	0,0 – 1,4
Medianamente Alargada	1,5 – 2,8
Muy Alargada	2,9 – 4,2

Tabla N°7. Clases de cuencas, según su valor de Alargamiento (Horton, 1945)

E) RAZÓN DE ELONGACIÓN (Re)

Definido por Schumm (1956) es la relación entre el diámetro de un círculo con igual área que la cuenca y su longitud máxima.

$$Re = 1,128 \frac{\sqrt{A}}{L}$$

Los valores de Re varían entre 0,60 y 1,00. Está relacionado al relieve de la cuenca, ya que valores cercanos a la unidad se corresponden con relieves bajos, mientras que valores entre 0,60 y 0,80, indican relieves fuertes y pendientes pronunciados.

F) COEFICIENTE DE COMPACIDAD O GRAVELIUS (Kc).

El Índice de compacidad o índice de Gravelius (1914) (Ic), se define como la relación entre el perímetro (P) y el perímetro de un círculo que contenga la misma área (A) de la cuenca hidrográfica, como se ve en la siguiente expresión:

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}} \geq 1$$

Este valor adimensional, independiente del área estudiada, tiene por definición un valor de 1 para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Los valores de Kc nunca serán inferiores a 1.

El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a la unidad.

Las distintas clases de formas de una cuenca, propuestas por Mármol, 2008, según el índice de compacidad Kc se muestran en la Tabla N°8.

Clase de Forma	kc
Casi redonda a oval redonda	1 - 1,25
Oval oblonga	1,25 - 1,50
Rectangular Oblonga	1,50 - 1,75
Casi Rectangular (alargada)	>1,75

Tabla N°8. Valores de Índice de Compacidad (Mármol ,2008)

G) FACTOR CIRCULAR DE MILLER (Rc)

Miller (1945) usó una razón circular adimensional, definida como la razón del área de la cuenca (A) y el área de un círculo que tiene el mismo perímetro de la cuenca (P). Esta razón es menor o igual a uno; los valores disminuyen a medida que la cuenca es más alargada o rectangular y tienden a la unidad para cuencas redondas.

$$Rc = \frac{4\pi A}{P^2}$$

IV.1.2. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS RELACIONADOS CON EL RELIEVE

El relieve influye en la respuesta hidrográfica de la cuenca, porque a mayor pendiente, mayor velocidad del flujo en el río y por consiguiente, será menor el tiempo de concentración en la cuenca. Igualmente influye la altitud media, el rango de alturas y la elevación de la cuenca. La altitud es determinante en la temperatura y precipitación.

A) CURVA HIPSOMÉTRICA

(Strahler 1952) representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. También podría verse como la variación media del relieve de la misma.

Normalmente se puede decir que los dos extremos de la curva tienen variaciones abruptas. La función hipsométrica es una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación.

Una curva hipsométrica con concavidad hacia arriba indica una cuenca con valles extensos y cumbres escarpadas. Lo contrario indicaría valles profundos y sabanas planas. (Figura N°8).

Los parámetros característicos para ésta son altura media, altura media ponderada, altura frecuente. Su cálculo se realiza a partir de un plano topográfico, calculando la superficie encerrada en curvas de nivel.

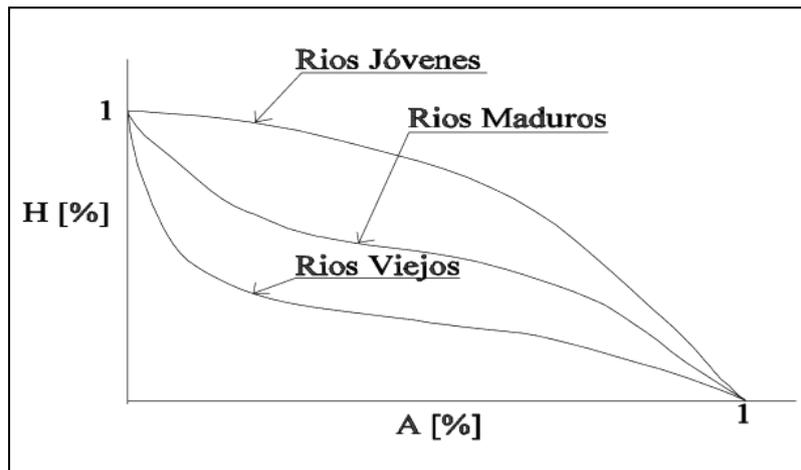


Figura. N°8 Curvas Hipsométricas Características Modelo de curvas hipsométricas del ciclo de erosión. (Senciales y Ferre, 1999).

B) ALTITUD MEDIA

Uno de los factores físicos que facilita el análisis del movimiento del agua, es el estudio de la distribución de las elevaciones del terreno. Definida como la relación entre área de un par de cotas y su altitud sobre el área total de la cuenca (José .A. Fuentes Junco 2008).

$$H_m = \frac{\sum (a_i * h_i)}{A}$$

H_m = Altitud media
a_i = Área entre par de cotas
h_i = Altitud media entre dicho par
A = Área de la cuenca



C) PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA

En la medida en que los valores de pendiente de la cuenca se incrementen mayores serán las posibilidades de generar crecidas, ya que la capacidad de arrastre de sedimentos y la velocidad del caudal en caso de tormentas se incrementa en aquellas cuencas que presenten valores altos de pendientes, caso contrario ocurre cuando ambos parámetros presentan valores bajo y contribuyen a que los picos de crecidas sean menos violentos. La pendiente media de la cuenca se calcula por el método de Alvord (Guevara y Cartaya 1991 y Ruiz, 2001), el cual se muestra a continuación:

$$Sc = \frac{\sum li * eq}{A} * 100$$

Sc: Pendiente media de la cuenca.

A

∑li: Sumatoria de todas las longitudes de las curvas de nivel (Km).

eq: Equidistancia entre curvas (Km).

A =Área de la cuenca (km²).

La interpretación de los valores de la pendiente media de una cuenca se muestra en la tabla N°9

Pendiente Media (%)	Terrenos
0 – 2	Llano
2 – 5	Suave
5 – 10	Accidentado Medio
10 – 15	Accidentado
15 – 25	Fuertemente Accidentado
25 – 50	Escarpado
>50	Muy Escarpado

Tabla N°9 Pendiente Media -Fuente: Pérez (1979)

D) MAPA DE PENDIENTES

Para obtener un gráfico de pendientes de la cuenca, se calcula con el software ArcGIS 10.3.1 haciendo uso de las herramientas que el programa ofrece. Este permite introducir valores específicos para obtener una discriminación por gama de colores según los rangos de porcentajes que el usuario especifique. A su vez se obtiene una tabla con datos del parámetro pendiente. Araya- Vergara y Borgel (1972) proponen una identificación de grados con sus correspondientes tipos. (Tabla N°10).

Grados	Rango en Porcentaje	Tipo
0°–2°	0-4,5	Horizontal
2° - 5°	4,5 - 11	Suave
5 °– 10°	11 – 22	Moderada a Fuerte
10° – 20°	22 – 44.5	Fuerte
20° – 30°	44,5 – 67	Muy fuerte a moderadamente escarpada
30° – 45°	67 – 100	Escarpada
>45°	>100	Muy escarpada a acantilada

Tabla N°10 Rango de Pendientes .Araya- Vergara y Borgel (1972)

E) PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL (Sc)

El conocimiento de la pendiente del cauce principal de una cuenca, es un parámetro importante, en el estudio del comportamiento del recurso hídrico, como por ejemplo, para la determinación de las características óptimas de su aprovechamiento, ya sea hidroeléctrico, o en la solución de problemas de inundaciones (Villon, 2002). Tabla N° 11. Este parámetro se obtiene a partir de la diferencia entre el punto más alto (H max) y el punto más bajo (Hmin) del perfil del río dividida por la longitud (L) del mismo, entre los dos puntos mencionados.

$$S_c = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} * 100$$

Rangos de % de pendiente	Clasificación
0-2	Plano o Casi a Nivel
2 – 4 %	Ligeramente Inclinado
4 – 8 %	Moderadamente Inclinado
8 – 15 %	Fuertemente Inclinado
15 – 25 %	Moderadamente Empinado
25 – 50 %	Empinado
50 – 75 %	Muy Empinado
>75 %	Extremadamente Empinado

Tabla N°11 Clasificación de la pendiente

F) COEFICIENTE DE MASIVIDAD (Km)

Este coeficiente fue establecido por De Martonne (1940) y resulta de dividir la altura media de una cuenca (H) entre su superficie proyectada (A). (Tabla N°12).

$$k_m = \frac{H}{A}$$

Este valor toma valores bajos en cuencas montañosas y altos en cuencas llanas.

Rangos de Km	Clases de Masividad
0 – 35	Muy Montañosa
35 – 70	Montañosa
70 - 105	Modernamente montañosa

Tabla N°12 Rangos de Coeficiente de masividad (De Martonne)

IV.1.3. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS RELACIONADOS CON LA RED DE DRENAJE

La red de drenaje, es el resultado de la combinación de factores climáticos, edáficos, geológicos, geomorfológicos y de la vegetación. Responde a las condiciones del modelado actual, como también representa condiciones antiguas diferentes, sin descontar el efecto antrópico. El establecimiento de una jerarquía u ordenamiento de los distintos cauces que componen la red de escurrimiento, constituye el aspecto central en su análisis.

El drenaje ha reunido un conjunto numeroso de parámetros que representan propiedades inherentes al sistema fluvial. Horton (1945), Schumm (1956) y Strahler (1957) fueron pioneros en la caracterización morfológica cuantitativa de cuencas de drenaje.

Puede ser analizado sobre la base de las siguientes características:

A) NÚMERO DE ORDEN

Strahler (1957) propuso una clasificación de cursos fluviales basada en la organización de los tributarios, de modo que un curso de orden 1 carece de tributarios, uno de orden 2 es formado por la confluencia de dos cursos de orden 1, uno de orden 3 es formado por la confluencia de dos de orden 2, y así sucesivamente (Figura N°9). El orden de una cuenca de drenaje está dado por el curso de orden mayor.

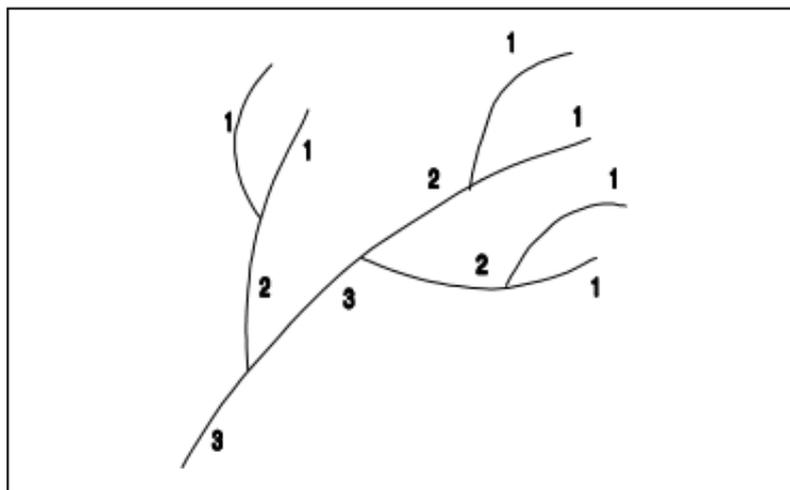


Figura N°9 Clasificación de cursos fluviales -Strahler (1957)

Este índice, indica el grado de estructura de la red de drenaje. En general, mientras mayor sea el número de orden del drenaje, mayor será la jerarquización de la red y su estructura será más definida. Asimismo, un mayor orden indica la presencia de controles estructurales del relieve y mayor posibilidad de erosión o bien, que la cuenca podría ser más antigua (Tabla N°13).

Rangos de Ordenes	Clases de Orden
1 – 2	Bajo
2 – 4	Medio
4. – 6	Alto

Tabla N°13 Clasificación de Ordenes de Corrientes Fluviales- según Strahler en Gregory 1985.

B) DENSIDAD DE DRENAJE

Este índice permite tener un mayor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. En general, las cuencas de escasa densidad de drenaje se encuentran en áreas de elevada permeabilidad o sustrato geológico resistente, bajo cubierta vegetativa densa y sobre relieves suaves.

Gregory and Walling (1985), (Tabla N° 14) sostienen que la densidad de drenaje es un indicador que relaciona los atributos de forma de la cuenca con los procesos que operan



a lo largo del curso de la corriente. Refleja controles topográficos, litológicos, pedológicos, además de incorporar la influencia del hombre.

La densidad de drenaje (Dd) se calcula dividiendo la longitud (L) total de las corrientes de la cuenca por el área (A) total que la contiene, o sea:

$$Dd = \frac{L}{A}$$

Las clases de densidades, utilizadas para este análisis, se muestran en la Tabla N° 10.

Rangos de densidades de drenajes	Clases
<5,0 km/km ²	Baja
5,0- 13,7 km/km ²	Moderada
>13,7 km/km ²	Alta

Tabla N°14 Clase de densidades de Drenajes (Gómez Espinares 2003)

C) DISEÑO DE DRENAJE

El modelo de la red drenaje también es un parámetro interesante para la descripción de la cuenca. Se empleó la clasificación de Way (1978), (Figura N° 10):

- **Dendrítico:** su vista en planta se asemeja a un árbol con sus ramas en ángulos agudos. Se da en terrenos de composición homogénea y pendiente uniforme. Constituye una forma de desarrollo libre, sin control estructural.
- **Pinnado:** cuencas dendríticas modificadas, con drenajes en forma de nerviación de hojas, los tributarios se unen formando ángulos casi rectos, que se agudizan aguas arriba. Indican elevado contenido de limo en el suelo. Típicas de zonas de loess o llanuras aluviales de textura fina.
- **Rectangular:** los tributarios se juntan con las corrientes principales en ángulos casi rectos y dan lugar a formas rectangulares controladas por las fracturas y las juntas de las rocas. Típico de rocas resistentes y fracturadas. Se da en rocas ígneas intrusivas, metamórficas, areniscas resistentes en climas áridos, o areniscas con poco desarrollo de suelo en climas húmedos.
- **Angular:** variante del drenaje rectangular, donde las fracturas forma ángulos agudos. Curvas fuertes de ángulos grandes, aguas arriba. Control litológico muy importante (ej. en areniscas se desarrollan uniones paralelas y en calizas, las uniones son muy agudas).
- **Enrejado:** los tributarios y pequeños arroyos paralelos, se unen en ángulos rectos. Control estructural predominante (estratificación, pliegues, fracturas, diaclasas, etc.).
- **Desordenado:** sistemas no integrados, formas de suelos jóvenes, topografía llana o suave Elevado nivel freático depresiones, como zonas pantanosas, lagunas, etc. Llanuras jóvenes, al final de morrenas y en llanuras aluviales.
- **Paralelo:** pendientes uniformes y suaves, donde las corrientes principales evidencian fallas o fracturas, tributarios forman ángulos iguales. Llanuras costeras y de grandes afloramientos basálticos.
- **Radial Centrifuga:** red circular con canales paralelos procedentes de un punto elevado. Corriente colectora principal que circula alrededor de la base de la elevación topográfica. Típico de volcanes y cerros aislados.

- **Anular:** similar al drenaje radial, pero los contactos o fracturas de la roca forman tributarios paralelos concéntricos. Típicos de cerros de roca granítica o domos sedimentarios.
- **Radial Centrípeto:** variante inversa del sistema radial centrifuga. El drenaje se dirige hacia un punto central, que es una depresión como el centro de anticlinales o sinclinales erosionados.

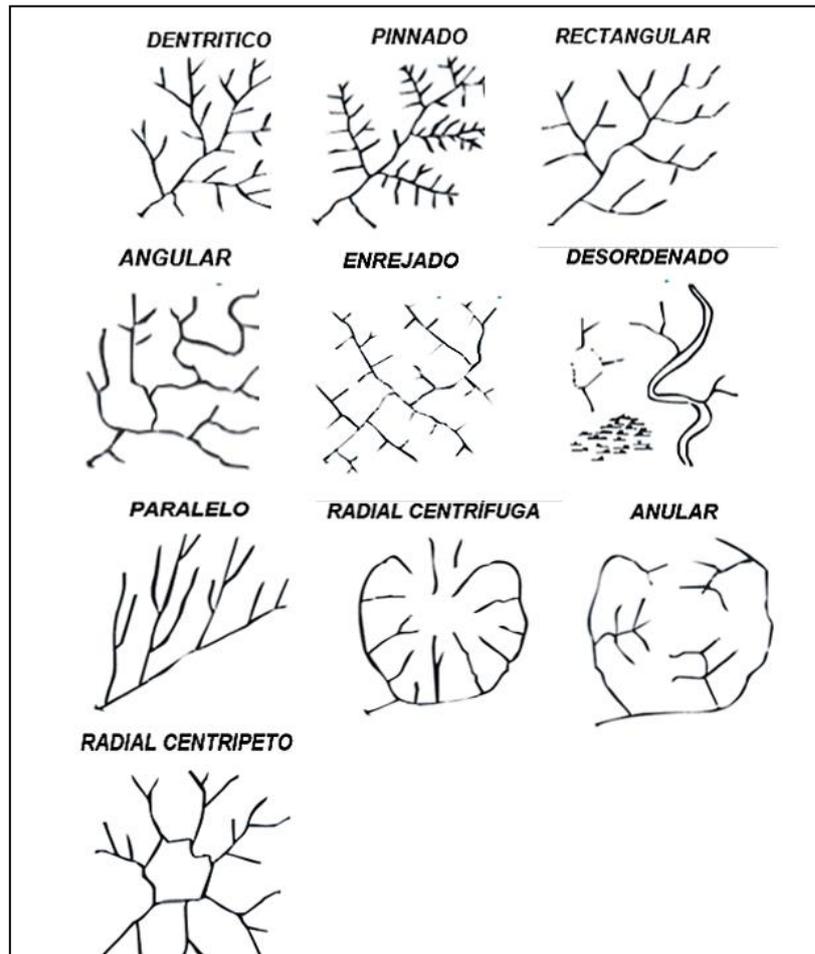


Figura N° 10. Tipo de diseños de drenaje según Way (1978)

D) RELACIÓN DE BIFURCACIÓN (Rb)

Según Horton, 1945, es la relación entre el número de canales de un orden dado (Nn) y el número de canales del orden inmediatamente superior (Nn+1).

$$R_b = \frac{N_n}{N_{n+1}}$$

La relación de bifurcación generalmente varía entre 3 a 5. Los valores más altos son esperados en regiones montañosas y rocosas o en cuencas alargadas en la dirección del río principal o del río de mayor orden.

IV.2 CARACTERIZACION MORFOMETRICA DE LA SUBCUENCA PEÑAS BLANCAS

IV.2.1. PARÁMETROS DE FORMA

La Subcuenca Peñas Blancas posee una superficie de 151,41 km², clasificada como pequeña, siguiendo el criterio de I-PaiWu y R. Springall G (1998), y con un perímetro de 82,72 km. Posee una longitud axial (L) de 17,09 km medida desde la parte Sur próximo a las Serranías de Falda Cienega, sector donde su altura máxima corresponde a 5150 m hasta la desembocadura en el sector Norte sobre el cono Aluvial Trapiche, con altura mínima de 4100 m. El ancho promedio es de 9 km, aproximadamente la mitad de su longitud, definiendo una cuenca alargada en sentido NNW-SSE (Tabla N°15)

CUENCA RIO PEÑAS BLANCAS	
Centroide de (PCS: POSGAR 1994 Argentina Zona 3)	
Cota mínima	4100 msnm
Cota Máxima	5150 msnm
Z centroide	4585
Área (A)	151,41 km ²
Perímetro (P)	61,08 km
Longitud cuenca (L)	17,09 km
Ancho Promedio	9 km

Tabla N°15 Resultado de parámetros principales de la Subcuenca Peñas Blancas

Los índices de forma, calculados para esta Subcuenca, se muestran en la Tabla N°16.

El índice de alargamiento propuesto por Horton, con un valor de 1,9, caracteriza esta área de estudio, como una superficie alargada de clase dos, la cual contiene un cauce de corta longitud.

El coeficiente de forma (Maggete, 1976) es de 0,5 y la define como una cuenca ligeramente achatada, situación que se observa especialmente en el sector norte de la Subcuenca.

Al relacionarse ambos parámetros y teniendo como referencia su área, se puntualiza que el escurrimiento superficial de los tributarios al cauce principal es de corto recorrido uniéndose a éste, sin producir un gran arrastre de sedimentos aun cuando el coeficiente o razón de elongación propuesto por Schumm es de 0,81, evidencia que el relieve presente en la Subcuenca es de carácter fuerte y pronunciado.

Los cursos de agua no producen una fuerte erosión, debido a que los terrenos por donde corren los cauces menores, especialmente en el sector Oeste constituido por afloramientos basálticos de las formaciones Incahuasi y Falda Cienega son de naturaleza litológica resistente a la erosión hídrica.

El índice de compacidad (Gravelius 1914) obtenido es de 1,3. Permite clasificar a la Subcuenca en la clase dos como oval oblonga, indicando que predominan las características de alargamiento en sentido del cauce principal Norte- Sur respecto del sentido Este - Oeste.

Estos parámetros indican que la Subcuenca Peñas Blancas, posee características adecuadas para una rápida evacuación de las aguas a través del cauce principal, en casos de avenidas o crecientes, si bien éstas son escasas debido a las bajas precipitaciones que dominan la región.

Estos índices obtenidos se rectifican al evaluar el índice de Miller que compara el área de la Subcuenca con el área de un cuadrado que tiene el mismo perímetro de esta cuenca, obteniendo un índice de 0,6 que define a la Subcuenca con una mediana circularidad.

Índices de Forma	Resultados
Coficiente de Forma (kf)	0,5
Índice o Razón de elongación (Schumm)	0,81
Índice de Compacidad (kc)	1,2
Índice de Miller (Rc)	0,6
Índice de Alargamiento (Ia)	1,9

Tabla N°16 Índices de forma Subcuenca Peñas Blancas

IV.2.2. CARACTERÍSTICA SEGÚN LA ALTITUD

CURVA HIPSOMETRICA

La curva hipsométrica relaciona la altura relativa vs el área relativa y expresa el relieve medio de la Subcuenca Peñas Blancas, (Tabla 17). El perfil expone una zona en la que máximas y mínimas altitudes contienen áreas de menor acumulación, esto origina el desarrollo de un cauce muy joven en las altitudes medias por lo cual su grado de erosión es bajo considerando la dureza de la litología del terreno, dominada por rocas ígneas resistentes.(Figura 11).

	Área (km ²)	Cota Mínima	Cota Máxima	Área acumulada (km ²)	Desnivel - Área entre curvas (m)	Área relativa (%)	Altura relativa (%)
Subcuenca Peñas Blancas	526,05	4071	4181	526	998	0,03	1
	909,72	4182	4292	1436	887	0,09	0,89
	1272,4	4293	4403	2708	776	0,18	0,87
	2286,9	4404	4514	4995	665	0,33	0,86
	3845,4	4515	4625	8841	554	0,58	0,83
	1918,2	4626	4735	10759	444	0,71	0,80
	1829,2	4736	4846	12588	333	0,83	0,75
	1798,7	4847	4957	14387	222	0,94	0,67
	634,86	4958	5068	15021	111	0,99	0,50
	212,04	5069	5179	15233	0	1,00	0
Total	15233			86493			
Diferencia de Altitudes			3144 m				

Tabla N°17 Datos procesados para la Curva Hipsométrica Rio Peñas Blancas

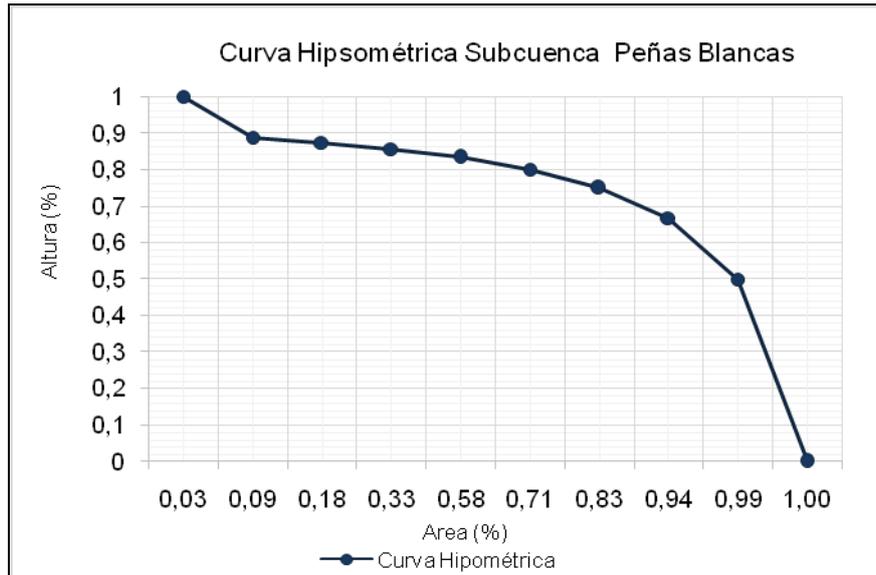


Figura N°11 Curva hipsométrica de la Subcuenca Peñas Blancas

El mapa de pendientes para esta Subcuenca siguiendo el criterio de división de las inclinaciones en grados de Araya- Vergara y Borgel, 1972, manifiesta que en el sector Oeste, sobre las laderas del Cerro Incahuasi, contiene las pendientes mayores hasta 40° en algunos casos, descienden progresivamente hacia el NE, donde se encuentran las zonas más llanas con una inclinación promedio de 6°, sobre los depósitos aluviales de la cuenca. (Figura N°12)

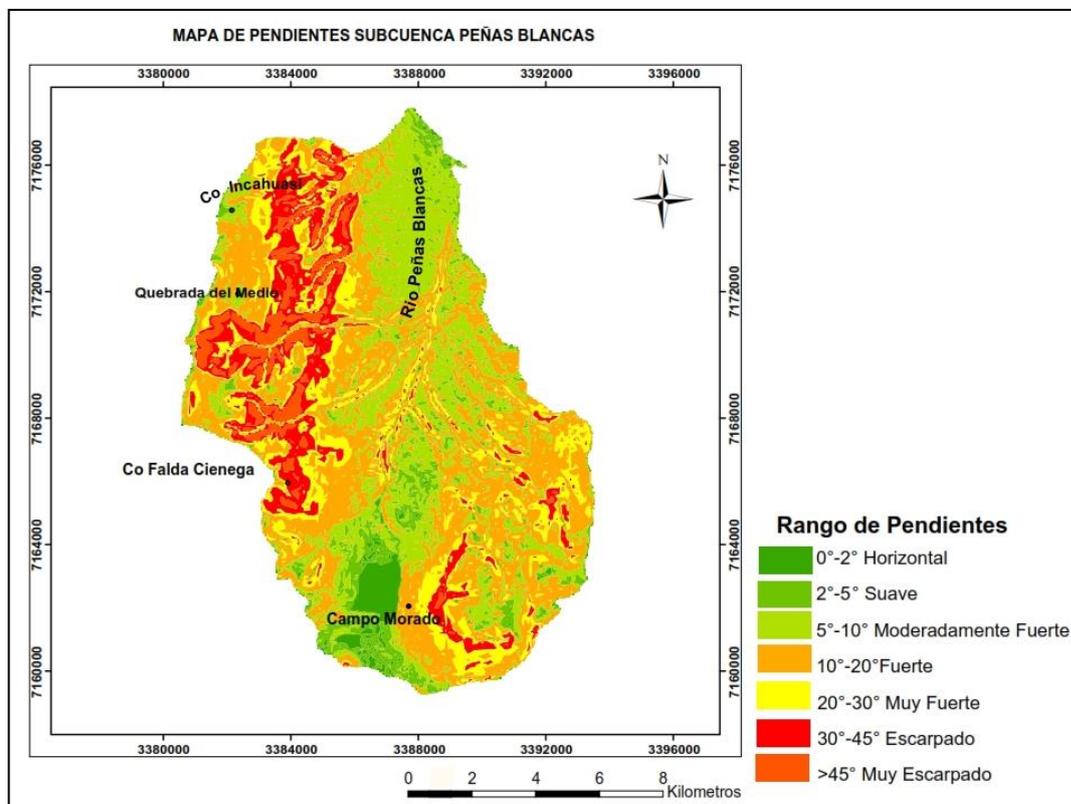


Figura N°12 Mapa de Pendientes en la Subcuenca Peñas Blancas con rango de porcentaje de alturas (Araya- Vergara y Borgel 1972).

PENDIENTE MEDIA

La pendiente promedio obtenida corresponde a 35 %, identificado la zona como un terreno accidentado. Del mismo modo el coeficiente de masividad propuesto por De Martonne, año 1940 con un valor de 20,63 % demuestra la característica de una cuenca con valles extensos y de cumbres escarpadas, en una región montañosa con ríos juveniles.

LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL

El cauce principal de la Subcuenca presenta una altitud máxima 4450 m., una mínima de 4.100 m. con una longitud total de 17,09 Km desde la nacientes en el sector Sur sobre los afloramientos de la formación Falda Cienega hasta su punto de aforo en el sector Noroeste (Figura N°13). Se trata de un cauce casi recto, donde la mayor concentración de caudal se produce en el sector medio de la cuenca, el cual es alimentado principalmente desde el sector Oeste donde se encuentra las mayores pendientes de los terrenos.

La figura N° 14 muestra el perfil del rio Peñas Blancas con una pendiente moderadamente empinada, con un valor promedio de 20° desde las nacientes hasta su punto de aforo.

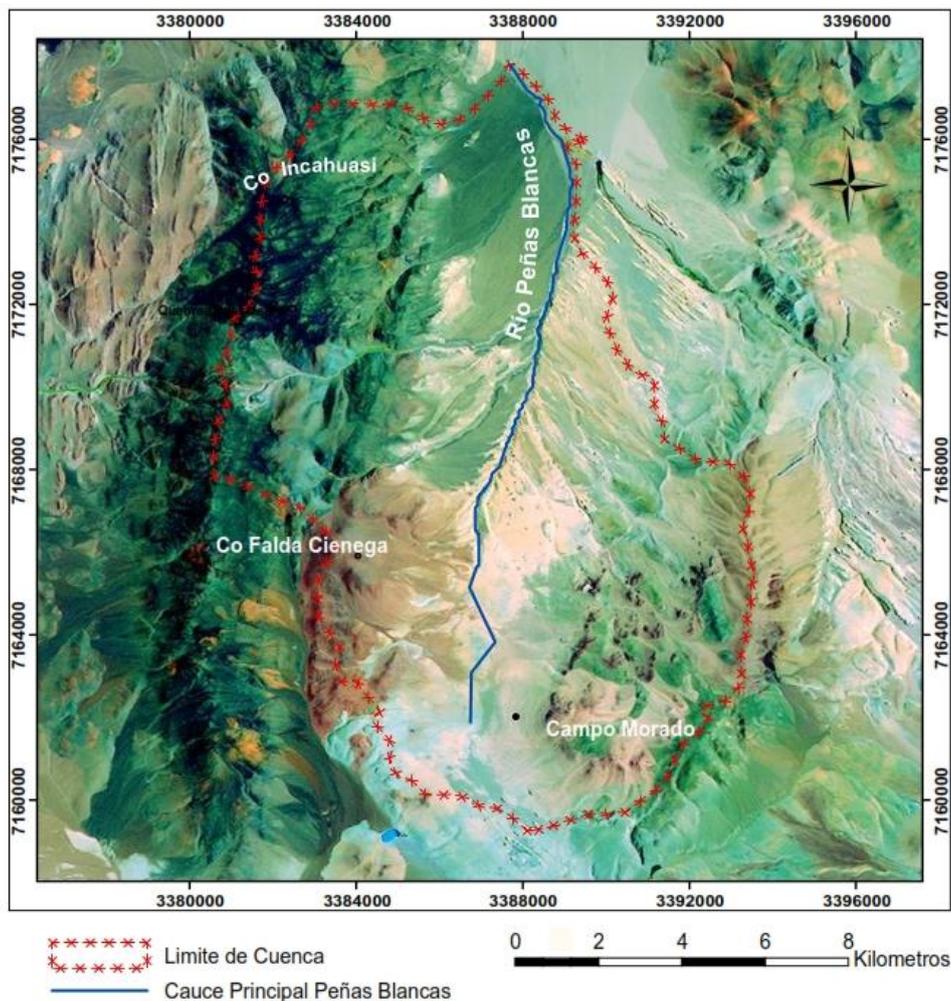


Figura N°13 Subcuenca Peñas Blancas con su cauce principal

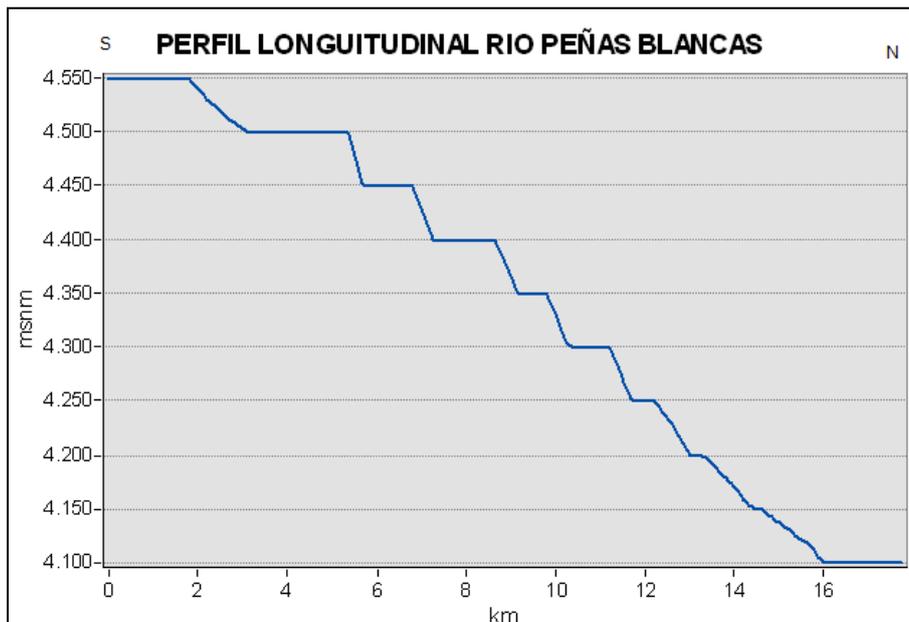


Figura N°14 Perfil del cauce Principal Río Peñas Blancas

IV.2.3 PARAMETROS DE LA RED HÍDRICA

En el análisis de hidrológico de la Subcuenca Peñas Blancas se obtuvo un orden de drenaje orden 4, registrado desde el centro de la cuenca hasta el punto de desembocadura. Los distintos órdenes de la red de drenaje, se diferencian de acuerdo a gradiente de colores dentro del mapa. (ANEXO II: MAPA HIDROLÓGICO SUBCUENCA PEÑAS BLANCAS)

La comparación entre las densidades de drenaje de los ríos de orden 1 (1,5 km/km²) respecto a los de orden 2 (0,8 km/km²) demuestra que en las nacientes de la cuenca, (zonas de relieve más altas), se encuentra la mayor concentración de huellas de drenaje fluvial. Estas zonas corresponden principalmente al sector Oeste y Sureste de la cuenca sobre las laderas de los Cerros Incahuasi y Falda Cienega, y en menor medida al sector Sureste sobre los afloramientos de las formaciones Tebequincho y Falda Cienega

La muy baja densidad total de la red drenaje obtenida con valor 2,6 está condicionada netamente por los factores litológicos de elevada resistencia por los que fluyen los cursos de agua y el desarrollo de la baja cubierta vegetativa de la región. (Tabla N°18)

Según Strahler en Gregory 1985			Clase de densidades de Drenajes (Gómez Espinares 2003)	Horton 1945
Orden de la red Hídrica	Total de Cauces	Longitud (Km)	Densidad de cada orden (km/km ²)	Relación de Bifurcación (Rb)
Orden 1	556	222,48	1,5	2,2
Orden 2	253	117,31	0,8	3,1
Orden 3	82	42,19	0,3	2,1
Orden 4	40	14,21	0,1	
Total	931	396,2	2,6	2,4
Área de la Subcuenca Peñas Blancas (km ²) 152,4				

Tabla N°18. Valores Obtenidos de los Parámetros de la Red Hídrica.

La mayor longitud de cauces corresponde a los de orden 1 (60 %), seguido por los de ríos de orden 2 (27 %), en tanto que las menores se dan en el orden 3 (9%), orden 4 (4%), orden (Figura. N°15).

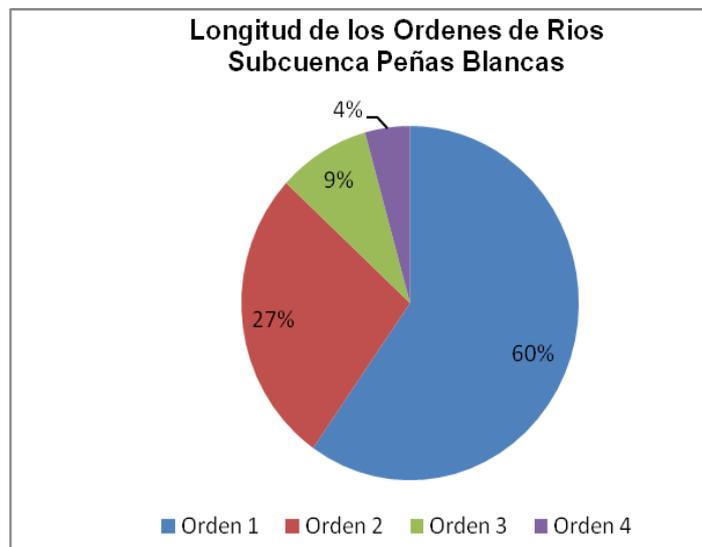


Figura N°15 Representación estadística de la longitud de los Ordenes de Ríos dentro de la Subcuenca Río Peñas Blancas

En relación a los diseños que presenta la de red de drenaje en la Subcuenca Peñas Blancas, se diferencia las tramas dendríticas en las zonas de mayor altura sobre los terrenos de dominio litológico de basaltos y sedimentitas compactas. Completan el diseño los estilos subparalelos desarrollados en los terrenos más bajos del área los mismos están influenciados por las bajas pendiente del terreno y campos Ignimbríticos.

Los resultados de la relación de bifurcación (R_b) siguiendo lo propuesto por Horton, demuestran que los órdenes 1 y 3 poseen los menores valores de división 2,2 y 2,1 respectivamente, éstos corresponden a tramos de corta longitud. En las zonas de pendientes más bajas, se presentan los cursos de agua de orden 2 que poseen el mayor valor de bifurcación con un total de 3,1.

IV.3. CARACTERISTICAS MORFOMETRICAS DE LA SUBCUENCA RIO TRAPICHE

IV.3.1 PARAMETROS DE FORMA

La Subcuenca Trapiche posee una superficie de 128, 71 km², es clasificada como una cuenca intermedia a pequeña, siguiendo el criterio de I-PaiWu y R. Springall G, con un perímetro (P) de 82,72 km y una longitud axial de 25,27 km medida desde el sector S donde alcanza la cima del Nevado de Concha Argolla, con 5229 m, hasta la desembocadura en el sector N próxima al Dique artificial Trapiche (4125 m). El ancho (W) obtenido para la Cuenca es de 5 km, valor inferior al obtenido en la Subcuenca Peñas Blancas. (Tabla N°19)

SUBCUENCA TRAPICHE	
Centroide de (PCS: POSGAR 1994 Argentina Zona 3)	
Cota Mínima	4125
Cota Máxima	5229
Z centroide	4689
Área (A)	128,71
Perímetro (P)	61,08 km
Longitud cuenca (L)	25,27
Ancho Promedio	5

Tabla N°19 Resultado de parámetros principales de la Subcuenca Trapiche

Sobre las bases elegidas para las caracterización de las propiedades morfométricas en una cuenca, se han obtenido los coeficientes relacionados con la variables elongación y contorno, para la Subcuenca Trapiche (Tabla N°20).

El índice de alargamiento de Horton (1945), de 5,0 designa a la superficie como clase tres muy alargada, con un cauce medianamente largo. En tanto el factor forma (Magette 1976, Horton 1932) con valor de 0,2 la caracteriza como moderadamente achatada en sus laterales, situación que se rige especialmente el centro de la Subcuenca.

La relación de longitud de Schum (1956) de 0,5 permite describir a la Subcuenca trapiche como una superficie alargada de sentido SE a NE, favorecida por el achatamiento de sus laterales con un fuerte relieve en sector E de la Cuenca, estos valores obtenidos, le otorgan características que favorecen la rápida circulación de agua al cauce principal el río Trapiche.

El índice de compacidad de 1,5 (Gravelius 1914) permite definir la Subcuenca como rectangular oblonga y de mediana compacidad lo que indica que al producirse el escurrimiento a través de su red de drenaje esta posee un buen modelo para la concentración de aguas, beneficiada por el corto recorrido de los tributarios.

El coeficiente de circularidad de Miller corresponde a 0,4 apoya las clasificaciones anteriores. Definiendo a la Subcuenca como rectangular, donde las crecidas pueden considerarse más vigorosas por su mayor compacidad y pendientes superiores, sin embargo debido al déficit de precipitaciones de la región y la litología resistente de las rocas ígneas, como metamórficas presentes en el área descartan la posibilidad de formación de grandes torrentes, otorgando solo la característica de poder obtener un mayor caudal en el cauce principal.

Incides de Forma	Resultados
Coeficiente de Forma (kf)	0,20
Indicé de Compacidad (kc)	1,5
Indicé de Miller (Rc)	0,4
Índice de Alargamiento (Ia)	5
Razón de Elongación (Re)	0,5

Tabla N°20 Índices de forma Subcuenca Trapiche

IV.3.2. CARACTERÍSTICA SEGÚN LA ALTITUD

CURVA HIPSOMETRICA

La curva hipsométrica para esta Subcuenca expresa el relieve medio y la relación entre área de acumulación relativa vs altitudes relativas (Tabla N°21). El perfil muestra una variación brusca de la elevación, en el tramo superior con altura máxima de 5244 m, donde están contenidas las menores áreas de acumulación. En el sector medio y tramo final, donde predomina un relieve, de suave pendientes que favorece la acumulación de flujo dando lugar al desarrollo de un río joven con bajo poder de erosión hasta su desembocando en extremo Norte sobre el Dique artificial Trapiche. La altura mínima corresponde a 4121 m (Figura N°16).

	AREA (km2)	Cota mínima	Cota máxima	Área acumulada (km2)	Desnivel - Área entre curvas (m)	Área relativa	Altura relativa
Subcuenca Trapiche	520,02	4121	4233	520	1011	0,04	1
	637,47	4234	4345	1157	899	0,09	0,89
	2225,88	4346	4457	3383	787	0,26	0,88
	3241,98	4458	4570	6625	674	0,51	0,86
	2424,69	4571	4682	9050	562	0,70	0,83
	1572,03	4683	4794	10622	450	0,83	0,80
	1290,24	4795	4907	11912	337	0,93	0,75
	617,94	4908	5019	12530	225	0,97	0,67
	232,29	5020	5131	12763	113	0,99	0,50
	106,74	5132	5244	12869	0	1,00	0
Total	12869,3			81433			
Diferencia de Altitudes			3184				

Tabla N°21 Datos procesados para la Curva Hipsométrica Río Trapiche

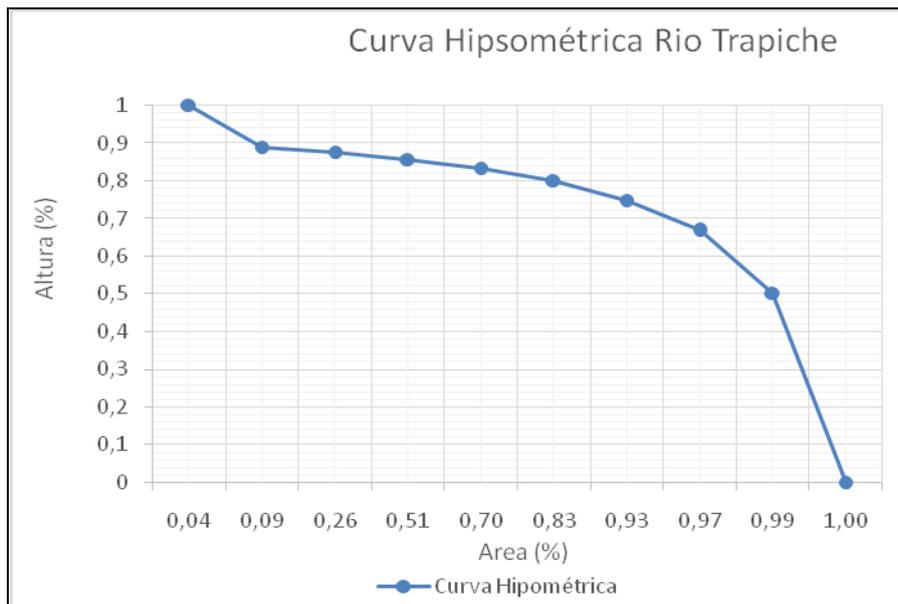


Figura N° 16. Curva Hipsométrica Cuenca Trapiche exhibiendo un Cauce Juvenil.

MAPA DE PENDIENTES

El mapa de pendientes obtenido para la Subcuenca Trapiche, muestra los mayores valores en el sector E de la cuenca sobre los Cerros Aguas Caliente, Nevado de Concha Argolla, y el Cerro del Hombre Muerto con una pendiente promedio de 39°, a diferencia de los terrenos de baja pendiente que dominan el sector O de la cuenca de la cuenca con valor promedio de 10°. (Figura N°17)

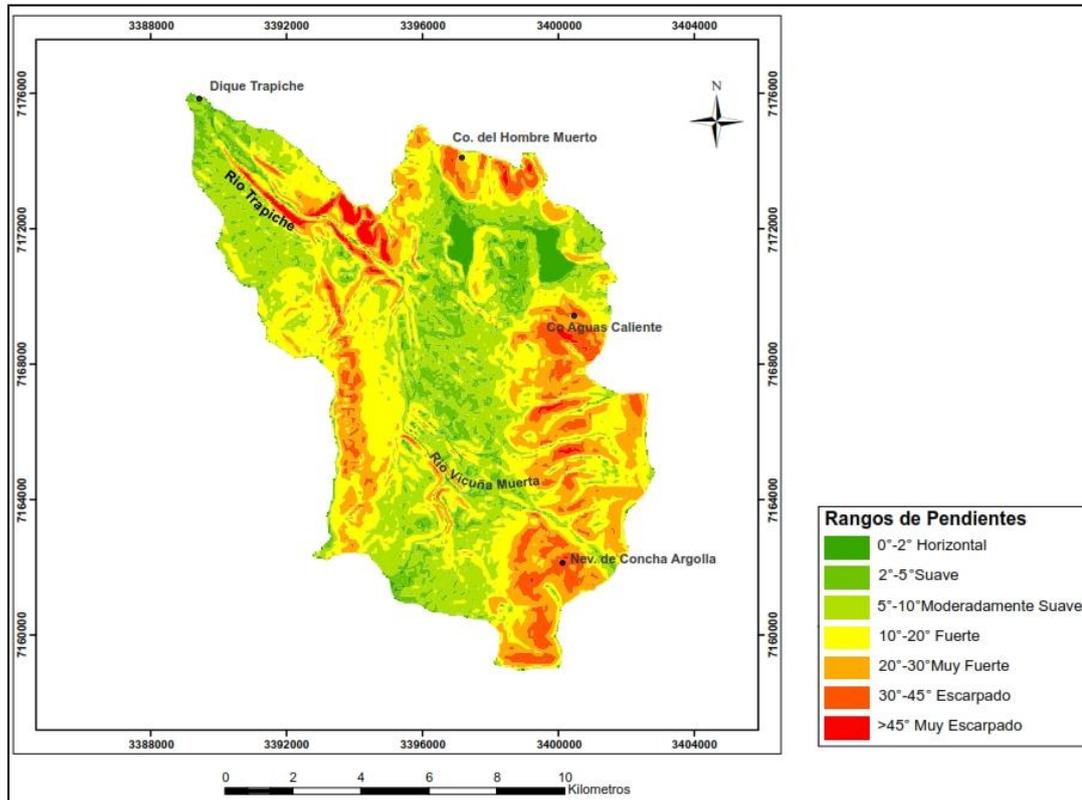


Figura N° 17 Mapa de pendientes para la Subcuenca Trapiche

PENDIENTE MEDIA

La pendiente media obtenida es de 21°, que relacionada al coeficiente de masividad propuesto por De Martonne (1940) con un valor de 24,73 fortalecen la afirmación de que en la Subcuenca Trapiche predominan los valles medianamente extensos con cumbres escarpadas, dentro de una región montañosa.

LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL

El cauce principal de la cuenca presenta una altitud máxima de 4.784 m.s.n.m., desde sus nacientes sobre el Nevado de Concha Argolla al SE de la Subcuenca, y una mínima de 4.100 m.s.n.m. sobre el sector NE en el Dique Trapiche, su longitud total es de 25,27 Km de los cuales los primeros 9 km se conoce con el nombre de Vicuña Muerta, de dirección SE- NO, cambiando de sentido a N-S y pasar a llamarse Rio Trapiche (Figura N°18).

Se trata un cauce joven de mediana sinuosidad y más extendido que el Rio Peñas Blancas, dentro de la cuenca de estudio. El perfil del rio (Figura N° 19) muestra una pendiente empinada con un valor de 25° que disminuye a lo largo del recorrido sin variaciones bruscas, indicando el bajo poder de erosión de su flujo.

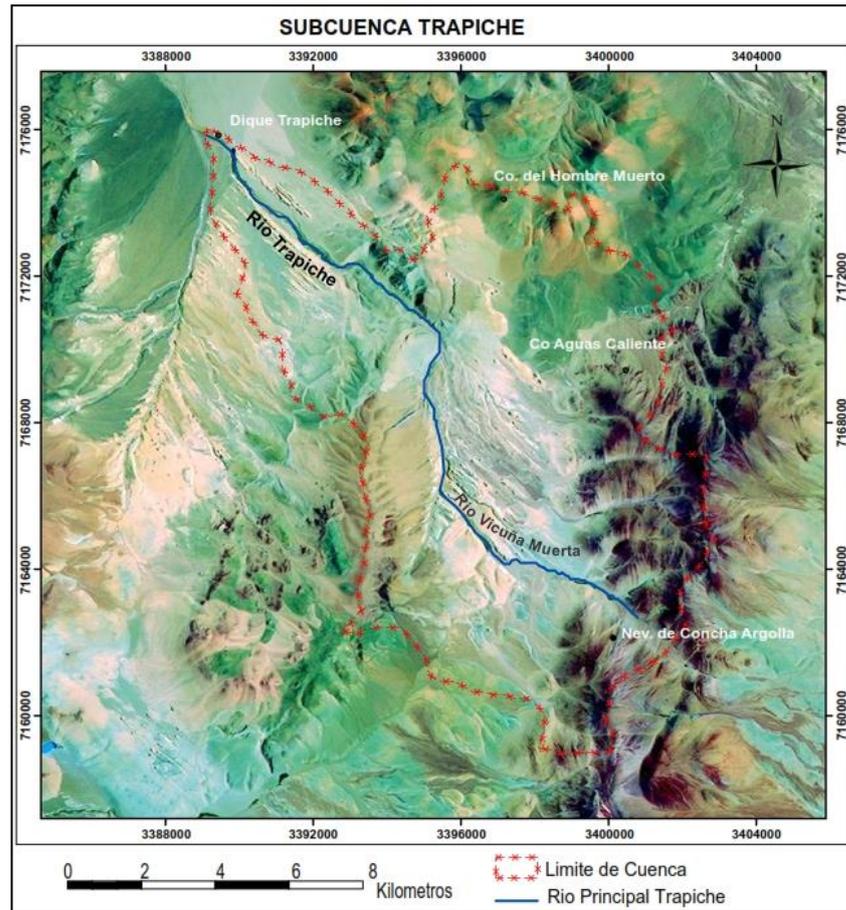


Figura N°18. Subcuenca Trapiche con su cauce principal (26 km).

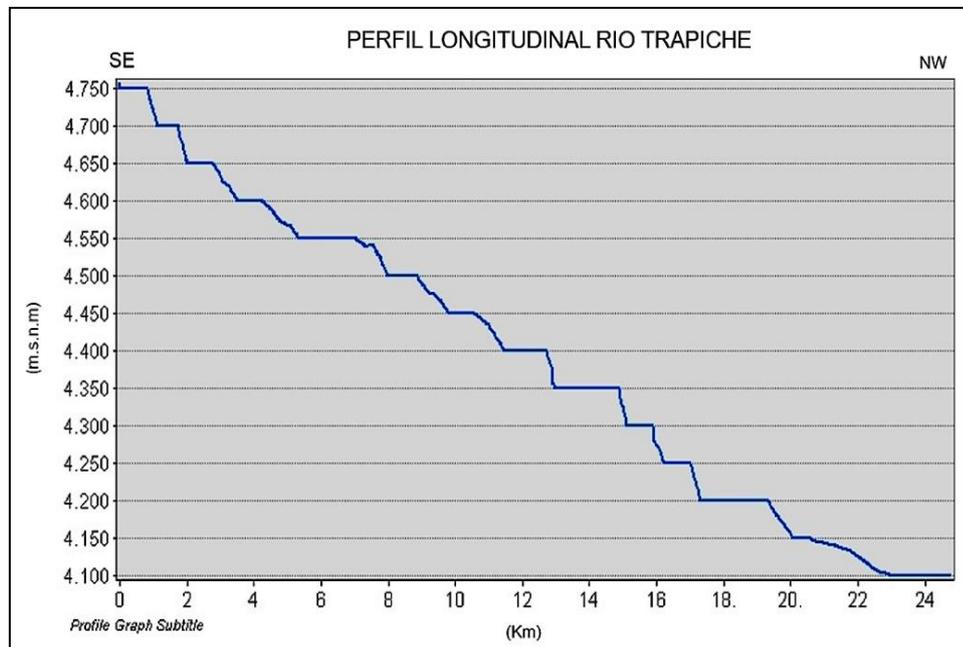


Figura N°19 Perfil del cauce principal Río Trapiche

IV.3.3. PARÁMETROS DE LA RED HÍDRICA

En el análisis de hidrológico de la Subcuenca Trapiche se obtuvo un orden de drenaje 5 alto. El mapa con el orden de la red de drenaje, se diferencian de acuerdo al gradiente de colores en el mapa. En el mapa del anexo III se muestra la jerarquía de la red de drenaje, diferenciando los distintos órdenes, mediante gradiente de colores. (ANEXO III : MAPA HIDROLÓGICO SUBCUENCA TRAPICHE)

La comparación entre las densidades de drenaje de los ríos de orden 1 (1,4 km/km²) respecto a los de orden 2 (0,6 km/km²) demuestra que en las nacientes de la cuenca, zona de altos relieves, se encuentra la mayor cantidad de trazas de circulación de agua

Estas zonas corresponden al sector E de la cuenca sobre las laderas del Nevado de Concha Argolla y Cerro Aguas Calientes. En tanto las menores densidades corresponden a los cauces de orden 3 (0,2) y 4 (0,1) desarrollados en el sector medio y bajo de la cuenca sobre los resistentes terrenos ignimbríticos, y bajos depósitos cuaternarios. (Tabla N°22).

Según Strahler en Gregory 1985			Clase de densidades de Drenajes (Gómez Espinares 2003)	Horton 1945
Orden de la red Hídrica	Total de Cauces	Long(Km)	Densidad de cada orden (km/km ²)	Relación de Bifurcación (Rb)
Orden 1	430	176,7	1,4	2,2
Orden 2	196	75,6	0,6	2,9
Orden 3	67	27,7	0,2	3,2
Orden 4	21	9,4	0,1	1,4
Orden 5	15	8,5	0,1	
Total	729	297,9	2,3	2,4
Área de la Cuenca Trapiche (km ²) = 128,71				

Tabla N°22. Valores Obtenidos de los Parámetros de la Red Hídrica.

Al relacionar la longitudes de los cauces presentes se obtiene que el primer orden contiene el mayor porcentaje con un 59%, seguido por los ríos de segundo orden de 27%, en tanto que las menores extensiones se dan en el tercer orden con 9%, y el cuarto orden con 3%, para concluir con el quinto orden de 2%. (Figura. N°20)

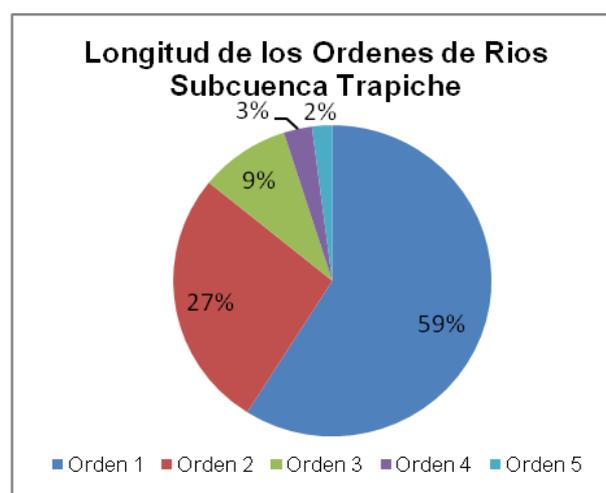


Figura N° 20 Representación estadística de la longitud de los Ordenes de Ríos dentro de la Subcuenca



GEOLOGÍA E HIDROLOGIA DE LA CUENCA DEL RÍO TRAPICHE
Dpto. Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca



En relación a los diseños que presenta la de red de drenaje en la Subcuenca Trapiche, se diferencia la trama dendrítica en las zonas de mayor altura sobre los terrenos de dominio metamórfico e ígneo, especialmente sector Este de la Subcuenca con la característica de ser de corta longitud de recorrido. Acompañan a este diseño los estilos subparalelos desarrollados en los terrenos más bajos del área, los mismos están influenciados por las bajas pendientes y estructuras secundarias del terreno.

La relación de bifurcación (Rb) siguiendo lo propuesto por Horton, demuestran que los cauces de orden 1 y 2 poseen valores de división 2,2 y 2,9 respectivamente, esto corresponde a secciones de corto escurrimiento formando las redes dentriticas descriptas anteriormente. A diferencia de la menor división que posee los cauces de orden 4, de características más estables, que permite direccionar hacia el colector principal los flujos contenidos. Los cauces de orden 3 presentan los valores más altos de bifurcación en el área de estudio, con un valor de 3,2 observando su distribución en el sector de pie de monte de la Subcuenca.

La tabla N°23 muestra los principales parámetros determinados para ambas subcuencas, evidenciando las diferencias entre ambas.

SUBCUENCA PEÑAS BLANCAS		SUBCUENCA TRAPICHE		
Centroide de (PCS: POSGAR 1994 Argentina Zona 3)				
Parámetros de Forma				
Área (A)	152,41 km ²	Pequeña	128,71 km ²	Pequeña a intermedia
Perímetro (P)	56,09 km		61,08 km	
Longitud cuenca (L)	17,09		25,27	
Cota mínima	4100 msnm		4125 msnm	
Cota máxima	5150 msnm		5229 msnm	
Ancho Promedio (W)	9 km		5 km	
Índice de Alargamiento (Ia)	1,9	Medianamente alargada	5	Muy alargada
Coefficiente de Forma (kf)	0,5	Moderadamente achatada	0,2	Ligeramente achatada
Razón de Elongación (Re)	0,8	Relieve fuerte y Pronunciado	0,5	Relieve más fuerte y pronunciado
Índice de Compacidad (kc)	1,2	Oval oblonga	1.5	Rectangular oblonga
Índice de Miller (Rc)	0,6	Mas circular	0,4	Mas rectangular



GEOLOGÍA E HIDROLOGIA DE LA CUENCA DEL RÍO TRAPICHE
Dpto. Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca



Parámetros de relieve				
Curva Hipsométrica	Rio muy joven y corta longitud		Rio joven y mayor longitud	
Pendiente media	35%	Escarpado	21 %	Fuertemente Accidentado
Altitud media	3144		3184	
Coeficiente de masividad	20,6	Muy montañosa	24,73	Muy montañosa
Parámetro Hídricos				
Longitud del cauce principal	14,08	Medio	20,6	Medio
Numero de Orden	4	Medio	5	Alto
Tipo de red	Dentritica - subparalelo			
Densidad de Drenaje	2,6 km/km ²	Baja	2,3	Baja
Rb	1,8	Cuenca alargada	2,4	Cuenca alargada con rio de mayor orden



CAPITULO V

HIDROQUIMICA



RIOS PRINCIPALES DE LA CUENCA



V.1 CARACTERIZACION HIDROQUÍMICA

La composición química del agua viene dada por el contenido relativo de sus especies disueltas. Esta composición consiste en el quimismo inicial de la gota de agua que precipita, en conjunto con el enriquecimiento en sales y minerales que se incorporan a través de procesos naturales de interacción agua-roca, y todo lo que pueda ocurrir durante el recorrido que va entre el punto de caída y el punto de extracción de la muestra de agua.

V.1.1 DATOS DE CAUDAL E HIDROQUÍMICOS DISPONIBLES

Los datos obtenidos para el estudio de caudal y calidad de agua de la cuenca Trapiche, fueron proporcionados por la Secretaría del Estado de Minería de la provincia de Catamarca (SEM), mediante la consulta pública de los expedientes ambientales

La Dirección Provincial de Gestión Ambiental (DiPGAM), dependiente de la SEM lleva a cabo un programa de monitoreo de agua, en la cuenca del río Trapiche, en el marco del control ambiental minero, que se tramita a través del expediente EII-2650/1995

La empresa Minera del Altiplano-FMC en el Proyecto Fénix realiza un programa de monitoreo similar en el área, cuyos resultados constan en los expedientes 18163/2011 y - 17775/2011

La DiPGAM, dependiente de la SEM, implementó desde el año 2014, un programa de monitoreo de los ríos Trapiche y Peñas Blancas, con frecuencia trimestral. Incluye determinaciones in situ de caudal, temperatura, pH y CE y muestreo para su posterior análisis químico.

La SEM dispone de equipamientos portátiles (peachímetros HANNA HI9025C, conductímetros HANNA HI 933000, termómetro HANNA y caudalímetro GLOBAL FLOW PROBE FP101-FP201) y envía las muestras de agua al laboratorio localizados en Buenos Aires- Instituto de Tecnología Minera (INTEMIN), dependiente del Servicio Geológico Minero Nacional (SEGEMAR), a fin de realizar las siguientes determinaciones: Arsénico, Boro, Cinc, Hierro, Aluminio, Bario, Litio, Plomo, y Silicio.

La base de datos hidroquímicos de la empresa Minera del Altiplano- FMC para el periodo 2006-2014, incluye las determinaciones de: caudal, temperatura, pH, Conductividad Eléctrica, Sulfato, Cloruro, Carbonato, Bicarbonato, Calcio, Sodio, Magnesio, Potasio y Dióxido de silicio. Las muestras durante este periodo han sido analizadas en el laboratorio que posee la empresa en el Salar del Hombre Muerto, Dpto Antofagasta de la Sierra

El Río Trapiche cuenta con mayor cantidad de registros históricos, en tanto que los datos para el Río Peñas Blancas se obtuvieron a partir del año 2014.

La empresa Minera del Altiplano- FMC, desde el año 2015 realiza un control mensual de las estaciones Río Trapiche y Peñas Blancas. Las muestras son analizadas por el laboratorio interno de la empresa ubicado en la planta de General Güemes –Salta, para la determinación de Aluminio, Arsénico, Boro, Bario, Calcio, Cloro, Carbonato, bicarbonato, Hierro, Potasio, Litio, Magnesio, Sodio, Plomo, sulfato, Silicio.

Asimismo se dispuso de una tercera fuente de datos generados por el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) quien muestreó las aguas de la estación Trapiche durante el año 2016 y que fueron utilizados como base de comparación con los análisis obtenidos por la SEM en las mismas fechas.

V.1.2 ESTACIONES DE MONITOREO

Las secciones tomadas como puntos de análisis para la calidad de aguas, fueron las emplazadas en los tramos finales del Río Trapiche y sector medio Río Peñas Blancas. (Figura N° 21). Su ubicación mediante coordenadas geográficas se muestra en la Tabla N°24.

Los monitoreos por parte de la empresa MdA- FMC, no han mantenido una frecuencia estable durante el periodo 2006 – 2014. Desde Abril 2015, los controles son mensuales.

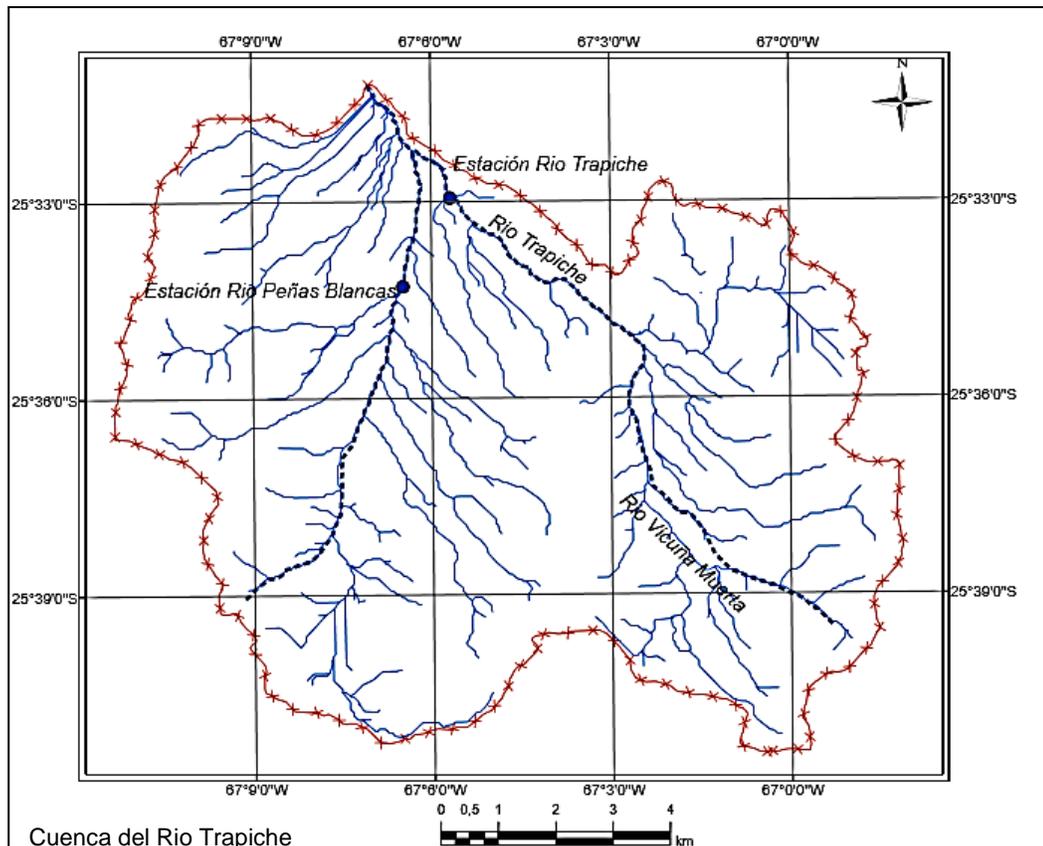


Figura N°21- Mapa de ubicación de los puntos analizados

Por parte de la delegación de control DiPGAM, los controles poseen una frecuencia trimestral desde el año 2013.

Puntos de monitoreo	Coordenadas Geográficas	
	Latitud	Longitud
Río Trapiche	25°32'56,97"S	67° 5'40,78"O
Río Peñas Blancas	25°34'17,91"S	67° 6'28,66"O

Tabla N°24- Estaciones de monitoreo dentro de la Cuenca



V.1.3 PARÁMETROS HIDROQUÍMICOS SELECCIONADOS

Los parámetros hidroquímicos seleccionados de las bases de datos existentes, para realizar la caracterización geoquímica de aguas y el control de su calidad, se detallan a continuación:

- Caudales instantáneos
- pH y Conductividad Eléctrica, ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en campo y laboratorio.
- Aniones y cationes principales que permitan caracterizar la tipología del agua superficial.
- Iones minoritarios que manifiestan valores por encima del límite de detección de la técnica analítica utilizada por los laboratorios.

Los datos analizados en la estación Peñas Blancas han provenido de dos fuentes:

- **SEM – Catamarca:** datos de caudal, pH y conductividad eléctrica medidos en campo y en laboratorio y los metales trazas Arsénico, Boro, Bario, Hierro y Aluminio. Periodo de registro: 2014-2016.
- **Empresa Minera del Altiplano-FMC:** datos de cationes y aniones mayoritarios. Periodo de registro: 2015-2016.

Los datos hidroquímicos analizados en la estación Rio Trapiche has sido generados por:

- **SEM – Catamarca:** datos de caudal, pH y conductividad eléctrica medidos en campo y en laboratorio y los metales trazas Arsénico, Boro, Bario, Hierro y Aluminio. Periodo de registro: 2014-2016
- **Empresa Minera del Altiplano-FMC:** datos de caudal Periodo 2006-2014. Cationes y aniones mayoritarios. Periodo de registro: 2006-2016:
- **SEGEMAR:** datos de iones minoritarios. Frecuencia trimestral. Año 2016

V.1.4 CONTROL DE CALIDAD DE LOS ANALISIS HIDROQUÍMICOS

Previo a evaluación e interpretación de los datos hidroquímicos se procedió a evaluar su consistencia y coherencia, mediante el establecimiento de una serie de controles y relaciones interparamétricas.

DATOS DE CAMPO

Para el análisis de los parámetros de campo Caudal, pH, Conductividad eléctrica, obtenidos desde la SEM- Catamarca Periodo 2014 -2016, se procedió a evaluar la consistencia y coherencia de los valores a través de la corrección de unidades de medida y observaciones adjuntas en la planilla de campo. Se descartaron los datos que no se ajustaban, a la tendencia histórica registrada en las estaciones Rio Peñas Blancas y Rio Trapiche.

Dentro del examen de caudal para el periodo 2006- 2014 en la estación Rio Trapiche, obtenida desde los informes de Conhidro para FMC, se procede a una corrección de unidades a fin de graficar su tendencia temporal.

DATOS DE LABORATORIO

Aniones y Cationes mayoritarios

Los datos de iones mayoritarios se obtuvieron a partir de la base de datos de la empresa Minera del Altiplano - FMC, debido a que presentan la mayor cantidad de registros y corresponden a un periodo de tiempo mayor.

Se analizaron un total de 219 registros correspondientes al periodo 2006-2016, en la estación de monitoreo río Trapiche y un total de 40 datos en la estación Peñas Blancas periodo 2014-2016.

Como primera medida de control para evaluar su consistencia y coherencia, se procedió a excluir aquellos registros que carecían de contenidos de cationes o aniones mayoritarios que impedían efectuar el cálculo del Balance de iónico sobre las muestras.

Este Balance, postula que en una muestra de agua el contenido total de cationes y de aniones, expresado cada uno en meq/L, debe ser aproximadamente igual.

Appelo y Postma (1999) denominan a esta relación Balance de Electroneutralidad y manifiestan que, si bien en general se consideran los aniones y cationes mayoritarios en este cálculo, en ocasiones otros elementos minoritarios, tales como el Fe^{+2} o el NH^{+4} , en aguas subterráneas reductoras o el H^{+} o el Al^{+3} en aguas ácidas pueden contribuir de manera significativa y deben ser tenidos en cuenta. Para el cálculo del error admisible plantean la siguiente relación:

$$\frac{(\sum \text{Cationes} - \sum \text{Aniones})}{\sum \text{Cationes} + \sum \text{Aniones}} \times 100 \Rightarrow 5 \%$$

Error aceptable del balance iónico: El error admisible es variable según los distintos autores. En general se acepta que valores más grandes que el 5 % sugieren una significancia de error (e) suficiente para excluir el análisis de ciertas aplicaciones interpretativas.

Matthes, 1982, el valor de “e” debe ser menor que el 2 %.

Hem (1985) estableció que errores excediendo el 5 % son inevitables algunas veces cuando el total de cationes y aniones es menor que 5 meq/L.

Nordstrom et al. (2008), consideró válidos los datos del balance de carga (CI) con desviación estándar $< \pm 20 \%$.

Cárdenas León 2005. Sostiene que cuanto mayor es la conductividad menor es el error admisible. Los rangos y criterios de aceptación en función de la conductividad eléctrica, propuesta por este autor, se muestran en la Tabla N° 25.

Conductividad eléctrica (us/cm)	Error admisible (%)
<100	10%
100-500	7%
500-1000	5%
>1000	<5 %

Tabla N° 25 Error admisible en el balance de la electroneutralidad de análisis hidroquímicos (Cárdenas, León 2005)



GEOLOGÍA E HIDROLOGIA DE LA CUENCA DEL RÍO TRAPICHE Dpto. Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca



Se aplicó el Balance de electroneutralidad (Balance iónico), siguiendo a Cárdenas León (2005). Teniendo en cuenta la conductividad eléctrica promedio (200-280 $\mu\text{S}/\text{cm}$) de la cuenca del río Trapiche se consideró como error admisible hasta un 7 %.

Seguidamente se eliminaron los registros que proporcionaban varios resultados para un mismo mes, optándose por aquel que brindase un menor error de balance iónico.

Existen algunas pocas muestras duplicadas a partir del año 2015 y de frecuencia mensual. Se seleccionó en estos casos una única muestra, en función del mejor balance de iónico.

Con el descarte no quedan muestras para el año 2012, en la estación Río Trapiche, debido a que el error del balance de electroneutralidad supera el 50%.

Del total de los 219 datos originales de la base de datos de Minera del Altiplano-FMC se rescataron 58 como registros válidos y confiables, lo que representa el 26 %.

En la estación Peñas Blancas de un total de 40 datos adquiridos, se preservaron 19 como confiables y válidos, lo que constituye un 47 % de los originales

Finalizado el tratamiento de validación de datos se traspasaron a planillas de cálculo y a través del software libre Diagrammes 6.59 del Laboratorio de Hidrología Avignon (Francia), se elaboraron diagramas de clasificación geoquímica del agua, que son esquemas que evalúan las concentraciones de los elementos mayoritarios y minoritarios en unidades de meq/l o ppm .

Los diagramas utilizados fueron:

DIAGRAMA DE PIPER

Los diagramas de Piper proporcionan una visión de la composición de las aguas, sin tener en cuenta su grado de salinización o concentración, y permiten realizar una caracterización global de los distintos tipos de aguas existentes en un área. Gráficamente, este tipo de diagramas permite la presentación de las concentraciones en una combinación de dos diagramas triangulares (para aniones y cationes por separados) y un diagrama en forma de rombo que muestra la relación entre los dos grupos de elementos anteriores expresados en porcentaje de los meq/l o ppm . Cada muestra está proyectada con un punto en cada uno de los polígonos. (Figura N°22).

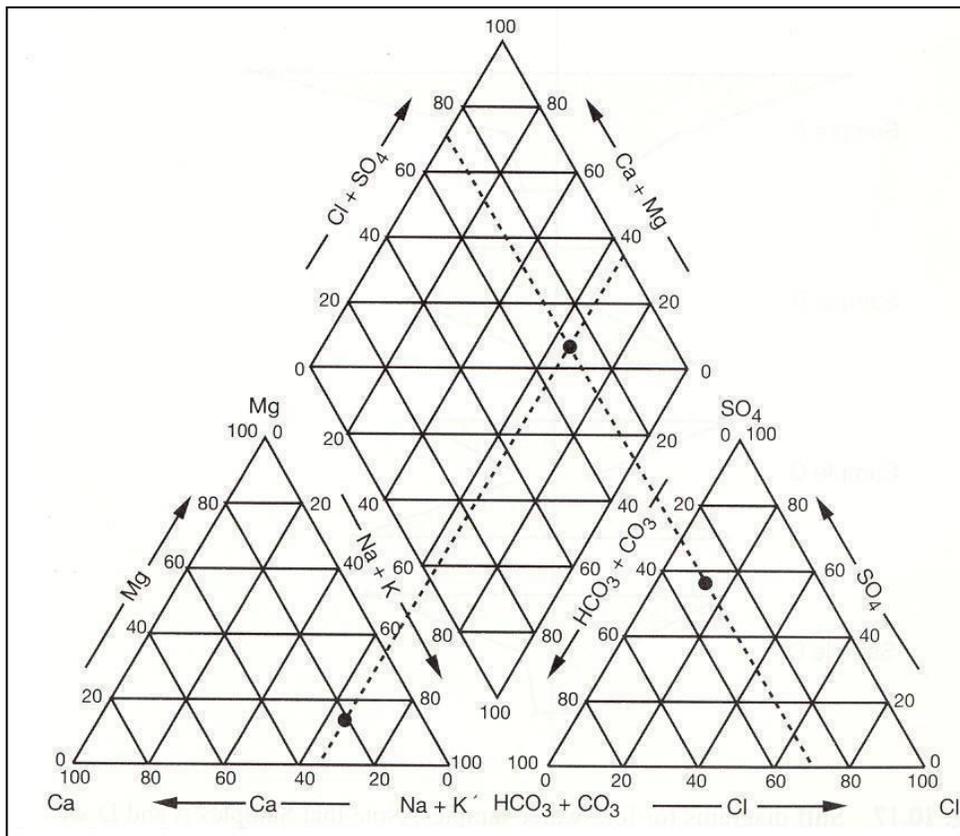


Figura N°22 Diagrama de Piper para la composición de las aguas Fuente: (www.aguaysig.com)

DIAGRAMA DE STIFF

Los diagramas de Stiff, además de indicar las composiciones de las aguas, permiten visualizar además la concentración de las muestras de agua.

Son muy útiles para su representación espacial en un mapa y para entender las variaciones composicionales y los aumentos de concentraciones a lo largo de los sentidos de flujo, o atravesando sistemas hídricos particulares (sales, campos geotermales, formaciones geológicas particulares, etc.).

Estos diagramas son polígonos que sirven para identificar fácilmente el tipo de agua que se tiene en un aprovechamiento dado. Se encuentran divididos mediante una línea vertical, quedando los aniones (iones con cargas negativas) del lado izquierdo y los cationes (iones positivos) del lado derecho (Figura N°23).

Todas las concentraciones de los iones se encuentran expresadas en miliequivalentes por litro (meq/l) y la escala gráfica corresponde al ancho de las líneas horizontales, es decir, cuanto más ancho es un diagrama, mayor es la concentración.

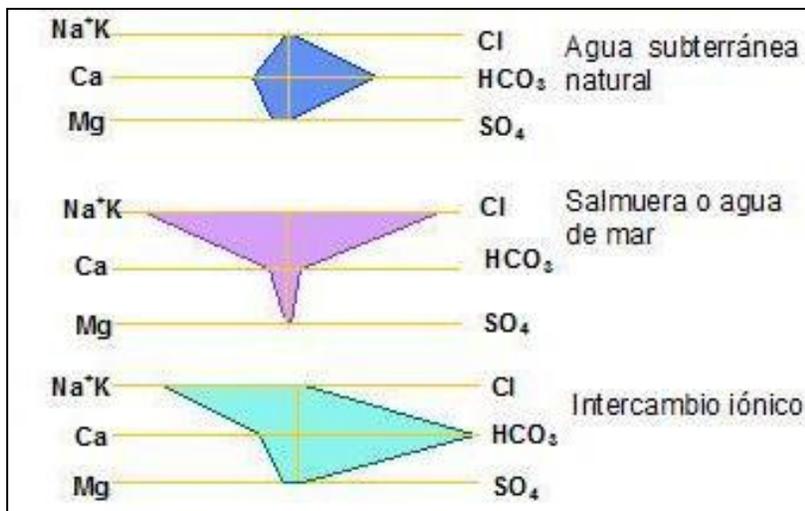


Figura N°23 Diagramas de Stiff. Fuente: (www.aguaysig.com)

IONES MINORITARIOS

Para el tratamiento dentro de la selección y corrección de los 25 datos obtenidos de la SEM (2014-2016), para los iones minoritarios de las estaciones Río Peñas Blancas y Río Trapiche, se descartan los que no alcanzan el límite de detección definido por el laboratorio de análisis, del mismo modo se descartan los datos que no poseen correlación con el histórico dominante, considerando que existió un error en el tipeo al cargar los resultados en las planillas.

En la validación de los datos por medio de una comparación, se consideran los registros obtenidos por FMC en la estación Río Trapiche, para los mismas fechas de control, corroborando que existe un probable error en el tipeado de algunos elementos, en los antecedentes de la SEM, situación que se evidencia en las discrepancias de las cifras de los resultados obtenidos en ug/l.

Los iones secundarios presentes en las muestras de las estaciones son representados en porcentaje en graficas XY.

V.2 ESTACIÓN RIO PEÑAS BLANCAS

La evaluación de los datos hidroquímicos correspondientes a esta estación se han realizado teniendo en cuenta dos fuentes:

- **SEM – Catamarca:** datos de caudal, pH y conductividad eléctrica medidos en campo y en laboratorio y los metales trazas Arsénico, Boro, Bario, Hierro y Aluminio. Periodo de registro: 2014-2016
- **Empresa Minera del Altiplano-FMC:** datos de cationes y aniones mayoritarios. Periodo de registro: 2015-2016 (Anexo IV).

V.2.1 CAUDAL- DATOS DE LA SEM

Para el parámetro caudal se consideraron los análisis obtenidos en los registros de la SEM-Catamarca, durante el periodo 2014- 2016, de frecuencia trimestral (Tabla N°26). De un total de 10 controles realizados, en 3 oportunidades el rio estuvo congelado e imposibilitó la realización de las mediciones. Un dato se descartó debido a que el valor era muy elevado y en observaciones de la planilla de campo, constaba que el caudalímetro no funcionaba correctamente.

Se analizaron por lo tanto un total de 6 registros, los cuales son escasos para fijar variables estadísticas que indiquen fehacientemente el comportamiento estacional del curso de agua.

Como una primera aproximación, se establece que el caudal promedio para el Rio Peñas Blancas es de 60,4 m³/h. Registrándose los valores mayores en los meses de invierno, respecto a los meses de verano, lo que podría evidenciar que el aporte nival es mayor que el producido por precipitaciones liquidas. (Figura N° 24)

Fecha	Caudal Instantáneo(l/seg)	Caudal Instantáneo(m ³ /h)
feb-14	5,4	19,4
jul-14	Cauce congelado	
feb-15	3,7	13,2
jun-15	14,3	51,4
ago-15	Cauce congelado	
nov-15	3,4	12,2
Feb-16	Valor erróneo	
may-16	18,6	67,1
ago-16	Cauce congelado	
nov-16	8,89	32,0
Promedio	16,8	60,4

Tabla N°26: Promedio de caudal para la estación Rio Peñas Blancas

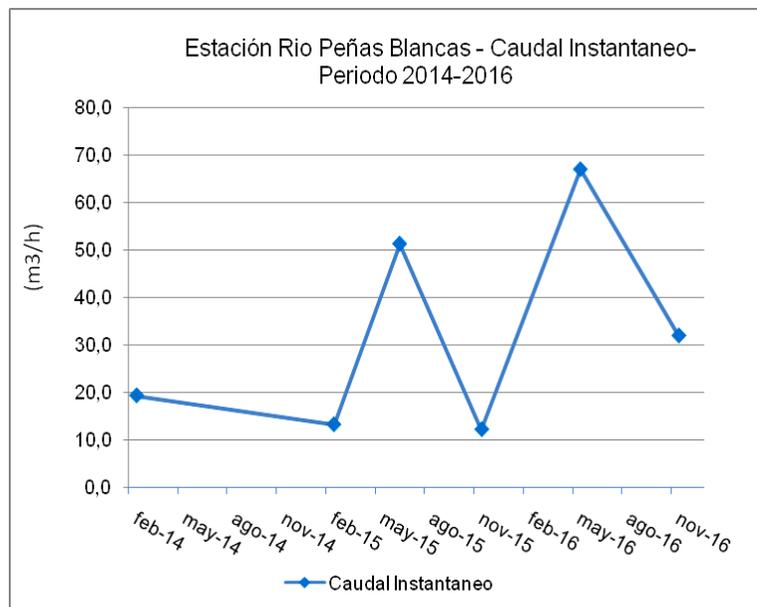


Figura N° 24. Caudales del Río Peñas Blancas (Datos S.E.M.)

V.2.2 COMPOSICION DE AGUA

Se analizó la variación y comportamiento de los parámetros de campo y laboratorio: pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura, sobre una base de 11 registros hidroquímicos generados por la SEM-Catamarca que se muestran en la Tabla N° 27, en la cual además se exhiben sus valores promedios.

Fecha	feb-14	jul-14	nov-14	feb-15	jun-15	ago-15	nov-15	feb-16	may-16	ago-16	nov-16	Promedio
pH (campo)	8,1	8,1	7,9	8,6	7,8	7,7	8,1	VNC	8,4	8,0	7,7	8,0
pH (laboratorio)	7,7	8,0	7,	7,7	8,7	7,4	7,7	7,9	7,7	7,5	7,7	7,8
C. E. (µS/cm) (campo)	227	227	185	246	197	209	178	251	203	252	217	218
C. E. (µS/cm) (laboratorio)	248	243	188	229	190	211	199	237	219	228	219	218
T agua (°C) (campo)	22,9	1,4	20,9	17,1	7,1	7,8	10,3	22,5	1,8	6,7	10,0	11,7
T aire (°C) (campo)	19,7	9,2	20,8	21,6	13,5	3,7	10,3	22,9	3,7	14,0	13,7	13,0

Tabla N° 27: Datos de Campo Estación Río Peñas Blancas (VCN- Valor No Considerado /error)

Los datos de campo fueron comparados con los obtenidos en laboratorio observándose que existe una insignificante dispersión entre ambos, indicando la buena precisión de los mismos. El comportamiento de la conductividad eléctrica, con un promedio de 218 µS/cm para la variable de campo y de 218 µS/cm para el dato de laboratorio, evidencia que a veces la mayor concentración de sustancias disueltas ocurre en la época de precipitaciones (Febrero/14, Febrero/15, Febrero/16) en tanto que otras se produce durante el invierno-primavera (Agosto/16, con mínimos en Noviembre 15 y Noviembre/16. (Figura N°25).

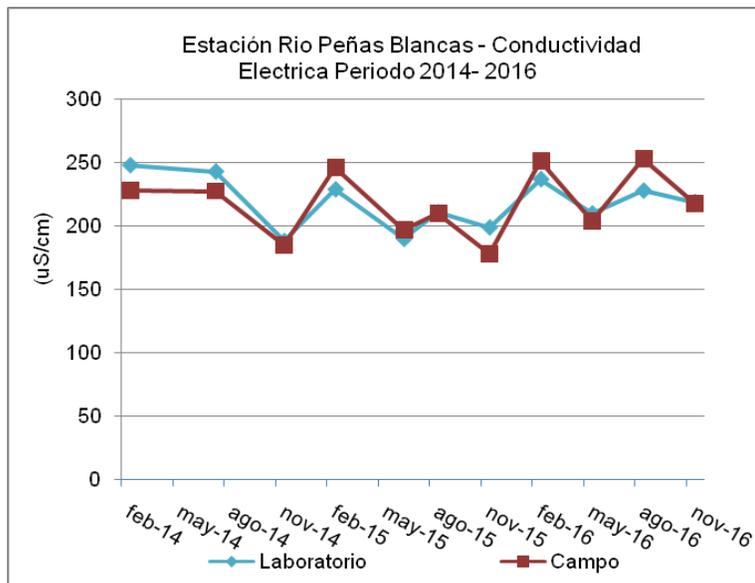


Figura N°25 Conductividad Eléctrica Campo vs. Laboratorio-SEM

Según los registros de pH el agua del río Peñas Blancas es alcalina, con un promedio de 8 teniendo en cuenta el dato de campo y de 7,8, si se considera el dato de laboratorio. La Figura N° 26 muestra el comportamiento de estas variable, indicando valores máximos para los meses de Febrero/15, Noviembre/15 y Mayo/16 y un mínimo patente en Junio/15

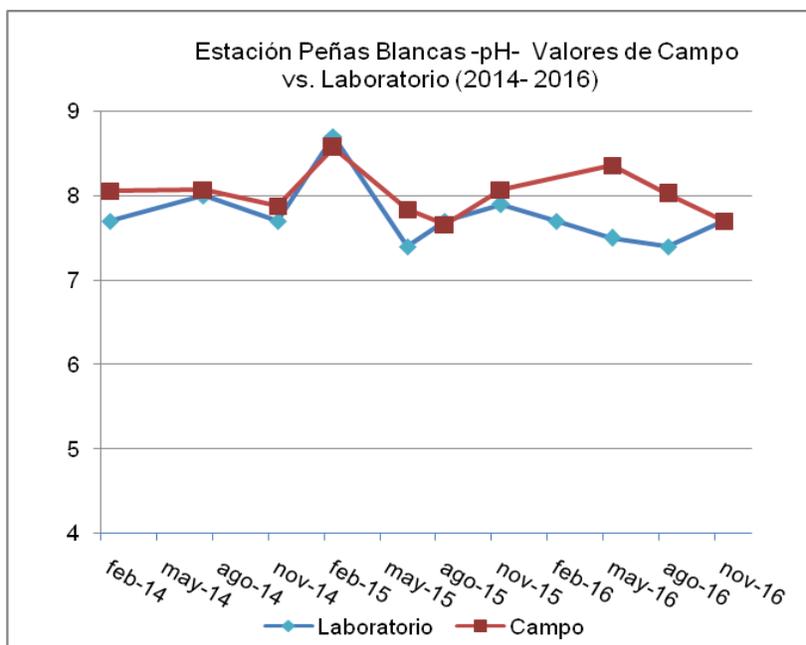


Figura N° 26 Estación Río Peñas Blancas- pH (Laboratorio vs Campo) SEM

Se observa un comportamiento opuesto de ambos parámetros en Febrero y Mayo de 2016, debiéndose considerar más confiable el dato de campo, ya que pH es una variable no conservativa que puede sufrir modificaciones con el tiempo y los cambios de temperatura. Esto implica que la variable tuvo en esos meses una tendencia a aumentar, para luego disminuir hacia los meses de invierno-primavera.

CATIONES MAYORITARIOS

Se analizaron un total de 19 registros de iones mayoritarios de la base de datos de la empresa FMC, considerados válidos y confiables.

En cuanto a los cationes mayoritarios, predomina el Sodio (promedio 20,32 mg/l), seguido de muy cerca por el Calcio (promedio 17,25 mg/l); en mucha menor proporción, se presentan los iones Magnesio (promedio 2,38 mg/l) y Potasio (promedio 2,08 mg/l) (Figura N° 27).

Calcio y Sodio muestran un comportamiento similar, con algunos máximos en los meses de Enero, Febrero, Abril y Diciembre.

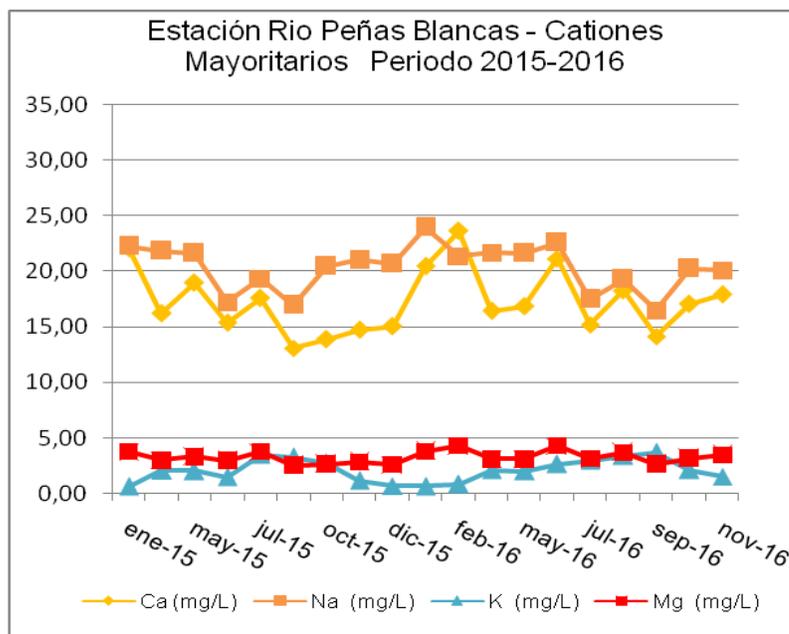


Figura N°27. Cationes mayoritarios del Río Peñas Blancas

Los aniones presentan una concentración mayor e irregular de Bicarbonato (promedio 65,69 mg/l), por encima del Sulfato (promedio 26,58 mg/l) y en mucha menos proporción el Cloruro (promedio 15 mg/l). La concentración de los iones en el periodo de registro se muestra en la Figura N° 28.

Los principales máximos de Bicarbonato se producen en Enero y Febrero, evidenciándose máximos secundarios en Junio, Julio y Agosto. Sulfato muestra mayor estabilidad excepto en Dic/15 a Feb/16, donde se observa una disminución del contenido incluso por debajo del promedio, correspondiéndose con el mayor máximo de Bicarbonato. Cloruro en cambio no muestra variaciones, denotando su carácter conservativo.

El comportamiento aleatorio de los iones mayoritarios (cationes y aniones) presentes en las agua de la estación Rio Peñas Blancas y el número reducido de datos, no permiten definir una clara relación entre la concentraciones y el clima.

Los aportes de precipitaciones nivales o estivales podrían estar influenciando sobre los procesos de disolución en la interacción roca-agua.

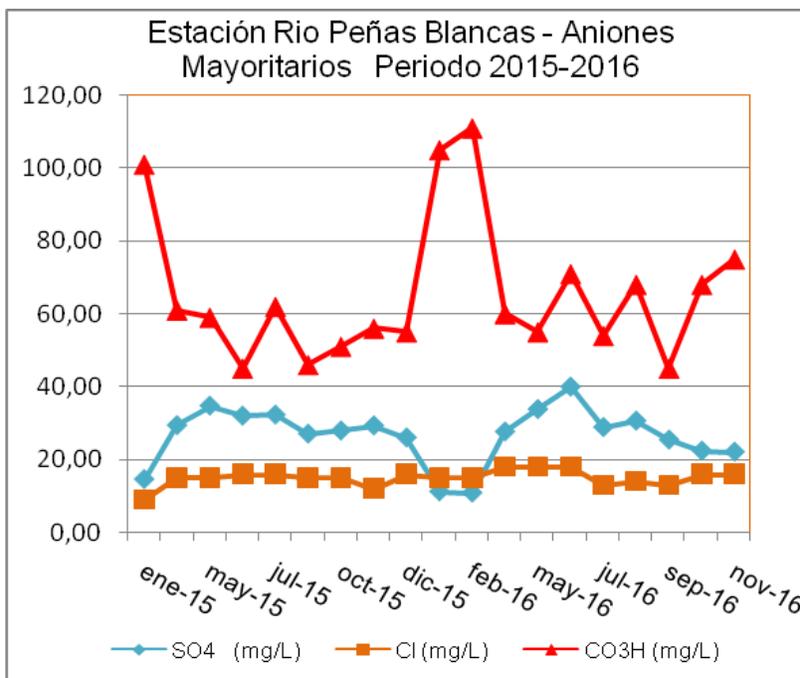


Figura N°28. Aniones mayoritarios del Rio Peñas Blancas

REPRESENTACIÓN EN DIAGRAMAS HIDROQUIMICOS

La concentración promedio de los iones dominantes en el agua de esta estación se representa mediante diagramas de Stiff en la Figura N° 29. Este diagrama permite apreciar el predominio neto del ion Bicarbonato sobre los aniones restantes, en tanto el contenido del catión Sodio es levemente superior al Calcio, determinando un agua de tipo Bicarbonatada Sódica.

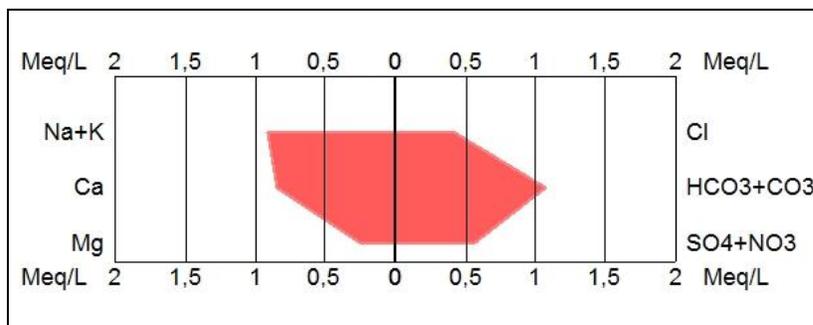


Figura N° 29 Diagrama de Stiff Rio Peñas Blancas elaborado con concentraciones promedio de los iones mayoritarios

En la Figura 30, se han graficado las 19 muestras mediante diagramas de Stiff.
 En general, la forma de los polígonos es similar y exhiben un dominio del Bicarbonato principalmente seguido por el Sodio y Calcio. Los polígonos mayores, corresponden a los meses de Enero/15 y Febrero/16 en tanto el menor pertenece al mes de Junio/15 y Septiembre/16.

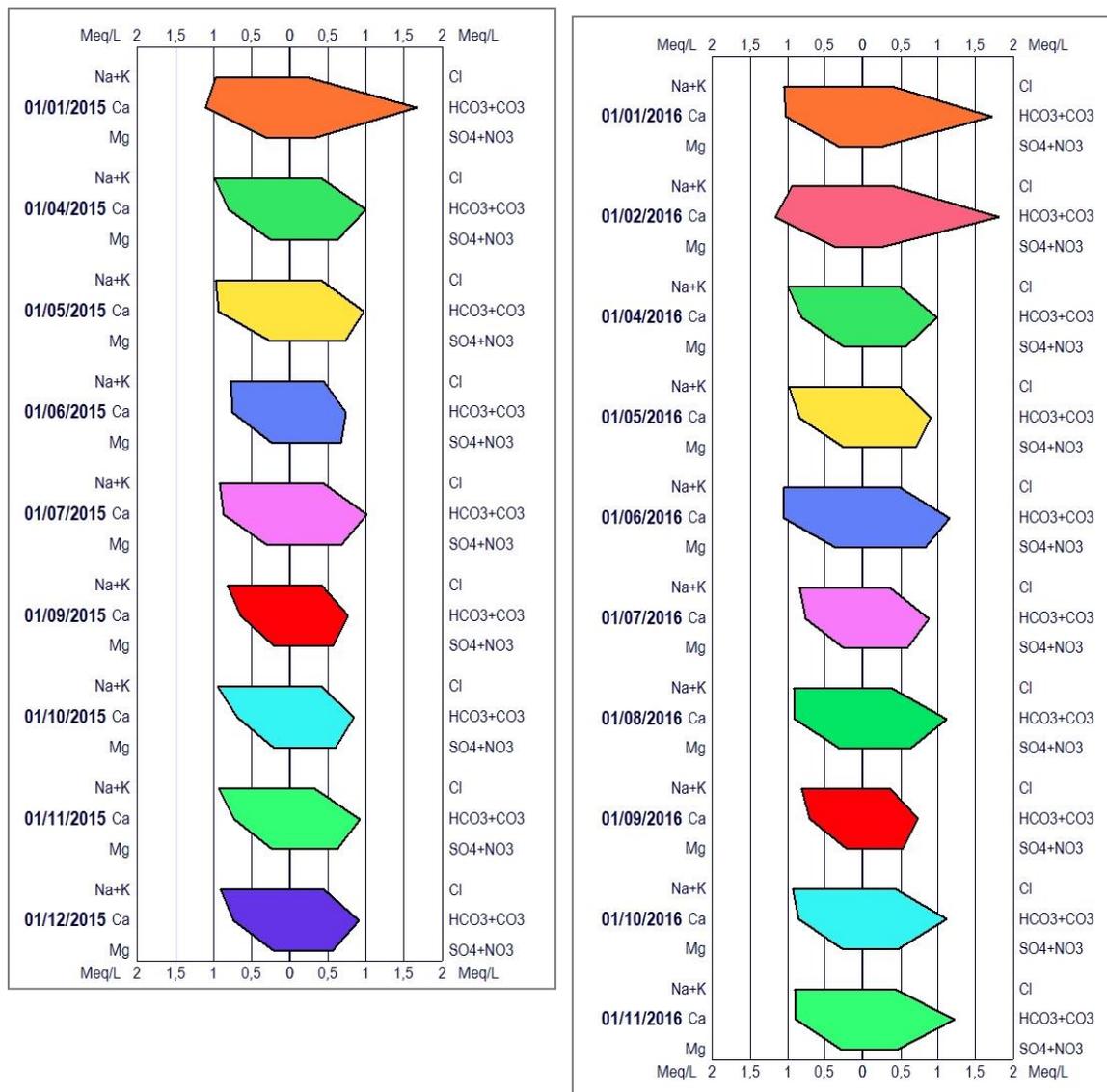


Figura N°30 Representación Stiff- Muestras Rio Peñas Blancas periodos 2015-2016.

El diagrama Piper, mostrado en la Figura N° 31, permite visualizar una mayor densidad de puntos en el extremo izquierdo superior del rombo correspondiente a aguas Bicarbonatadas Sódicas, aunque algunos datos se encuentran localizados en el límite con aguas Bicarbonatadas Cálcidas y unos pocos en este último dominio.

La observación detallada de los triángulos asociados evidencia que la mayor parte de las muestras posee entre un 50 a 80 % de Bicarbonato, 10 a 40 % de sulfatos y menos de 20% de cloruro. Respecto a los cationes, las muestras contienen entre 40 a 60 % de Sodio, 30 a 50 % Calcio, y un 10 % de Magnesio.

La clasificación del agua en este punto de monitoreo se cataloga según lo expuesto como agua Bicarbonatada Sulfatada Sódica y/o Cálcica. La mayor concentración de Calcio podría correlacionarse con la geología del área de carácter volcánico alcalino por donde circula el cauce. En tanto, la baja y casi nula concentración del ion de potasio puede deberse a que es más difícil de obtener a partir de minerales primarios como la ortoclasa en comparación con las plagioclasas mediante el proceso de lixiviación por aguas (Eugster y Hardi, 1978)

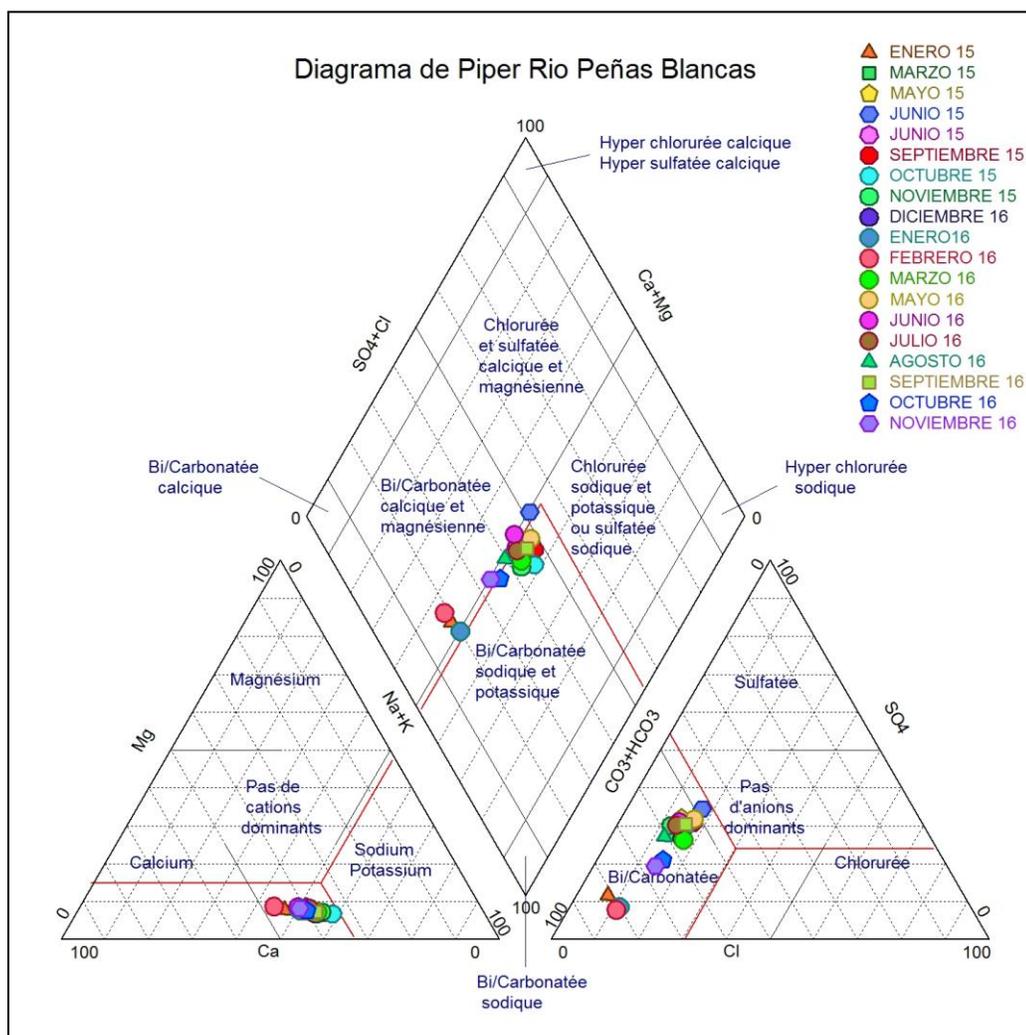


Figura N° 31 Clasificación Geoquímica de Piper del agua Rio Peñas Blancas muestras del periodo 2015-2016 – Concentraciones expresadas en % meq/l.

V.3. ESTACION RIO TRAPICHE

La evaluación de los datos hidroquímicos de esta estación se han realizado teniendo en cuenta dos fuentes:

- **SEM – Catamarca:** datos de caudal, pH y conductividad eléctrica medidos en campo y en laboratorio y los metales trazas Arsénico, Boro, Bario, Hierro y Aluminio. Periodo de registro: 2014-2016
- **Empresa Minera del Altiplano-FMC:** datos de caudal. Periodo de registro 2006-2014. Cationes y aniones mayoritarios. Periodo de registro: 2006-2016 (Anexo V)

V.3.1 CAUDAL

Para el análisis del parámetro caudal se consideraron las dos fuentes de datos mencionadas

De un total de 11 controles realizados por la SEM-Catamarca, durante el periodo 2014- 2016 se descartó un dato debido a que su valor era muy elevado respecto al conjunto de datos históricos, obteniendo un total de 10 datos validos expuestos en la Tabla N°28

El aporte principal esta Subcuenca Rio Trapiche, lo constituye el rio del mismo nombre, el cual en base a los registros estudiados, posee un caudal promedio de 380,8 m³/h, en tanto estudios anteriores su valor calculado fue 235 m³/h (Conhidro 2015). (Figura N° 32).

Las precipitaciones solidas constituyen el principal aporte en esta área, evidenciado por los mayores caudales en los meses de invierno. Sé observan máximos secundarios en los meses estivales. Este río tiene aportes por precipitaciones liquidas, en escasa proporción.

Fecha	Caudal Instantáneo (l/seg)	Caudal instantáneo(m ³ /h)
feb-14	71,3	256,8
jul-14	204,5	736,0
nov-14	174,0	626,3
feb-15	75,2	270,1
jun-15	156,9	564,8
ago-15	111,3	400,1
nov-15	97,3	350,1
feb-16	Dato erróneo	
may-16	25,5	91,8
ago-16	74,3	267,3
nov-16	67,7	243,9
Promedio	105,8	380,8

Tabla N°28 Caudales obtenidos para el Rio Trapiche

El comportamiento del caudal, en este punto es discontinuo en sus valores, observando una tendencia decreciente a lo largo de los anuales analizados. Posee tres máximos en los meses de Junio/14, Julio/15 y Agosto/16. Asimismo dos mínimos notorios en el mes de Febrero/15 y Mayo/16. (Figura N°32)

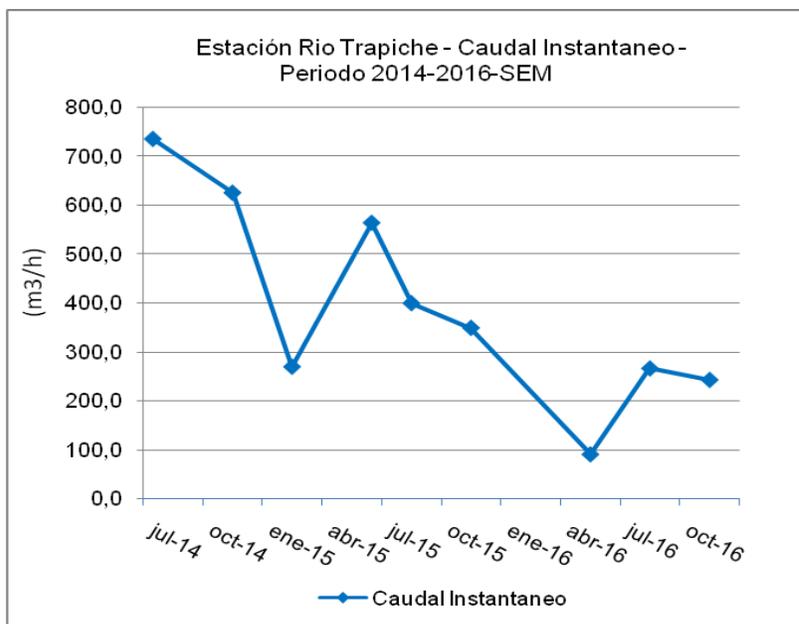


Figura N° 32. Caudales del Río Trapiche –De frecuencia trimestral - S.E.M.- Catamarca.

Caudales instantáneos obtenidos por la empresa Minera del Altiplano (Conhidro, 2014) se presentan en la Tabla N° 29. Se expresan los caudales promedio en m³/h para el periodo 2006-2014.

Caudal	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2006	30,5	16,5	12,2	29,5	14,8	36,6	30,0	29,4	79,2	38,5	26,8	19,6
2007	40,5	27,8	22,7	44,5	36,5	64,5	50,4	16,1	54,8	59,7	46,4	34,0
2008	24,5	29,7	33,2	58,4	50,7	37,2	47,6	31,4	62,9	44,5	18,6	30,6
2009	18,0	20,9	32,3	34,3	62,6	71,4	54,3	56,9	75,3	56,4	32,4	26,8
2010	23,1	73,5	47,7	44,2	100,0	92,1	65,0	84,0	74,9	73,7	54,9	32,0
2011	20,8	35,3	54,6	61,2	95,3	124,2	112,9	107,3	98,2	S/R	12,6	51,5
2012	38,1	39,1	32,8	53,0	89,6	103,2	95,2	143,0	69,5	34,2	22,4	24,9
2013	34,6	36,5	40,2	41,6	53,7	70,9	42,1	67,6	35,6	48,2	25,2	29,4
2014	S/R	S/R	S/R	34,6	34,6	50,3	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R	S/R
Media mensual (l/s)	28,8	34,9	34,4	44,5	59,76	72,27	62,8	66,9	68,80	50,7	29,9	31,1
Media mensual (m³/h)	103,5	125,7	124	160,5	215,1	260,2	223,8	241,1	247,7	182,6	107,6	112

Tabla N° 29 Datos de Caudales Estación Trapiche- (Fuente Conhidro-2014)

En la Figura N° 33 se observa que los caudales mayores ocurren en los meses de invierno (Mayo a Octubre), por encima de los 150 m³/h. En tanto los caudales menores corresponden a los meses de verano.

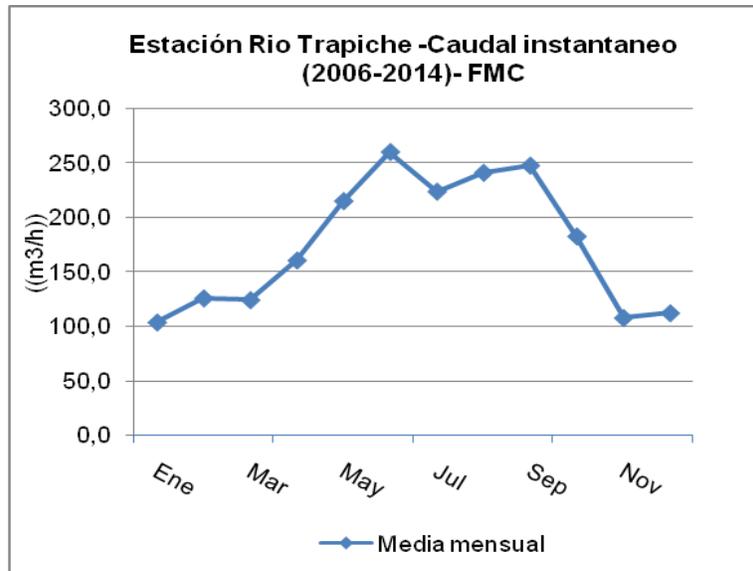


Figura N° 33: Caudales Instantáneos Río Trapiche- 2006-2014 Datos FMC

V.3.2 COMPOSICION DE AGUA

Se analizó la variación y comportamiento tanto en campo como en laboratorio para los parámetros pH, conductividad eléctrica (CE) y temperatura (T), desde el 2013 al 2016, a partir de un total de 14 registros de laboratorio y 11 datos de campo, generados por la SEM –Catamarca, mostrados en la Tabla N° 30.

Fecha	pH-Laboratorio	pH-Campo	C. E (μS/cm) laboratorio	C. E. (μS/cm) Campo	T.agua (°C) campo	T. aire (°C) campo
Jul-13	7,8	S/R	303	S/R	S/R	S/R
Jul-13	8,0	S/R	306	S/R	S/R	S/R
Oct-13	8,2	S/R	268	S/R	S/R	S/R
Feb-14	8,7	8,6	246	244	20,9	19,7
Jul-14	7,8	7,9	307	287	1,3	8,7
Nov-14	8,2	8,3	259	272	25,0	18,8
feb-15	8,0	8,9	276	273	13,9	16,2
Jun-15	7,4	8,4	260	267	6,8	12,7
Ago-15	7,8	8,2	257	255	8,4	4,1
Nov-15	7,9	8,0	265	252	10,8	14,9
Feb-16	8,6	8,0	266	284	24,9	23,6
May-16	7,7	8,0	281	292	1,1	5,8
Ago-16	7,8	7,7	296	307	9,3	12,1
Nov-16	8,0	7,7	271	272	13,5	15,0
Promedio	8,0	8,0	276	273	12,4	13,8

Tabla N° 30: Datos de Campo Estación Río Trapiche (S/R: Sin Registro)

La estación Río Trapiche posee una calidad de agua tipo alcalina, con promedio de pH 8, y una baja conductividad eléctrica (promedio de 276 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en laboratorio y 273 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en campo).

Los valores de Conductividad Eléctrica, obtenidos en campo y laboratorio evidencian un comportamiento similar. Presenta picos máximos notorios en las fechas Julio/13, Julio /14 y Agosto/16 con mínimos en Febrero/14, Noviembre/14 Noviembre/15 y Noviembre/16. (Figura N°34). Durante el año 2015 se observa escasa variabilidad.

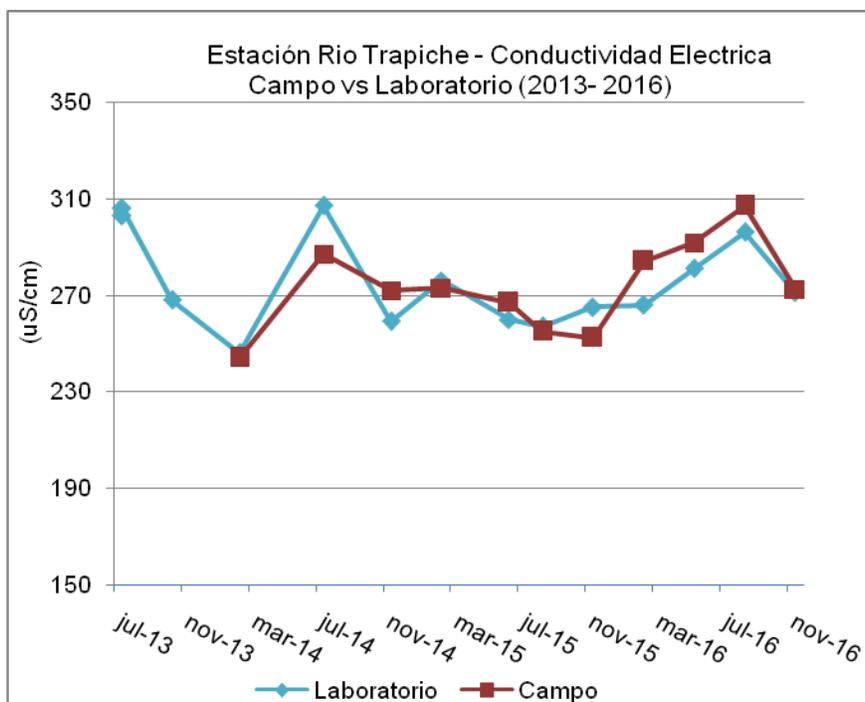


Figura N° 34: Conductividad Eléctrica Río Trapiche Campo vs Laboratorio

En la comparación de los valores de pH de campo y laboratorio, en la estación Río Trapiche, se observa que poseen leves diferencias, en cuanto a concentración. (Figura N° 35).

Se observan picos máximos en las fechas Febrero /14 Febrero/15, y Febrero/16, en tanto que los valores mínimos corresponden a los meses de Julio/14, Junio/15 y Mayo/16.

Durante el año 2015, se observa una ligera tendencia decreciente, en correspondencia al comportamiento de la variable Conductividad Eléctrica, en el mismo periodo.

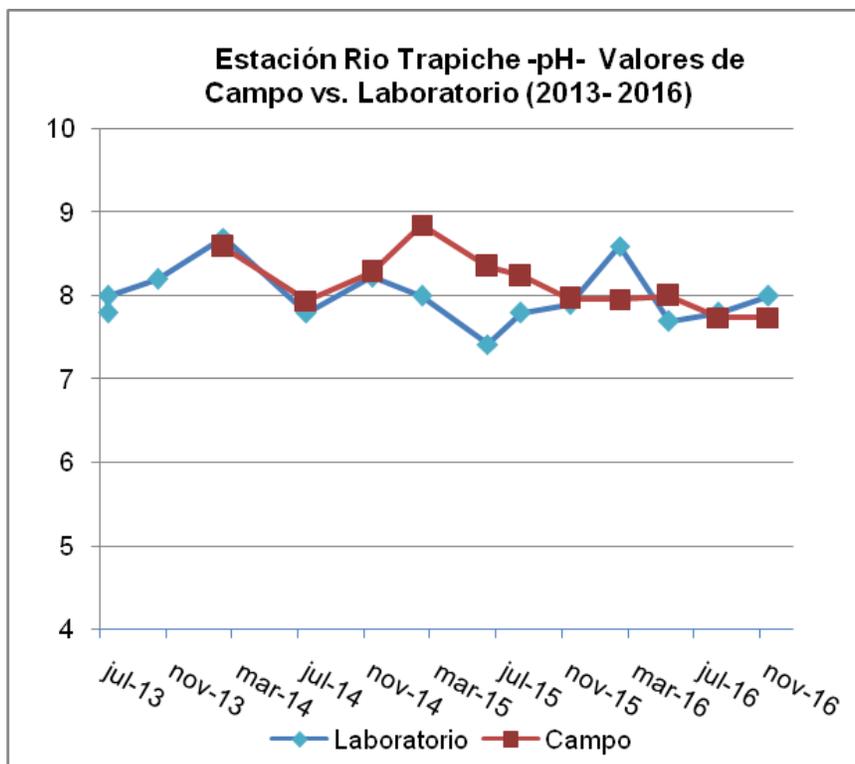


Figura N°35: pH- Río Trapiche Campo vs Laboratorio

CATIONES MAYORITARIOS

Para el análisis de los iones mayores, se analizó un total de 58 registros considerados válidos y confiables, de la base de datos de la empresa FMC, para el periodo 2006- 2016.

Entre los cationes mayoritarios presentes en las aguas del Río Trapiche, predomina el Sodio (promedio 36,2 mg/l) seguido por Calcio (promedio 20,7 mg/l). Ambos iones presentan una gran variabilidad en el periodo de registro. En mucha menor proporción se encuentran el Potasio (promedio 3,5 mg/l) y Magnesio (promedio 3,2 mg/l).

En la Figura N°36 se exhiben las tendencias de estos iones. Se observa que existe un rango de variación amplia en el periodo 2006 – 2014, probablemente consecuencia de errores de medición. El laboratorio que realizó estos análisis es el que posee la empresa en el Salar de Hombre Muerto, donde también se efectúa el análisis de la salmuera. A partir de 2015 la dispersión de datos es menor, en coincidencia con el cambio del lugar de análisis al laboratorio General Güemes- Salta. Asimismo también se han producido cambios en los procedimientos internos de la empresa en lo referido toma de muestras y frecuencia

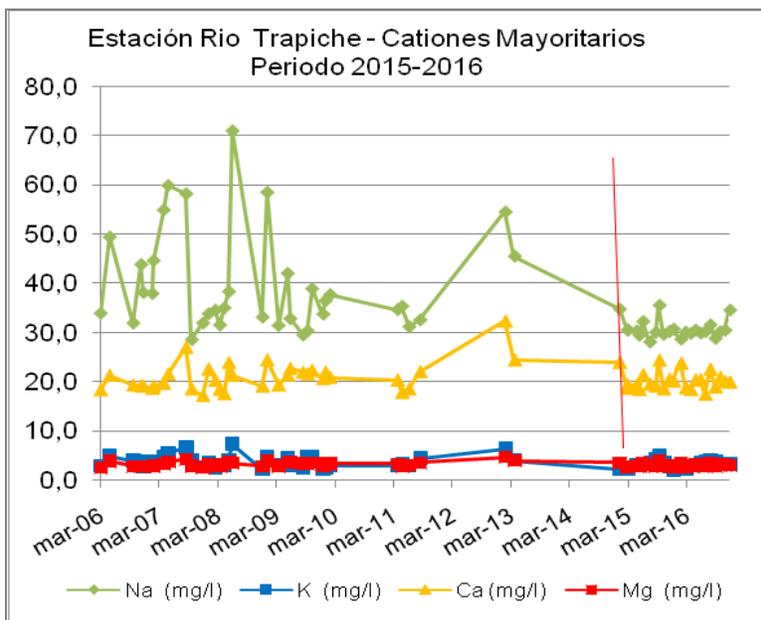


Figura N° 36. Cationes mayoritarios del Río Trapiche. El cambio en la estabilidad y regularidad de los datos a partir del 2015 se indica con una línea roja

Los aniones mayoritarios presentes en las muestras examinadas manifiestan un control del ion Bicarbonato (promedio 84 %), sobre el Sulfato (promedio 34 %) y Cloruro (promedio 27 %) en menor proporción. En general el comportamiento es similar a lo largo de los anuales analizados, con una mayor variación de los datos para el periodo 2006-2014 y un mayor estabilidad y regularidad a partir del 2015, separada con una línea vertical roja dentro de la Figura N° 37.

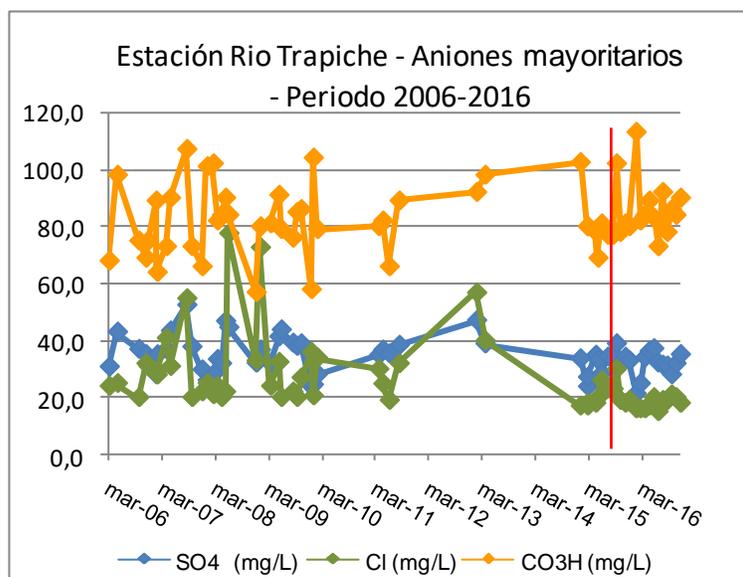


Figura N° 37. Aniones mayoritarios del Río Trapiche

REPRESENTACIONES EN DIAGRAMAS HIDROQUIMICOS

En función de las concentraciones de los iones principales en los diferentes diagramas hidroquímicos se verifica que las características de la calidad del agua en esta Subcuenca es del tipo Bicarbonatada Sódica.

Este diagrama permite apreciar el predominio neto del ion Bicarbonato sobre los aniones restantes, en tanto el contenido del catión Sodio es ampliamente superior al Calcio y Magnesio. (Figura N° 38)

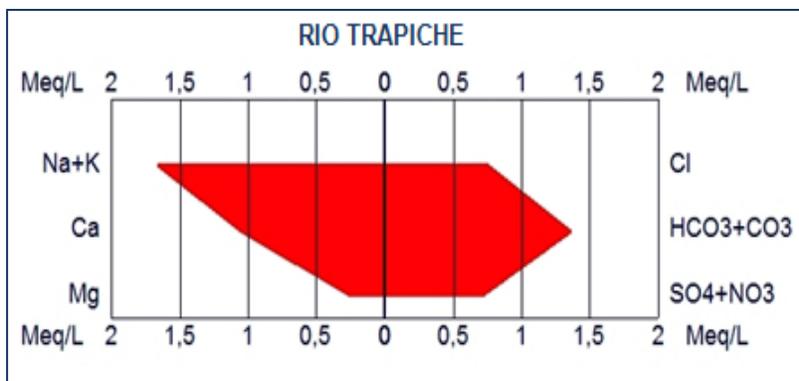


Figura N°38. Representación promedio de los iones del Río Trapiche 2006-2016.

A través de los diferentes polígonos de Stiff (Figura N° 39) se puede observar, la variación en las concentraciones promedio de los iones mayoritarios, expresados en meq/l, para cada año considerado.

Las figuras presentan modelos similares en tamaño y forma, para las diferentes fechas del periodo de registro, evidenciando por los picos dominantes del ion Sodio en los cationes y del ion Bicarbonato sobre los aniones. El polígono del año 2013, muestra las mayores concentraciones en el periodo de registro y situación opuesta lo presenta el polígono del año 2015.

La concentración de Calcio en los dos últimos años 2015-2016 evidencia un leve incremento expuesto en los picos de la gráfica

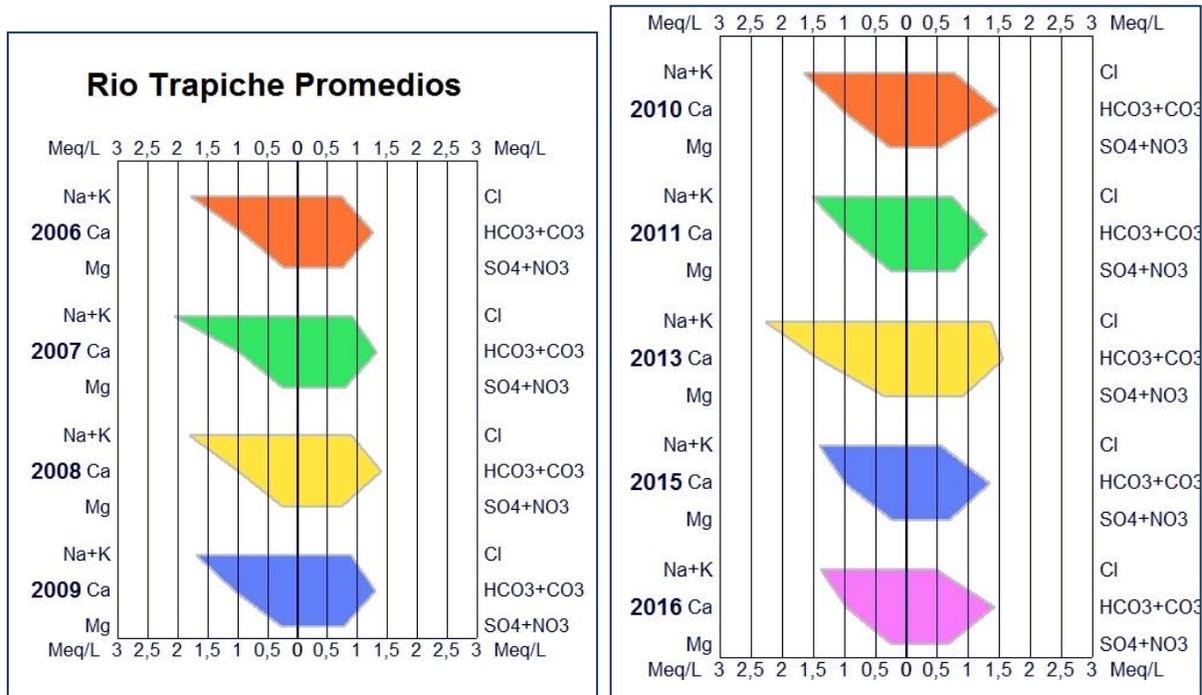


Figura N°39 Representación de Stiff – Rio Trapiche periodo 2006-20016

El diagrama Piper para el Rio Trapiche muestra la densidad de puntos en la parte media superior del rombo centro inferior, que corresponde a agua de tipo Bicarbonatada Sódica. La mayor parte de las muestras poseen entre un 50 a 70 % de Bicarbonato, 20 a 30 % de Sulfatos y menos de 10 a 30 % de Cloruro. Respecto a los cationes, las muestras contienen entre 44 a 70 % de Sodio, 25 a 35 % Calcio, y menos del 10 % de Magnesio. (Figura N°40)

La clasificación del agua en este punto de monitoreo se cataloga según lo expuesto como agua Bicarbonatadas Sulfatada Sódica. Con una concentración mayor de Bicarbonatos y Sodio que la estación Rio Peñas Blancas.

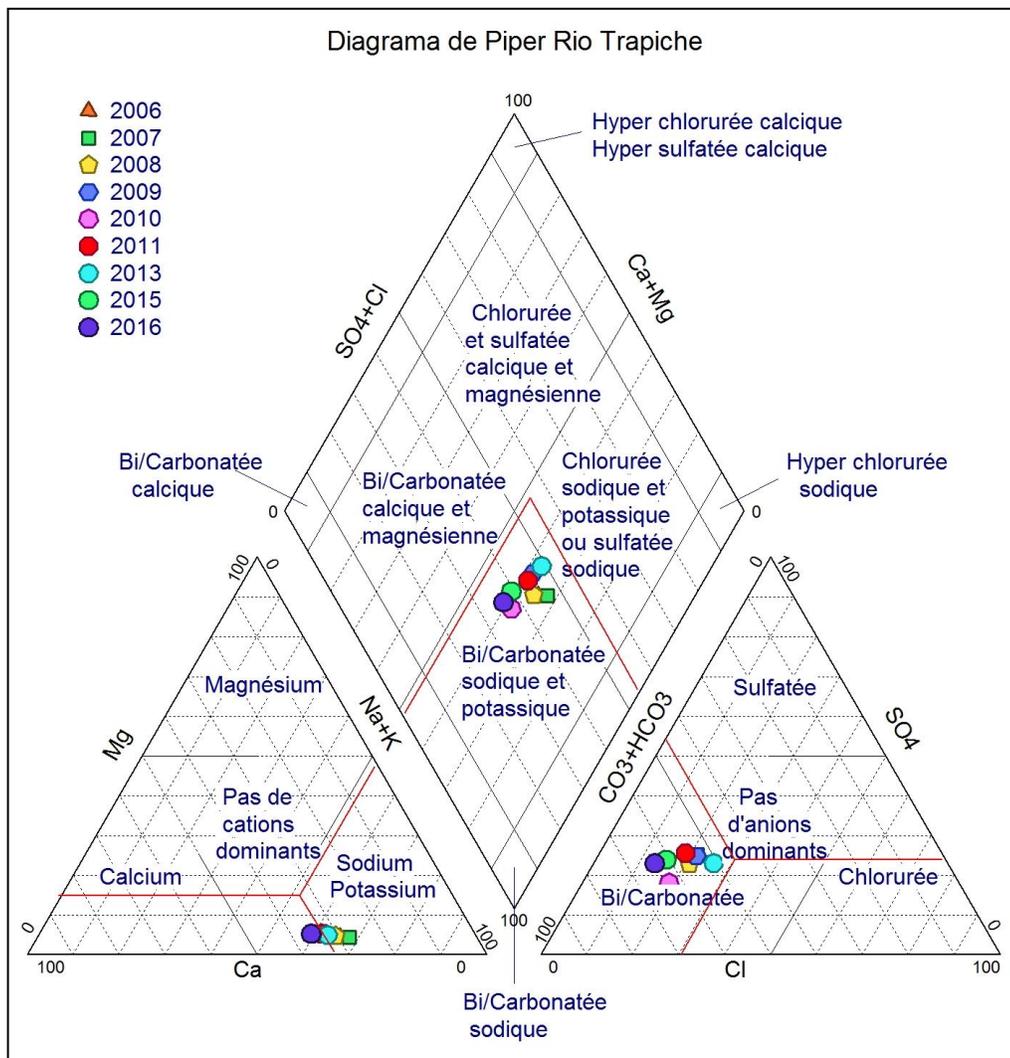


Figura N° 40. Clasificación Geoquímica de Piper del agua Rio Peñas Trapiche muestras del periodo 2006-2016 – Concentraciones expresadas en % Meq

V.4 EVALUACION DE IONES MINORITARIOS Y TRAZAS

En base a los datos obtenidos desde la SEM- Catamarca se analizó la variación de elementos minoritarios en las dos estaciones de monitoreo Peñas Blancas y Trapiche, para el periodo 2013-2016, con un total de 25 muestras. (ANEXO VI).

Para la evaluación se seleccionaron aquellos elementos que muestran contenidos positivos en el periodo analizado y/o son peligrosos para la biota: Hierro, Arsénico, Aluminio, Bario y Boro, Dichos metales se graficaron en forma conjunta para cada estación y se compararon con los Niveles guía de calidad de agua para la vida acuática, irrigación, bebida de animales y bebida humana, establecidos por el Anexo IV de la normativa complementaria de la ley 24.585 “De Protección Ambiental para la Actividad Minera” y para agua potable del Código Alimentario Argentino (CAA) capítulo XII- Bebidas Hídricas, Agua y Aguas gasificadas.

En la Tabla N° 31 se muestran los niveles guías mencionados para los metales analizados

Organismos de Control de Calidad de Aguas		As (µg/l)	B (µg/l)	Ba (µg/l)	Al (µg/l)	Fe (µg/l)
Niveles Guía Normal. Complementaria - Ley 24.585	Bebida Humana	50		1000	200	
	Vida Acuática	50	750			
	Irrigación	100	500		5000	
	Bebida para Ganado	500	5000	500	5000	
Código Alimentario Argentino		10	500	5	200	300

Tabla N°31 Niveles Guías de Calidad de Aguas en Argentina

Los datos analizados se muestran en la Tabla N° 32 y Tabla N° 33 identificando los valores en µg/l y diferenciados por celdas pintadas los datos mayores a los estándares de control.

- El contenido de Arsénico en el periodo analizado, supera en tres oportunidades el nivel guía para agua potable del CAA, con un promedio de 15 µg/l, para la estación Peñas Blancas, en tanto que para la estación Dique Trapiche, lo supera en seis ocasiones con un promedio de 14 µg/l. Asimismo en varias fechas este analito se encontró por debajo del límite de detección de la técnica de análisis del laboratorio. En ninguna oportunidad superó los niveles establecidos por el Anexo IV. de la ley 24.585
- El contenido de Bario no supera los niveles guía propuestos por los organismos en el Rio Peñas Blancas y se encuentra superando con un promedio de 13 µg/l en todas muestras de la estación Trapiche según el CAA y en ningún caso los niveles de la ley 24.585.
- El elemento Boro en la estación Peñas Blancas supera seis veces los estándares propuestos por los organismos de calidad, con un promedio de 770 µg/l para el CAA. Para aguas de irrigación supera seis veces y en una sola oportunidad con 1407 µg/l la calidad de agua para la vida acuática según la ley 24.585. Situación similar presenta la estación Rio Trapiche superando en todas las muestras con un promedio de 700 µg/l según CAA y por encima de los valores patrón de la ley 24.585 para Irrigación y vida acuática.
- El Aluminio presente en las estaciones estudiadas no sobrepasa en ninguna oportunidad los niveles guías de los dos organismos elegidos.

- El Hierro analizado en los puntos de monitoreo de la estación Peñas Blancas supera en cuatro ocasiones el nivel guía de CAA con un promedio de 589 µg/l. No se observan valores de Hierro en la estación Río Trapiche, que superen los estándares de control elegidos.

Fecha Muestra	Estación de Muestreo	As (µg/l)	B (µg/l)	Fe (µg/l)	Al (µg/l)	Ba (µg/l)
27/02/2014	Peñas Blancas	13	1407	589	133	2
09/07/2014	Peñas Blancas	10	676	355	89	VNC
11/11/2014	Peñas Blancas	17	688	640	77	VNC
21/02/2013	Peñas Blancas	VNC	608	372	34	VNC
04/06/2015	Peñas Blancas	VNC	485	VNC	VNC	VNC
14/08/2015	Peñas Blancas	VNC	380	VNC	VNC	VNC
13/11/2015	Peñas Blancas	VNC	490	VNC	VNC	3
11/02/2016	Peñas Blancas	26	600	VNC	VNC	3
10/05/2016	Peñas Blancas	10	460	VNC	VNC	VNC
18/06/2016	Peñas Blancas	VNC	400	VNC	31	5
08/11/2016	Peñas Blancas	VNC	640	VNC	VNC	4
Total		15	621	489	73	3

Tabla N°32 Datos de la SEM –para la Estación Peñas Blancas (VNC =Valor No Considerado)

Fecha Muestra	Estación de Muestreo	As (µg/l)	B (µg/l)	Fe (µg/l)	Al (µg/l)	Ba (µg/l)
18/07/2013	Trapiche	VNC	968	114	42	16
18/07/2013	Trapiche	VNC	937	99	25	16
29/10/2013	Trapiche	12	870	108	37	14
27/02/2014	Trapiche	13	685	168	24	14
09/07/2014	Trapiche	9,1	677	VNC	46	12
11/11/2014	Trapiche	20	712	112	36	12
21/02/2013	Trapiche	VNC	590	136	12	14
04/06/2015	Trapiche	21	675	VNC	18	12
14/08/2015	Trapiche	7,6	540	VNC	10	9,6
13/11/2015	Trapiche	VNC	600	VNC	10	13
11/02/2016	Trapiche	12	610	213	VNC	15
10/05/2016	Trapiche	19	630	VNC	5	10
18/06/2016	Trapiche	12	570	143	52	15
08/11/2016	Trapiche	VNC	730	VNC	3,3	14
Total Promedio		14	700	137	25	13

Tabla N°33 Datos de la SEM –para la Estación Río Trapiche

En la Tabla N° 34 se presenta el contenido promedio de los metales presentes en las aguas de las dos estaciones de control analizadas expresados como porcentajes a fin de ser graficados en forma conjunta para la comparación de las concentraciones de los elementos y establecer el grado de aporte de cada Subcuenca, a la calidad de agua del acuífero del cono aluvial río Trapiche, punto de salida de la cuenca de estudio.

Elementos Minoritarios	As (µg/l)	As (%)	B (µg/l)	B (%)	Fe (µg/l)	Fe (%)	Al (µg/l)	Al (%)	Ba (µg/l)	Ba (%)
Peñas Blancas	75,7	38	6834,0	41	1956,0	64	364,0	57	16,9	8
Río Trapiche	125,7	62	9794,0	59	1093,0	36	280,0	43	186,6	92
Total	201,4	100	16628,0	100	3049,0	100	644,0	100	203,5	100

Tabla N°34 Concentraciones de los elementos minoritarios – Periodo 2013-2016- SEM

El agua del río Peñas Blancas posee un contenido levemente mayor de Aluminio e Hierro, aportando 64% y 57% respectivamente, en tanto la Subcuenca del río Trapiche aporta la mayor parte de Bario (92%), Arsénico (62%) y Boro (59%).

El contenido de Arsénico de ambas subcuencas puede asociarse con procesos de disolución de minerales contenidos en rocas de naturaleza muy reactiva como cenizas volcánicas de grano fino, que pueden liberar cantidades suficientemente altas a las aguas. En cambio las rocas metamórficas muestran un contenido bajo de Arsénico, que no suelen superar 5 ppm, excepto las metapelitas, que suelen tener un contenido medio de 18 ppm (Boyle y Jonasson, 1973). (Figura N°41)

Las rocas sedimentarias presentan una mayor variabilidad, las pelitas de origen marino son las que tienen contenidos más altos de arsénico, que pueden ser excepcionalmente altos en ambientes medio oceánicos (Smedley y Kinniburgh, 2002).

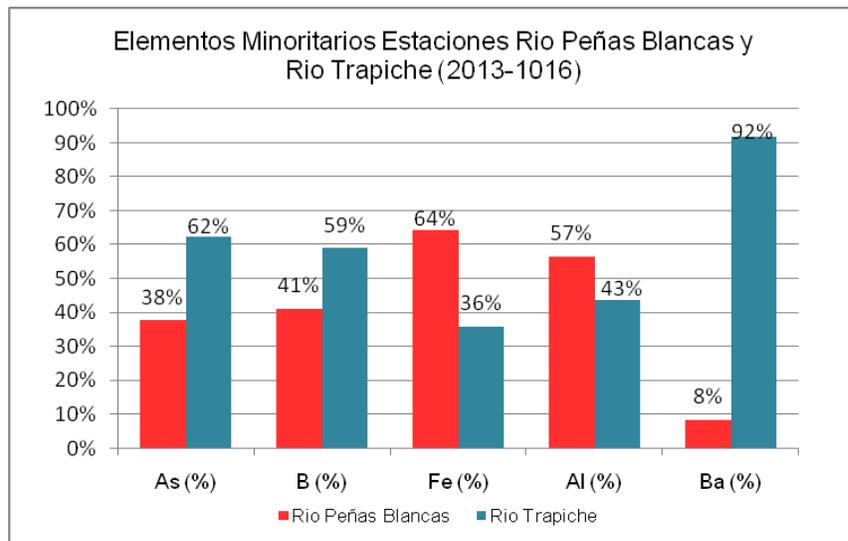


Figura N°41 .Representación de los elementos minoritarios de las Subcuenca Río Peñas Blancas y Subcuenca Río Trapiche.

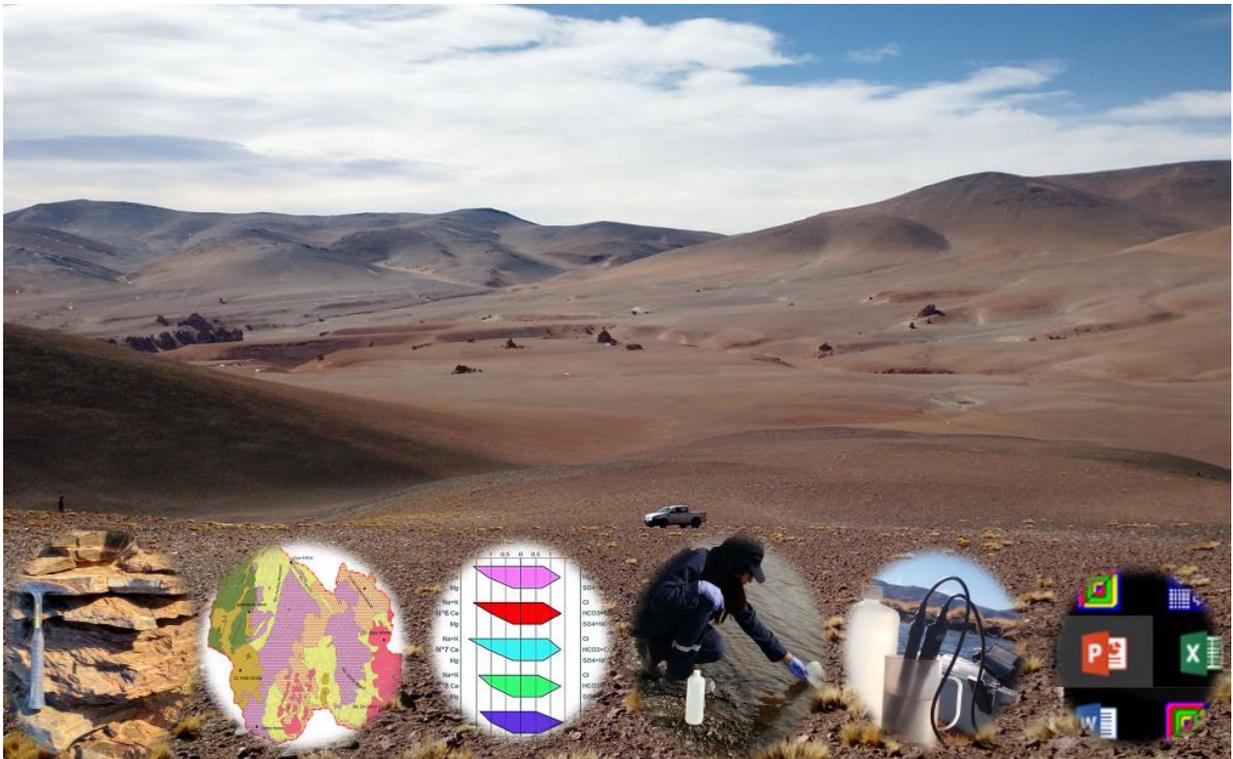
En la Subcuenca Peñas Blancas las concentraciones mayores corresponden al Hierro y Aluminio sobre el Boro, Arsénico y Bario (Fe>Al>B>As> Ba) a diferencia de la Subcuenca Río Trapiche en la cual el Boro y Arsénico muestra contenidos más elevados, seguido por Boro, Aluminio y Hierro (Ba>As>B>Al> Fe).



CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES



Vista al NE de la Cuenca Trapiche



VI.1 CONCLUSIONES

La cuenca de Río Trapiche, ubicada en el Departamento de Antofagasta de la Sierra – Catamarca, a más de 4000 m.s.n.m. se encuentra integrada por las Subcuenas Peñas Blancas y Trapiche.

Conforma un área de 281,12 km², con un cauce dominante que drena de SE- NO denominado Río Trapiche cuyas nacientes se localizan sobre el Nevado de Concha Argolla, desembocando sobre el cono aluvial Trapiche. Su principal aporte es el río Peñas Blancas que nace en el Campo Morano y circula en dirección predominante S-N.

Esta cuenca realiza el principal aporte de recarga al cono aluvial Trapiche, cuyo acuífero subterráneo abastece de agua dulce al proyecto minero Fénix, que explota litio de la salmueras del Salar del Hombre Muerto desde el año 1997 y cuyo concesionario es la Empresa Minera del Altiplano S.A-FMC, dentro de un ambiente volcánico regido por el clima árido y seco, con importantes depósitos evaporíticos alrededor.

La situación climática es determinante en la alta cuenca debido a la baja existencia de precipitaciones sólidas (granizo y nieve), que hasta la actualidad no han sido debidamente cuantificadas y son una fuente de recarga a través de los ciclos de deshielo que ocurren diariamente. Las precipitaciones líquidas aisladas y dominantes en la época estival constituyen también la fuente de alimentación de los cauces dentro de la cuenca.

Se determinó que las mayores precipitaciones líquidas ocurren en los meses de verano (Diciembre – Febrero) con un promedio anual de 82 milímetros, acompañado de una temperatura promedio anual de 5,34 °C y una velocidad promedio mensual de viento de 22 km/h.

VI.1.1 GEOLOGÍA

Las unidades estratigráficas que integran la Cuenca Río Trapiche se resumen en el siguiente cuadro:

Era	Periodo	Época	Formaciones
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósitos Aluviales y Coluviales. Gravas y arenas
		Pleistoceno	Formación Incahuasi: Basaltos
	Neógeno	Plioceno	Complejo Volcánico Cerro Galán Ignimbritas con vulcanitas hialopiliticas
		Mioceno	Formación Tebenquicho: reoignimbritas, Ignimbritas y dacitas
Paleozoico	Ordovícico	Llandeiliano Llanvirniano	Formación Falda Ciénega: Pelitas con intercalaciones de areniscas volcanoclasticas, con anquimetamorfismo con fósiles de graptolites.
		Arenigiano	
Neo proterozoico		Formación Pachamama Esquistos y gneises (para y ortogneises) con intercalación Anfibolitas	



GEOLOGÍA E HIDROLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO TRAPICHE Dpto. Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca



La Formación Pachamama, posee una diversidad de litología integrada por rocas metamórficas de grado bajo, medio y alto. Los afloramientos descritos como Formación Falda Ciénega (Aceñolaza, 1976), en el sector central y E de la Cuenca Trapiche corresponden a rocas metamórficas del complejo Pachamama (Aramayo 1986).

La Formación Tebenquicho se encuentra constituida por diferentes materiales volcánicos con amplio desarrollo en la cuenca. Las muestras analizadas, correspondieron a Reoignimbritas, Ignimbritas y Dacitas.

La Formación Falda Ciénega posee un amplio desarrollo en la ladera O de la cuenca del río Trapiche, evidenciando afloramientos aislados en el centro S. La componen sedimentitas consolidadas y metamorfitas de muy bajo a bajo grado.

Formación Complejo Volcánico Cerro Galán, se manifiesta a través de extensas peneplanicies de Ignimbritas dominantes en el centro y E de la cuenca. Se destaca el hallazgo de vulcanitas hialopilitas, de alto grado de compactación las cuales podrían pertenecer a las Ignimbritas del centro resurgente del Cerro Galán.

La Formación Incahuasi, compuesta por basaltos de aspecto fluidal, fueron identificados por medio de derrubios, y manifestaciones en el sector inferior de la Formación Falda Ciénega (Quebrada del Medio) observando en la cúspide de la serranía su máximo desarrollo.

Los depósitos aluviales y coluviales del Cuaternario con detritos de las Formaciones descritas anteriormente, se extienden sobre las planicies de la cuenca, así como en los escasos cauces fluviales que atraviesan el área de interés. El mayor desarrollo se evidencia en la desembocadura de la cuenca estudiada.

VI.1.2 MORFOMETRÍA

Para la caracterización de las propiedades morfométricas de la cuenca del río Trapiche, se ha dividido en la Subcuenca Peñas Blancas y Trapiche.

Ambas subcuencas son alargadas en sentido de su cauce principal, el cual es alimentado por los tributarios de corto recorrido y bajo poder de erosión. Predomina un diseño de red de drenaje dendrítico en las nacientes de las subcuencas para transformarse en subparalelo en el centro y salida de las mismas.

La Subcuenca Peñas Blancas es una cuenca pequeña, alargada, con un cauce principal recto de orden 4 y longitud de 17,09 km en sentido S-N. Posee forma oval oblonga, con relieves accidentados especialmente en el sector O sobre las Formaciones Falda Ciénega e Incahuasi con altitudes de 5179 m. La pendiente promedio es de 35°. El valor total de densidad de drenaje para toda el área es de 2,6 y la relación de bifurcación es de 2,4, la que se corresponde con la litología resistente de las vulcanitas y sedimentitas sumados a la baja cubierta vegetativa y las escasas precipitaciones de la región.

La Subcuenca Trapiche definida como una cuenca pequeña a intermedia, posee la característica de un cauce principal sinuoso de orden 5, y una longitud de 25, 27 km en sentido SE-NO. Su geometría rectangular oblonga y la mediana compacidad obtenida, favorece la mayor concentración de aguas sobre el curso de agua principal cuya evolución se encuentra en su estadio inicial (juventud). El achatamiento de sus laterales, unido al fuerte relieve en el sector E sobre los Cerros de Nevado de Concha Argolla, Cerro Aguas Calientes y Cerro del Hombre Muerto con altitudes de 5244 m y pendientes promedio de 21°, favoreciendo el corto recorrido de los tributarios, que rápidamente aportan al flujo principal, otorgando una mayor concentración de su caudal sin la posibilidad de formar grandes torrentes.



GEOLOGÍA E HIDROLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO TRAPICHE Dpto. Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca



La densidad de drenaje para toda el área de 2,3 y la baja relación de bifurcación de 2,4 se corresponde con la litología metamórfica y volcánica, así como también con las estructuras secundarias del terreno.

VI.1.3 HIDROQUÍMICA

Los registros de los caudales de los ríos que componen la cuenca, comprenden un periodo corto para realizar un análisis estadístico preciso. Como una primera aproximación se determinó que el caudal promedio del Rio Peñas Blancas es de 60,4 m³/h. y del Rio Trapiche es de 380,8 m³/h.

Los máximos caudales corresponden a los meses de Junio a Septiembre.

El agua del Rio Peñas Blancas es del tipo Bicarbonatada Sódica/Cálcica de baja conductividad (218 uS/cm), alcalina con un valor de pH promedio de 8. El agua del Rio Trapiche posee características químicas muy similares, es de tipo Bicarbonatada Sódica con una conductividad promedio ligeramente mayor (274,5 uS/cm).

La presencia de Calcio en las aguas, podría ser correlacionable con el vulcanismo calcoalcalino terciario de la cuenca.

En ambos cauces se observó un comportamiento variable de la conductividad eléctrica, poseen máximos en la época de precipitaciones (Febrero/14, Febrero/15, Febrero/16) en tanto que otras se produce durante el invierno-primavera coincidente con el aumento de caudal.

Gran parte de los registros obtenidos a partir de los programas de monitoreo de la empresa Minera del Altiplano-FMC adolecen de errores en las determinaciones de laboratorio.

Con el control de calidad de los datos aplicados en el presente trabajo de 219 datos originales se rescataron 58 como registros válidos y confiables, lo que representa el 26 % en el rio Trapiche y en la estación Peñas Blancas de un total de 40 datos adquiridos, se preservaron 19 como confiables y válidos, lo que constituye un 47 % de los originales.

Los valores evidencian un rango de variación amplia en su comportamiento para el periodo 2006 – 2014, probablemente consecuencia de errores de medición y/o descalibración de equipos. A partir de 2015 la dispersión de datos es menor, lo que demuestra un mejor control de los factores antes mencionados.

En el análisis del comportamiento de los elementos minoritarios en la Subcuenca Peñas Blancas las concentraciones mayores corresponden al Hierro, Aluminio sobre el Boro, Arsénico y Bario (Fe>Al>B>As> Ba) a diferencia de la Subcuenca Rio Trapiche en la que los metales de mayor concentración son Bario y Arsénico seguido por Boro, Aluminio e Hierro (Ba>As>B>Al> Fe).

El contenido de Arsénico, supera en tres mediciones, el nivel guía para agua potable del CAA, con un promedio de 15 µg/l, para la estación Peñas Blancas, en tanto que para la estación Dique Trapiche, lo supera en seis, con un promedio de 14 µg/l.

En áreas de clima árido, el aumento de la concentración de arsénico en las aguas superficiales puede verse favorecido por los procesos de evaporación, que además provocarían un aumento en la salinidad y pH de las aguas.

El contenido de Bario supera con un promedio de 13 µg/l en todas muestras de la estación Trapiche, el nivel guía del CAA y en ningún caso los niveles de la ley 24.585.



GEOLOGÍA E HIDROLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO TRAPICHE **Dpto. Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca**



El elemento Boro en la estación Peñas Blancas supera seis veces los estándares propuestos por el CAA. En tanto que para aguas de irrigación supera seis veces y en una sola oportunidad para agua de la vida acuática según la ley 24.585.

El Boro en la estación Rio Trapiche excede en todas las muestras los estándares de CAA y los valores patrón de la ley 24.585 para Irrigación y vida acuática. El Aluminio presente no sobrepasa en ninguna oportunidad los niveles guías antes mencionados en ninguna de las muestras de los ríos.

El Hierro analizado en los puntos de monitoreo de la estación Peñas Blancas supera en cuatro ocasiones el nivel guía de CAA y no se observan valores de Hierro en la estación Rio Trapiche, que superen los estándares de control elegidos.

VI.2. RECOMENDACIONES

Realizar un monitoreo más regular sobre el Rio Peñas Blancas a fin de generar una mayor cantidad de registros para la evaluación el comportamiento del caudal.

Continuar con el registro de caudales sobre el Rio Trapiche que contribuya a su valoración precisa y confiable y que sea de utilidad para la realización del balance hídrico y para el estudio vinculado con otras variables climáticas.

Generar registros de las precipitaciones solidas en el área con objetivo de cuantificar su aporte en la recarga de la cuenca.

Obtener una mayor cantidad de registros hidroquímicos en la estación Peñas Blancas.

Profundizar los conocimientos geológicos del área, y su relación con el movimiento de los flujos de agua, teniendo en cuenta las estructuras secundarias presentes.

Continuar con el registro de las precipitaciones del área de gran importancia para estudiar la recarga del cono aluvial Trapiche.



BIBLIOGRAFIA

- Aceñolaza, F. y A. Toselli, 1976. Consideraciones estratigráficas y tectónicas sobre el Paleozoico inferior del Noroeste Argentino. Memorias 2º Congreso Latinoamericano de Geología, 2:755-764. Caracas.
- Alonso, R. N., J. Viramonte, 1987. Geología y Metalogenia de la Puna
- Appelo, C.A.J., Postma, D. 1994. Geochemistry, Groundwater and Pollution. AA Balkema, Rotterdam.
- Appelo, C. A. J. Y Postma, D. 1999: Geochemistry. Groundwater and Pollution. Ediciones A.A. Balkema. Netherlands. Amboy, New Jersey». Bulletin of the Geological Society of América.
- Cárdenas León, J. A. 2005: Calidad de agua para estudiantes de Ciencias Ambientales. Facultad de Medioambiente y R. N. Universidad Distrital de Francisco José de Caldas. Colombia.
- Coira, B, 1993. Upper Cenozoic magmatic evolution of the Argentine Puna – A model for Changing Subducción Geometry. International Geology Review.
- Custodio, E. y Llamas, M. R. 1983: Hidrología subterránea. Tomo I, 2ª edición. Ediciones Omega. Barcelona. España.
- García, R. F, V. Rochaz Fasola, F.A. Moya Ruiz y E Talamo 2011. El Ambiente Hidrogeológico de la Puna Salteña VII Congreso Argentino de Hidrogeología y Seminario Hispano Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrogeología Subterránea. Salta-Argentina
- González, O., 1983. Geología, alteración hidrotermal y edad del Cerro Tebenquicho, Departamento de Antofagasta de la Sierra, Catamarca. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 38:49-59. Buenos Aires
- Hongn, F y Seggiaro, R. 2001. Hoja Geológica 2566-III. Cachi. Provincia de Salta y Catamarca. Programa de Cartas Geológicas de la República Argentina. Servicio Geológico Minero Nacional
- Mon R. 1976-1999. Megafracturas transversales del NOA
- Moya Ruiz, F.; García, R.; Rocha, V.; Ferretti, J.; Masei, G y R. González, 2008. Sistema Acuífero Río Trapiche: Un Modelo de Reservorio de Agua Subterránea en Cuencas Endorreicas de la Puna Argentina. IX Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Quito, Ecuador.
- Minera del altiplano S.A. FMC - 1997. Estudio de Impacto Ambiental. Proyecto de Litio Fénix. Minera del Altiplano S.A. Salar del Hombre Muerto, Catamarca.
- Minera del altiplano S.A.-FMC 2006. Renovación Bianual de Estudio de Impacto Ambiental. Proyecto de Litio Fénix. Conhidro División Ambiental. Salar del Hombre Muerto
- Minera del Altiplano S.A. – FMC: Consultora Ambiental, 2002. Estudio de Impacto Ambiental y Social del Proyecto Fénix, Salar del Hombre Muerto, Provincia de Catamarca. Consultora Ambiental, 2002.



GEOLOGÍA E HIDROLOGIA DE LA CUENCA DEL RÍO TRAPICHE Dpto. Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca



- Minera del Altiplano S.A.– FMC: Consultora Ambiental, 2004. Renovación Bidual Estudio de Impacto Ambiental y Social del Proyecto Fénix, Salar del Hombre Muerto, Provincia de Catamarca. Minera del Altiplano S.A.-FMC (2000).
- Minera del Altiplano S. A- FMC 2011. Actualización del Estudio de Impacto Ambiental y Social. Proyecto FÉNIX, Salar del Hombre Muerto. Ref.: Expte. E-18163/2011- PROGRAMA CALIDAD DE AGUA.
- Minera del Altiplano S. A- FMC : CONHIDRO, 2014- evolución piezométrica y geoquímica del agua subterránea del sistema acuífero trapiche- batería de pozos de agua dulce-salar del hombre muerto provincia de Catamarca
- Minera del Altiplano S. A- FMC: CONHIDRO, 2015- sistema acuífero trapiche- informe 2002-2013- salar del hombre muerto provincia de Catamarca.
- Víctor A. Ramos- BUENOS AIRES, 1999- Provincias Geológicas del territorio Argentino-Capítulo III.
- SALFITY. J., 1985. Lineamientos transversales al rumbo andino en el Noroeste Argentino. Actas 4º Congreso Geológico Chileno, 1:2/119-137. Antofagasta
- Secretaria de Minería de Catamarca - Expediente M-2650/1997 - Correspondiente al Informe de Impacto Ambiental del proyecto Fénix- etapa de explotación, presentado por la actual empresa concesionaria FMC.
- Secretaria de Minería de Catamarca Expediente 17775/2011 Programa de caudales de agua de pozos subterráneos y consumo. Río Trapiche Proyecto Fénix
- Secretaria de Minería de Catamarca: Expediente N°18163/ 2011 Programa Control Ambiental.- Calidad de aguas en Cono Aluvial Río Trapiche. (Tomo II- Año 2011 folios 458 a 735. Y el tomo III- Año 2015-2016 folios 928 a 1232).
- Water Management Consultants, 1994. Evaluation of the Recoverable Reserve in the Salar del Hombre Muerto.

PÁGINAS WEB.

<http://www.aquaysig.com/2011/01/los-diagramas-mas-usados-para-la.html>:

Metodología hidroquímica. Constituyentes mayoritarios

<http://estudiosgeol.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeol/article/viewFile/610/632>

Geología y Metalogenia de la Puna

http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/morfometria_pico_tancitaro.pdf:

Propiedades Morfométricas

<http://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur05/05anti/05anti.htm>: Propiedades de la red Hídrica

http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oquerre/4_Geomorfologia.pdf: Morfometría de cuencas.

<https://www.ucm.es/data/cont/media/www/paq5564/Peligros%20geoqu%C3%ADmicos%20del%20ars%C3%A9nico%20-%20Javier%20Lillo.pdf>: Peligros geoquímicos: arsénico de origen natural en las aguas Javier Lillo

ANEXO IV: Cationes y aniones Subcuenca Peñas Blancas

Fecha Muestra	pH	Conductividad Eléctrica (uS/cm)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	CO ₃ H (mg/L)	Ca (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	S (mg/L)
14/01/2015	7,90	217	14,54	9,00	101,02	22,07	22,27	0,61	3,78	4,85
30/04/2015	7,48	215	29,33	15,00	61,00	16,18	21,84	2,06	3,01	9,78
14/05/2015	7,10	219	34,68	15,00	59,00	18,97	21,63	2,04	3,31	11,56
09/06/2015	7,75	190	31,94	16,00	45,00	15,34	17,20	1,48	2,96	10,65
22/07/2015	7,95	233	32,24	16,00	62,00	17,57	19,35	3,48	3,76	10,75
19/09/2015	7,46	218	26,99	15,00	46,00	13,07	16,98	3,26	2,54	9,00
15/10/2015	6,67	272	27,87	15,00	51,00	13,85	20,47	2,77	2,67	9,29
19/11/2015	7,70	217	29,27	12,00	56,00	14,70	21,01	1,16	2,85	9,76
01/12/2015	8,02	210	25,97	16,00	55,00	15,02	20,65	0,67	2,60	8,66
01/01/2016	7,90	232	11,15	15,00	105,00	20,47	23,94	0,66	3,80	3,72
01/02/2016	7,92	252	10,81	15,00	111,00	23,64	21,34	0,85	4,31	3,60
01/04/2016	7,70	221	27,59	18,00	60,00	16,41	21,65	2,12	3,12	9,20
01/05/2016	7,05	215	33,74	18,00	55,00	16,82	21,61	1,98	3,12	11,25
01/06/2016	8,02	269	39,89	18,00	71,00	21,14	22,59	2,66	4,30	13,30
01/07/2016	7,62	211	28,80	13,00	54,00	15,19	17,46	2,96	3,13	9,60
01/08/2016	7,40	229	30,56	14,00	68,00	18,28	19,28	3,39	3,69	10,19
01/09/2016	7,79	203	25,36	13,00	45,00	14,14	16,48	3,69	2,64	8,45
01/10/2016	7,83	220	22,30	16,00	68,00	17,06	20,21	2,12	3,19	7,43
01/11/2016	7,93	225	22,05	16,00	75,00	17,92	20,07	1,54	3,47	7,35
PROMEDIO	8	225	27	15	66	17	20	2	3	9

ANEXO V: Cationes y aniones Subcuenca Trapiche

Fecha Muestra	pH	Conductividad Eléctrica (μS/cm)	CO ₃ H (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	S (mg/l)
dic.-07	8,72	235	66,0	29,8	22,0	31,9	2,7	17,2	2,6	9,9
ene.-08	8,47	261	101,0	26,0	25,0	33,8	3,5	22,6	3,1	8,7
feb.-08	9,09	241	102,0	28,2	21,0	34,5	2,4	20,2	2,9	9,4
mar.-08	8,41	235	82,0	33,4	24,0	31,5	3,0	18,5	2,8	11,1
abr.-08	7,87	255	84,0	31,9	20,0	35,0	3,0	17,5	3,3	10,6
may.-08	7,69	287	90,0	46,8	22,0	38,3	4,1	23,9	3,8	15,6
jun.-08	8,65	427	84,0	44,6	78,0	71,0	7,3	21,3	3,4	14,9
dic.-08	9,28	234	57,0	32,1	33,0	33,1	2,2	19,1	2,7	10,7
ene.-09	9,46	390	80,0	36,7	73,0	58,5	4,8	24,4	3,8	12,2
mar.-09	8,57	244	81,0	31,9	24,0	31,4	3,1	19,3	2,9	10,6
may.-09	8,85	290	91,0	41,3	32,5	42,0	4,5	21,3	3,5	13,8
jun.-09	8,36	327	79,0	43,8	20,0	32,8	3,0	22,7	3,6	14,6
ago.-09	7,54	280	76,0	39,1	22,0	29,5	2,6	21,9	3,4	13,0
sep.-09	7,73	268	85,0	38,0	20,0	30,3	4,6	21,6	3,4	12,7
oct.-09	8,73	295	86,0	38,9	27,0	38,9	4,7	22,3	3,5	13,0
dic.-09	9,59	262	58,0	23,9	36,0	33,7	2,3	20,6	2,8	8,0
ene.-10	8,32	256	104,0	24,5	20,6	36,5	2,4	22,0	3,3	8,2
feb.-10	7,96	273	79,0	28,1	34,0	37,7	3,0	20,9	3,3	9,4
abr.-11	8,44	262	80,0	34,9	30,0	34,6	2,9	20,3	3,3	11,6
may.-11	7,90	242	82,0	36,7	24,8	35,3	3,4	17,8	2,9	12,2
jun.-11	7,72	236	66,0	35,4	19,0	31,2	2,9	18,5	3,0	11,8
ago.-11	8,44	276	89,0	38,4	32,0	32,5	4,4	22,0	3,5	12,8
feb.-13	8,80	333	92,0	47,0	57,0	54,5	6,3	32,3	4,6	15,7
abr.-13	9,86	274	98,0	38,9	40,0	45,5	4,0	24,4	3,9	13,0
ene.-15	9,74	282	102,4	33,6	17,0	34,7	2,3	23,9	3,5	11,2
mar.-15	8,60	260	80,0	23,9	17,0	30,4	2,5	18,7	2,7	8,0
mar.-15	8,56	260	80,0	27,2	18,0	30,5	2,4	19,4	2,7	9,1
abr.-15	7,56	263	78,0	34,9	18,0	30,3	3,0	19,3	2,7	11,6
may.-15	7,04	261	69,0	33,0	20,0	29,4	3,0	18,4	2,9	11,0
jun.-15	7,94	266	81,0	28,5	26,0	32,2	3,4	21,5	3,4	9,5
jul.-15	7,82	277	77,0	34,3	23,0	28,0	3,6	19,5	3,0	11,4
ago.-15	7,34	285	77,0	33,4	23,0	30,0	4,3	19,1	2,9	11,1
sep.-15	7,30	369	102,0	38,9	30,0	35,5	4,9	24,4	3,9	13,0
oct.-15	7,30	295	78,0	31,6	19,0	29,6	3,5	18,5	2,8	10,5
nov.-15	7,76	293	81,0	34,2	18,0	30,2	2,7	20,5	2,9	11,4
dic.-15	8,45	292	80,0	32,9	19,0	30,7	2,0	20,2	2,6	11,0

Fecha Muestra	pH	Conductividad Eléctrica (µS/cm)	CO ₃ H (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Cl (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	S (mg/l)
feb.-16	8,41	294	113,0	21,4	16,0	28,6	2,2	23,8	3,5	7,1
mar.-16	8,60	265	82,0	24,9	16,0	30,0	2,3	18,8	2,6	8,3
abr.-16	7,65	264	84,0	34,1	16,0	29,8	2,9	18,4	2,7	11,4
may.-16	6,93	288	89,0	36,3	17,0	30,5	3,1	20,4	3,1	12,1
jun.-16	7,8	292	83,0	37,2	20,0	29,9	3,5	20,4	3,3	12,4
jul.-16	7,64	269	73,0	32,2	15,0	30,2	3,7	17,4	2,9	10,7
ago.-16	7,80	304	92,0	31,4	19,0	31,5	4,1	22,5	3,5	10,5
sep.-16	7,40	284	78,0	31,1	19,0	28,8	3,8	19,0	2,8	10,4
oct.-16	8,00	284	86,0	28,1	21,0	30,1	3,1	20,9	3,2	9,4
nov.-16	8,07	278	84,0	31,9	20,0	30,4	3,3	20,1	3,1	10,6
dic.-16	8,33	290	90,0	35,1	18,0	34,5	3,2	19,9	3,0	11,7
Promedio	8	283	87	31	18	30	3	20	3	10

ANEXO VI: Datos de Elementos Minoritarios Subcuenca Trapiche.

Fuente de Datos	Fecha Muestra	C.E (uS/cm)	As (ug/l)	B (ug/l)	Fe (ug/l)	Al (ug/l)	Ba (ug/l)
SECRETARIA DE MINERIA	10/5/2016	281	19	630	47	5	10
MINERA DEL ALTIPLANO-FMC	10/5/2016	284	16	644	278	S/R	11
SECRETARIA DE MINERIA	18/6/2016	296	12	570	143	52	15
SECRETARIA DE MINERIA	8/11/2016	271	<6	730	67	3,3	14
MINERA DEL ALTIPLANO-FMC	8/11/2016	276	14	640	165	S/R	15