

ANEXO 2
INFORME MEDIO FÍSICO

MEDIO AMBIENTE FÍSICO

1 Clima

Como consecuencia de su situación latitudinal, las características climáticas del área de estudio están determinadas por la presencia de las altas presiones subtropicales, que producen la subsidencia de masas de aire provenientes de la zona de bajas presiones ecuatoriales.

Este fenómeno es un movimiento descendente del aire y aumenta la capacidad de absorción de agua de la atmósfera producto del calentamiento adiabático de la masa de aire, de tal forma que en la proximidad de los trópicos llega a la superficie un aire cálido y seco.

Esta característica climática que domina en la depresión del Salar de Atacama, sufre variaciones como consecuencia de la disminución de temperatura con la altura, y la presencia de precipitaciones estivales en sectores altiplánicos. En este sentido y en relación con la altitud, en el área de estudio se pueden reconocer tres tipos de clima, según la clasificación de Köepen: Clima Desértico Normal, BW, Clima Desértico Marginal de Altura, BWH, y Clima de Estepa de Altura, EFH.

El Clima Desértico Normal, abarca la depresión del Salar de Atacama y el piedemonte cordillerano hasta una altitud de 2.800 m.s.n.m. El Clima Desértico Marginal de Altura, abarca desde la parte superior del piedemonte, hasta una altitud aproximada de 4.000 m.s.n.m. El Clima de Estepa de Altura se desarrolla hasta los 5.000 m.s.n.m.

2 Geología¹

2.1 Formaciones geológicas

Las formaciones geológicas que se encuentran expuestas en el área de influencia del proyecto, están representadas en la Lámina "Carta Geológica", correspondientes a la Carta Geológica de Chile, Hoja Calama.

En primer término, y perteneciente al sistema terciario, se encuentran la Formación San Pedro y la Formación Riolítica, que corresponden a la serie de ignimbritas (Sifón, Pelón, Puripicar y Chaxas).

La Formación San Pedro, Cordillera de La Sal, es la unidad más antigua expuesta de en la región. Esta formación se depositó en una cuenca estructural aislada originada en el Terciario Inferior. El desarrollo progresivo de la cuenca fue facilitado por el paso de la carga sedimentaria hacia el

¹ El kilometraje citado se refiere al del trazado existente.

centro de la cuenca, produciéndose fuerzan compresoras horizontales que plegaron la Formación. Los materiales constituyentes de la formación son areniscas y lutitas fisibles con intercalaciones y domos de sal.

Sobre ésta topografía se depositó las ignimbritas, Formación Riolítica, durante el Terciario Medio. Probablemente el desarrollo de los Cerros de La Sal continuó hasta después de la depositación de las tobas e incluso puede continuar en la actualidad (Digman, 1964).

En cuanto al Cuaternario, las formaciones expuestas en el área de estudio son el denominado Conjunto de Volcanes III (Qv), del Pliestoceno-Holoceno, observable entre el Km.. 30 y 45 del trazado del camino, y la Ignimbrita El Tatio del Pleistoceno Superior, que se extiende sobre la superficie inclinada hacia el norte del río Incahuasi.

Durante el Cuaternario se generan también depósitos de origen lagunar, aluviales y morrénicos, los que se pueden encontrar en varios sectores del trazado del camino.

De acuerdo a la cronología de estos depósitos se pueden distinguir durante el Pleistoceno Medio o Inferior, depósitos de origen lacustre representados por la Formación Vilama (Qvi). En el Pleistoceno Superior se depositan rodados oscuros, gravas y arenas aluviales, que en parte cubren a los sedimentos anteriores, más finos, y las cabezas de los abanicos fluviales que forman se encajan en aquellos. Estos sedimentos se localizan al norte del poblado de San Pedro. Los rodados oscuros forman parte también de las terrazas fluviales que se encuentran en el valle del río San Pedro.

También se adscriben al Pleistoceno - Holoceno los depósitos lagunares que se desarrollan hacia el norte del Paso Las Vizcachas y donde actualmente drena al Arroyo El Tatio. Estos depósitos (QI) se dispusieron en una cuenca de origen estructural, limitada por una extensa falla en su lado poniente y el Conjunto de Volcanes III, en su lado oriente.

Finalmente en el Holoceno y actual se distingue la depositación de materiales fluviales compuestos por rodados oscuros, gravas y arenas. Se distribuyen formando abanicos aluviales a la salida de los ríos y quebradas del glacis ignimbrítico hacia la cuenca del Salar, como es el caso del río Vilama, y en el sector del río Incahuasi. Están constituidos por arcillas, limos, arenas de todos los calibres y rodados oscuros.

2.2 Descripción del área de influencia del camino

El trazado del camino se inicia en el borde norte de la depresión del Salar de Atacama, donde se distinguen materiales sedimentarios del Cuaternario, específicamente holocénicos, representados por gravas, arenas y ripios de origen fluvial y eólico, que cubren a sedimentos lagunares contenidos en la Formación Vilama (Qvi) de origen pleistocénico.

Estos estratos subyacen sobre rocas extrusivas del Terciario, conocidas como ignimbritas, cuya composición varía entre riolita y dacita. A medida que se asciende por el interfluvio que separa las Lomas Pintadas y Cordón Bayo, la ignimbrita (Sifon Mss) se manifiesta como estrato superficial en este último, mientras que las primeras representan a la Formación Vilama, situación que se observa entre el cruce del río Vilama y el Km. 15 aproximadamente (sector Mal Paso).

Cabe destacar que la Formación Vilama se extiende ampliamente hacia el norte del río Vilama, abarcando la zona del Llano Pelón, subyaciendo a la ignimbrita homónima, la que se encuentra expuesta al norte del Llano, entre la quebrada Abra Pampa y quebrada El Loro, aproximadamente. Esta zona es de una compleja geología y morfología, encontrándose una amplia estratigrafía de ignimbritas, cubiertas por sedimentos lagunares y glaciofluviovolcánicos, de edad pleistocénica y holocénica, lo que explica la presencia de una extensa zona arqueológica.

A partir del Km. 15 del trazado, se ingresa a una zona geológica donde predominan las ignimbritas del pleistoceno superior e inferior, conocidas como Ignimbrita Chaxas (PIQc), formando un relieve de serranías que se desarrolla ampliamente entre la quebrada de Turipite, al oeste del camino, y la quebrada Valle Chico hacia el sur oeste del trazado.

Sobre los 3.500 m.s.n.m., a la altura del Km 30, las ignimbritas son cubiertas por andesitas cuaternarias, que conforman las altas cumbres del macizo andino (Conjunto de Volcanes III, Qv). Las andesitas están cubiertas por depósitos no consolidados, aluviales, coluvio, piroclásticos y morrénicos.

Esta unidad se desarrolla hasta aproximadamente el Km. 45 del trazado, punto a partir del cual se ingresa a una secuencia de tobas de color generalmente rosado, denominada Ignimbrita Puripicar (PIp) que cubre una superficie cercana a los 600 m², encontrándose expuesta hasta la altura del Km. 70 del trazado, para luego subyacer a una toba soldada más joven conocida como Ignimbrita El Tatio adscrita al Pleistoceno-Holoceno.

A partir del sector Km 75, se encuentran expuestos flujos de lavas y volcanes del Plioceno-Pleistoceno (Conjunto Volcanes II, Plqv1), representados por estrato-volcanes y coladas de lava que mantienen sus rasgos morfológicos originales.

A la altura del Km 80 se ingresa a una zona geológica donde predominan depósitos del Cuaternario, encontrándose hacia el oriente del trazado las andesitas cuaternarias (Conjunto de Volcanes III, Qv) y hacia el poniente, depósitos lacustres (Ql) constituidos por tobas gravas, arenas gruesas con estratificación cruzada y delgadas capas de diatomitas y limos ostrácodos.

La unidad lagunar desaparece a la altura del Km 90, para dar lugar nuevamente a la Ignimbrita El Tatio, correspondiente a una toba de cristales medianamente soldada, de colores gris - blanquecino a rosado.

3 Hidrología

De acuerdo a su emplazamiento en las unidades geomorfológicas o de relieve, la hidrografía del área de ejecución del proyecto está definida por dos tipos cuencas: Endorreicas de Alta Puna y Endorreicas de Elevaciones Intermedias. El tramo del camino en estudio se desarrolla en el área de estas últimas.

3.1 Cuencas Endorreicas de Elevaciones Intermedias

A esta calificación obedece la cuenca del Salar de Atacama. Los principales afluentes del salar, por el borde norte son los ríos San Pedro y Vilama.

Tabla 3.1 Afluentes del Salar de Atacama y sus caudales medios anuales

RIOS Y QUEBRADAS	GASTOS MEDIOS (Lts/seg.)
San Pedro	999,8
Vilama	218,0
Socaire	168,0
Aguas Blancas	134,0
Tilomonte	59,0
Honar	50,0
Soncor	28,5
Peine	16,8
Camar	2,8

Fuente: Caracterización climática e hidrológica del Salar de Atacama.
Eduardo Ramírez, 1972. CORFO.

Por su cercanía al área de influencia del proyecto, es necesario describir algunas características de los ríos San Pedro y Vilama.

El río San Pedro nace de la confluencia de los ríos Grande y Salado a unos 10 km. de San Pedro de Atacama. Se desarrolla en un valle encajonado, aunque en algunos puntos, donde existe una

mayor sección transversal, se localizan pequeñas zonas de cultivo tales como, Río Grande, San Bartolo, Cuchabrachi, Tambillo y Catarpe.

A partir de Quitor el valle se ensancha y alcanza su máximo desarrollo al sur del pueblo de San Pedro, dividiéndose en dos ramales, uno que corre al costado occidental de los ayillos de Coyo y Tulor y el otro, por el oriente, entre Tulor y Beter.

En cuanto al río Vilama, sus aguas son de origen termal provenientes de los ríos Puritama y Frío a 20 km. al NE de San Pedro. Otro afluente del Vilama es el Puripica, que se une al primero en la localidad de Guatín, unos 13 km. aguas abajo de Puritama. El lecho del Vilama también se desarrolla en un valle encajonado, donde el único punto más desarrollado es el que ocupa el ayllu de Guatín.

3.2 Utilización de los recursos

Las aguas de los ríos descritos constituyen la principal y prácticamente única fuente de agua para la sobrevivencia de los ayillos de San Pedro de Atacama. En cuanto al río San Pedro, su caudal de 900 lt/seg. medido en la localidad de Cuchabrache es dividido, aguas abajo, en varios canales de regadío.

La primera bocatoma otorga aguas al canal que riega los ayillos de Cuchabrache y Catarpe, luego las aguas son devueltas al río para ser captadas por la bocatoma Guachar, que permite el riego del ayillo del mismo nombre y los ayillos de Bellavista, Suchor y Quitor Poniente. En Quitor comienza la canalización definitiva, para regar Quitor Oriente, Conde Duque, Larache, Solor, Checar, Sequitor, Solor, Coyo y Cucuter.

El caudal del río Vilama, es captado poco antes de la salida de su cañón, en un canal que recorre 5 kilómetros para regar los ayllus de Beter, Tulor y Poconche. Este canal es interceptado por el camino en estudio a pocos metros del Km. 0.000.

El agua potable con que es abastecido el pueblo de San Pedro proviene de la captura de tres manantiales ubicados en las laderas del cañón del río Vilama, unos 200 m aguas arriba de la toma del canal Vilama.

Las aguas de regadío se distribuyen por turnos en los diferentes ayllus, empleándose el sistema de riego por inundación ya que evita la concentración de sales en el suelo y permite mantener la humedad del terreno entre los turnos.

4. Hidromorfología

4.1 Las formas del relieve

En el área de San Pedro de Atacama se distinguen formas de control estructural y formas generadas por acciones dinámicas. Aquellas de control estructural se manifiestan en el borde norte y occidental de la cuenca del Salar de Atacama.

En el borde norte, donde se inicia el trazado del camino en estudio, estas formas consisten en un plano inclinado estructural que aparece formando un amplio glacis de acumulación sobre el que predomina una cubierta de rodados oscuros. Este glacis se desarrolla aguas arriba de la desembocadura de los ríos San Pedro y Vilama (Cuchabrache, Llano Pelón y Lomas Pintadas).

Las formas generadas por las acciones dinámicas se localizan en la depresión del Salar. Distinguiéndose en el área de estudio: el abanico del río San Pedro, el abanico del río Vilama y el abanico del Llano Vilama, compuesto por la coalescencia de varios abanicos de quebradas que descienden por el plano inclinado.

Este último también se distingue entre las formas originadas por acciones dinámicas y su desarrollo se observa aproximadamente entre las cotas 3.500 y 4.700. Sobre esta altiplanicie toman posición un gran número de estrato-volcanes jóvenes del Pleistoceno y Holoceno. A estos períodos también corresponden formas de depositación localizadas en las cuencas Alto Puneñas.

Respecto a los mecanismos morfogenéticos que han dirigido la evolución de esta altiplanicie, Börgel indica que el sector ubicado entre las cotas 2.500 y 3.000, constituye un claro pedimento en el cual el plano inclinado descansa directamente sobre la roca fundamental (ignimbrita) en franco estado de meteorización. En su tramo inferior, este plano está formado por una cubierta de arenas gruesas y finas en tránsito de transporte hacia la playa de sedimentación del Salar de Atacama.

4.2 Unidades Hidromorfológicas

De acuerdo a la carta síntesis elaborada para el área de influencia del tramo en estudio, es posible distinguir las siguientes unidades hidromorfológicas:

A. Plano inclinado - Ignimbrita Chaxas

En esta unidad el plano inclinado ignimbrítico que caracteriza la cordillera andina de la región está cubierto por un flujo volcánico posterior compuesto por tobas pobres en matriz y débilmente

soldadas, denominado ignimbrita Chaxas. Esta unidad se desarrolla entre el Km. 15 y Km 30 del trazado.

La baja cohesión de la roca volcánica de esta unidad indica que los procesos erosivos actúan con mayor eficacia, situación que se puede observar en la trama de drenaje que distingue a la unidad. Aquí los escurrimientos que disectan a la ignimbrita tienen una forma dendrítica incipiente y los cursos que ellos describen, adquieren un aspecto más divagante en relación al drenaje que se desarrolla al norte de la quebrada Jorquencal.

B. Plano Inclinado - Ignimbrita Puripicar

Esta unidad descrita como Ignimbrita Puripicar, se caracteriza por ser un flujo volcánico que dio como resultado una roca bien soldada y con abundante contenido de cristales. Se desarrolla entre el Km. 35 y 70 del trazado, donde en un principio subyace a la Formación Conjunto de Volcanes III, para luego abarcar una extensa zona entre la quebrada Jorquencal, el Río Grande y río Incahuasi, dando lugar a la Pampa Incahuasi.

La alta cohesión de esta ignimbrita se advierte en una ausencia de trama de drenaje, a excepción de las nacientes de quebradas que se desarrollan hacia el sur, y la disección en sentido E-W, realizada por el río Incahuasi, favorecida por la homogeneidad de la roca. Los procesos de meteorización mecánica han generado sobre ella una película discontinua de material detrítico compuesto por fragmentos angulosos de forma laminar y mantos arenosos.

En la zona poniente de esta unidad, se observan las secciones superiores de las quebradas Cueva Blanca, quebrada Turitipe y quebrada Jorquencal. Todas nacen por sobre los 4.000 m.s.n.m., y confluyen, ya sea al río San Pedro o al río Vilama.

C. Abanicos Aluviales

Esta unidad corresponde al nivel de base de todo el escurrimiento superficial y subterráneo de la cuenca del Salar de Atacama. Esta compuesta por depósitos aluviales provenientes de las quebradas del E y NE de la Carta y por aquellos de los ríos San Pedro y Vilama.

El lecho del río San Pedro, a diferencia del resto de los escurrimientos de la unidad presenta un lecho divagante que se extiende hasta el Salar de Atacama. Si bien sus aguas son captadas en Cuchabrache para su uso en regadío, existe un escurrimiento subterráneo que se verifica en esta unidad, representándose como cauce insumido.

Esta situación cambia radicalmente con motivo de las lluvias esporádicas, siendo los recursos recolectados por sus tributarios, aguas arriba, lo suficiente para colmar el lecho, produciéndose grandes desbordes que pueden alcanzar incluso los flancos de la Cordillera de La Sal.

El abanico del río San Pedro se observa en el inicio del trazado y en la zona poniente del mismo, hasta el Km. 5,0. Los depósitos consisten en arenas aluviales estratificadas, predominantemente de color gris. En cambio las arenas aluviales del Vilama son de color café claro, y no presentan estructura.

El río Vilama presenta un lecho anastomosado formado por numerosos canales de escurrimiento, visibles en imágenes aéreas. El abanico de este río se desarrolla al oriente del camino en estudio. Tiene una acumulación superficial de gravas y arenas.

El área de influencia del abanico del río Vilama se encuentra restringido en su parte distal o sur por los depósitos del río San Pedro y hacia él E, por los abanicos de las quebradas de Purifica y de Chaxas.

5 Geomorfología

5.1 Introducción

El análisis que se presenta a continuación es una línea base geomorfológica del sector donde se localiza la ruta B-245, entre San Pedro de Atacama y El Tatio, en la precordillera de la Región de Antofagasta.

Este análisis se elaboró en base a los antecedentes de los puntos anteriores, visita a terreno, análisis de cartas topográficas, de cartas geológicas y de fotografías aéreas, en función de los procesos morfodinámicos presentes en el área, identificando y caracterizando sus atributos y expresión espacial.

En términos generales, el sector analizado corresponde al área Precordillerana y Cordillera Andina de la Región de Antofagasta, definiéndose a las cuencas y subcuencas existentes como unidades de análisis.

Así, el sistema hídrico está establecido entre la divisoria de aguas de la Cordillera de Los Andes (frontera con Bolivia), con cotas que sobrepasan los 5.800 m.s.n.m; y el nivel de base del Salar de Atacama (2.300 m.s.n.m), con la excepción de la subcuenca Tatio, que drena por el río Salado hacia la cuenca del río Loa.

Las principales hoyas hidrográficas son las de los ríos San Pedro y Vilama, de carácter endorreico, que fluyen desde el norte hasta el Salar de Atacama, pasando por la localidad de San Pedro de Atacama, constituyéndose ambos en los principales aportes de aguas superficiales. El sistema San Pedro lo constituyen las subcuencas Salado, Río Grande,

Machuca, Putana, Incahuasi, Tocopuri y Jauna, y el sistema Vilama las subcuencas Puritama, Puripicar, Turipite y Jorquencal.

Geomorfológicamente en el área de estudio se reconocen las siguientes unidades:

- El Piedemonte Andino es un gran plano inclinado, con alturas entre 2.500 y 3.800 m.s.n.m en su parte oriental. Constituye una unidad notable con numerosas quebradas que la disectan, algunas poco encajonadas y otras muy encajonadas. Se constituye por una acumulación de rocas volcánicas (andesitas de piroxeno, ignimbritas y rocas detríticas) de varios centenares de metros, se encuentran en alternancia constituyendo acumulaciones mixtas.
- La Cordillera de Los Andes es una cordillera antigua del Mioceno, producto de un solevantamiento a comienzos de ese periodo. Los depósitos de sedimentos formaron conos de deyección que entraron en coalescencia y luego fueron “cepillados”, dejando una forma plana de glacis. Al alterarse el perfil de equilibrio los ríos no depositaron produciéndose este “cepillado”.
- Las terrazas y el modelado actual es Cuaternario, existiendo en el altiplano una morfología periglacial. En el pedimento se producen aluviones y lavas torrenciales que afectan las quebradas.

En cuanto a la morfodinámica, el área está asociada a la acción erosiva del agua superficial en los cauces, pero estacionalmente en aquellos períodos del año donde aumenta el caudal e incluso en aquellos lechos secos que se activan, tanto en los meses de invierno como en los de verano por las lluvias altiplánicas.

Este carácter estacional anual de los torrentes se suma a las mayores crecidas que se registran con períodos de retorno que van de seis a ocho años, según lo expresado por lugareños, con eventos aluvionales que han dejado huellas en el relieve y han afectado la alta cordillera, la precordillera y el nivel de base del Salar de Atacama.

En el año 2001, las grandes lluvias y crecidas cortaron los caminos del interior de San Pedro de Atacama (Enero y Febrero), borrando parte del actual camino en su cruce con el río Putana, construyéndose el badén - puente y sus gaviones después de este evento. Otro lugar que fue afectado por aluviones fue el sector de Puripica-Guatín, donde la gran crecida del río Puripica arrasó con campos de cultivo y vegas.

Por otra parte, la morfodinámica local también se ve influida por agentes subaéreos como viento, nieve y cambios de temperatura, provocando la degradación de las rocas y su posterior fragmentación como un fenómeno físico-mecánico, provocando la acción conjunta de procesos

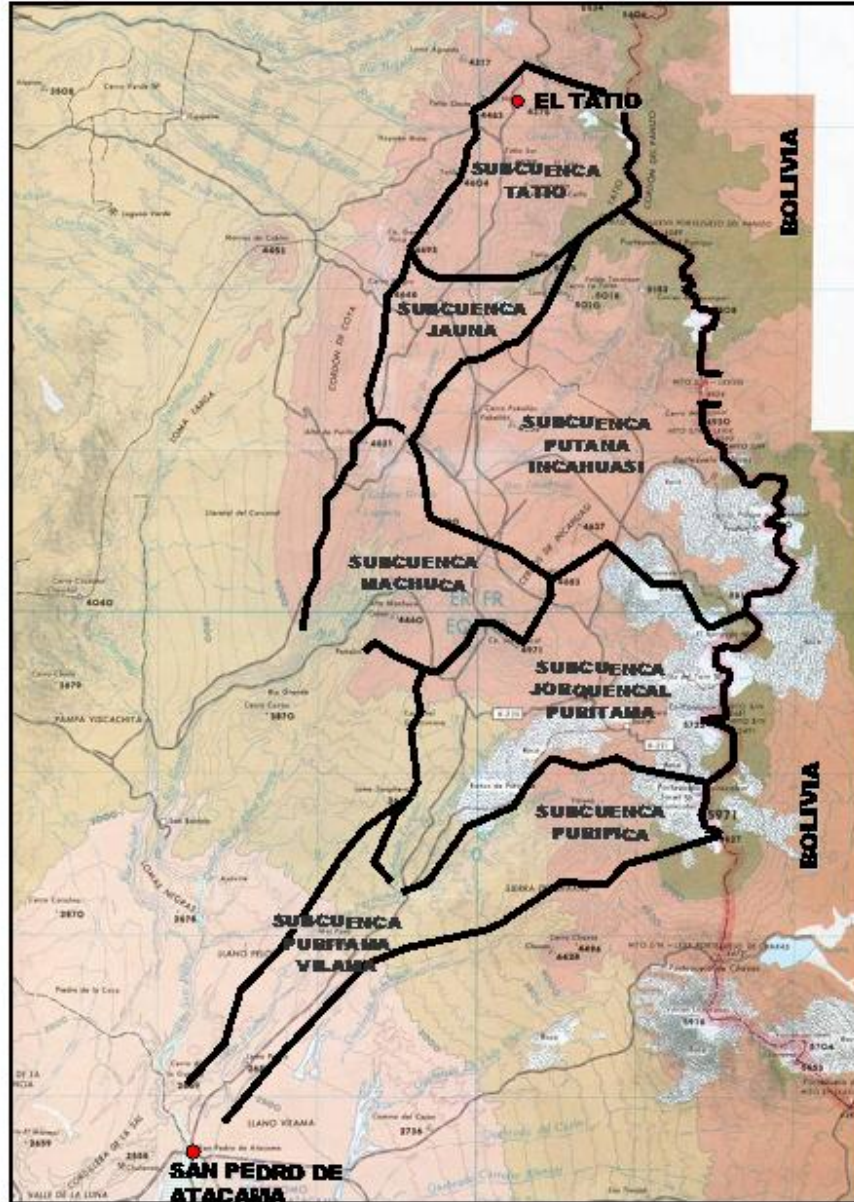
de gelifración, termoclastismo y exfoliación. Estas áreas constituyen zonas de alimentación de materiales, las que al superar rangos mínimos de pendiente y disponer de energía (escurrimientos torrenciales, viento o gravedad) se ponen en movimiento hasta formar taludes y conos. Procesos químicos de degradación de rocas sólo se observaron en el campo geotérmico de El Tatio y en sus inmediaciones, especialmente en la quebrada al sur-oriente de éste. En la parte oriental del área de estudio son importantes los modelados glaciales y volcánicos, retrabajados por procesos erosivos actuales.

En general, la geomorfología del área evoluciona lentamente en la actualidad, a excepción de eventos climáticos extremos que estacionalmente activan procesos de menor o mayor escala. Sin embargo, el actual relieve está fuertemente influido por procesos erosivos del Cuaternario, donde importantes fenómenos de transporte y depositación de materiales, excavación de profundas quebradas y un volcanismo aún entonces activo modeló fuertemente el paisaje, mostrando ahora grandes unidades y formas heredadas del pasado reciente.

La geología del área se compone principalmente de rocas volcánicas del Cenozoico Superior. Estas rocas se disponen mediante discordancia angular y de erosión, sobre secuencias mesozoicas y cenozoicas, que emergen como cerros islas de entre la cubierta de ignimbritas o afloran en el fondo de las quebradas correspondiendo principalmente a flujos de tobas. Las glaciaciones del Pleistoceno producen una fuerte erosión en algunos centros volcánicos y dan lugar a depósitos morrénicos y periglaciales que se distribuyen por sobre los 4.000 m.s.n.m. Durante el Cuaternario se terminó de configurar la actual red de drenaje, con la excavación de profundas quebradas, principalmente en el sector oriental del área.

Las unidades de análisis que se identificaron fueron las subcuencas que conforman la red hídrica del área de estudio, constituyendo las unidades geográficas que se muestran en la Figura 5.1.

Figura 5.1 Unidades geográficas:
Subcuencas hidrográficas en torno del área de estudio



5.2 Unidades Geográficas²

5.2.1 Subcuenca Tatio

La subcuenca Tatio se encuentra en el sector norte del área de estudio. Tiene un largo de 11 km. y un ancho de 12 km., su régimen es exorreico y drena hacia el poniente por el Río Salado, el cual confluye con el Río Loa en el sector de Chiu Chiu. Su nacimiento se encuentra a 5.547 m.s.n.m y su desagüe a 4.228 m.s.n.m, en el sector de Hoyada Mala, al poniente del campo geotérmico.

Esta subcuenca está ubicada en una depresión volcanotectónica orientada norte-sur, limitada al oeste por la serranía de Tucle, un horst que impide el paso de los fluidos termales hacia el poniente. Hacia el oriente su límite es la cadena de volcanes plio-cuaternarios. Esta depresión ha acumulado un gran espesor de materiales volcánicos, siendo su base de andesitas de piroxeno, dacitas de hornblenda y biotita. Por otra parte, asociada a este volcanismo, se desarrolla una actividad hidrotermal, que da origen a diversos depósitos de azufre, así como al sistema geotérmico de El Tatio.

En la subcuenca Tatio se distinguen dos grandes unidades: Tatio Sur y Tatio Norte.

- Tatio Sur: Sector dominado por el graben por donde fluyen las aguas del arroyo del Tatio (de sur a norte). La parte superior de éste está cubierto por depósitos lacustres de gravas y arenas, con intercalaciones de diatomitas y limos, entre el paso Vizcachas y al norte del campamento Corfo. Los drenes bajan desde la cordillera en dirección E-W, pero son interceptados por el arroyo de Tatio y desaguan al norte. En el sector del campamento Corfo confluyen varias quebradas, cruzando un área de depósitos morrénicos, derivados de la actividad glacial del Holoceno.
- Tatio Norte: En este sector, el sistema morfogenético está controlado por el nivel de base local que forma la explanada del campo geotérmico y la confluencia con el arroyo de Tatio, antes de formar el río Salado que atraviesa las serranías de Tucle hacia el poniente. Los cerros de Tucle forman un cordón alineado en sentido N-S que cierra la subcuenca Tatio en toda su extensión occidental. Este borde occidental está constituido por ignimbritas de la unidad Tatio, que son tobas moderadamente soldadas y jóvenes (Pleistoceno Superior), con cristales y pómez. Las tres quebradas que drenan desde el oriente y llegan a los geisers no tienen nombre, por lo que fueron denominadas quebradas Tatio Norte, Tatio Central y Tatio Sur.

^{2 2} El kilometraje citado se refiere al del trazado existente.

La quebrada Tatio Sur es la más extensa, naciendo sus afluentes seis kilómetros al oriente, en la frontera con Bolivia. Esta mayor penetración hacia el este y un área aportante de mayor tamaño, permiten que esta quebrada presente un escurrimiento superficial regular, y evidencias de mayor actividad erosiva en el punto de salida al sector plano del campo geotérmico. Así, esta última quebrada corta un gran depósito morrénico, de cinco kilómetros de largo, para llegar a los géisers (Figura 5.2).

Figura 5.2 Fotografía aérea del sector de El Tatio con unidades geológicas



La quebrada Tatio Central corta este depósito morrénico por su lado norte, tiene menor extensión, pero mayor pendiente, siendo su nacimiento la más alta de toda la subcuenca.

El relieve está principalmente representado por los cordones de cerros de Tucle y Copacoya por el occidente y Cerros del Tatio al este, que encierran la depresión volcanotectónica orientada en sentido NE-SW que contiene el campo geotérmico. Sobre la parte sur-oriental de la explanada, antecediendo al cordón de cerros El Tatio, se levanta un cordón de lomajes suaves conformados por materiales de origen volcánico (andesitas) parcialmente cubiertos por depósitos morrénicos que se hallan expuestos a lo largo de la quebrada Tatio Sur. Hacia la parte occidental y antepuesto al cerro Copacoya, aflora un bloque en forma de plano inclinado que sube de sur a norte (hacia el portezuelo que cruza la ruta B-245 hacia Linzor), que presenta un farellón expuesto hacia la explanada, en el borde norponiente del campo geotérmico. Este frente está formado por rocas meteorizadas y fragmentadas en bloques de diversos tamaños, que corresponden a ignimbritas de la unidad geológica Tatio (Cuaternario Pleistoceno).

Toda esta subcuenca es atravesada por la ruta B-245, el actual camino de sur a norte, continuando hacia Linzor por el portezuelo que la cierra al norte. También en esta subcuenca está localizado el trazado proyectado, al oriente del campo geotérmico.

5.2.2 Subcuenca Jauna

La subcuenca Jauna se encuentra al sur del Tatio, teniendo su nacimiento en el cordón del volcán Tatio (5.296 m.s.n.m.), bajando hasta los 4.196 m.s.n.m. en su confluencia con el río Putana. El río Jauna nace en la junta de dos quebradas en el lado sur del paso Vizcachas y drena de norte a sur sin escurrimiento superficial por unos diez kilómetros, a través de una llanura cuya base son ignimbritas de la formación Tatio (tobas dacíticas y andesíticas, moderadamente soldadas de color gris a rosado) del Cuaternario Pleistoceno. Los cerros de Purificar al poniente y el Paso Vizcachas y cordón Tatio al norte son rocas volcánicas del Terciario Plioceno, correspondiendo a andesitas de hornblenda y biotita y escorias, cenizas y tobas asociadas (PIQv2).

El cauce del río Jauna cruza la ruta B-245 en el Km. 78,25.

5.2.3 Subcuenca Putana

La subcuenca del río Putana es la más importante de la parte norte del área de estudio, aportando la mayor cantidad de agua desde sus nacientes en la cordillera de Los Andes al sistema Río Grande–San Pedro que drena al Salar de Atacama. Sus puntos más altos son los cerros de Tocopuri (5.808 m) y el volcán Putana más al sur (5.809 m). Inclusive, entre estos dos puntos está la quebrada Agua Brava, que nace en Bolivia y escurre hacia Chile, de acuerdo

a un patrón de drenaje radial de los cerros de Tocorpuri. Esta quebrada es un paso natural hacia Bolivia, atravesando el límite internacional en el hito 78, a 4.642 m.s.n.m.

Los principales afluentes del río Putana son (de norte a sur) la quebrada La Torta, Río Blanco o Tocorpuri, quebrada San Lucrecio y río Incahuasi. Este último no nace en la alta cordillera, sino que en los cerros de Incahuasi, un cordón de cerros islas que se cruzan en el Km. 56 del camino actual, constituyendo la divisoria de aguas entre los sistemas Río Grande-San Pedro y Puritama-Vilama.

Todo el sector nororiente y sur-oriente de la subcuenca Putana esta constituido por formaciones de volcanes poco erosionados, desarrollados en parte con posterioridad a la última glaciación (Pleistoceno Superior-Holoceno). Estos volcanes y coladas de lava sobreyacen, en parte, a las ignimbritas de la formación Tatio, las que se extienden al oriente y son drenadas por la quebrada Agua Brava que nace en Bolivia. La unidad de volcanes está cubierta por depósitos no consolidados, aluviales, coluvio, piroclásticos y morrénicos, y están compuestos principalmente por andesitas de piroxeno, roca porfíricas de colores grises, pardo oscura y negra. Estas lavas constituyen extensas coladas, comúnmente en bloques, y dan lugar a estrato-volcanes de fuerte pendiente (volcanes Cerro Colorado y Putana).

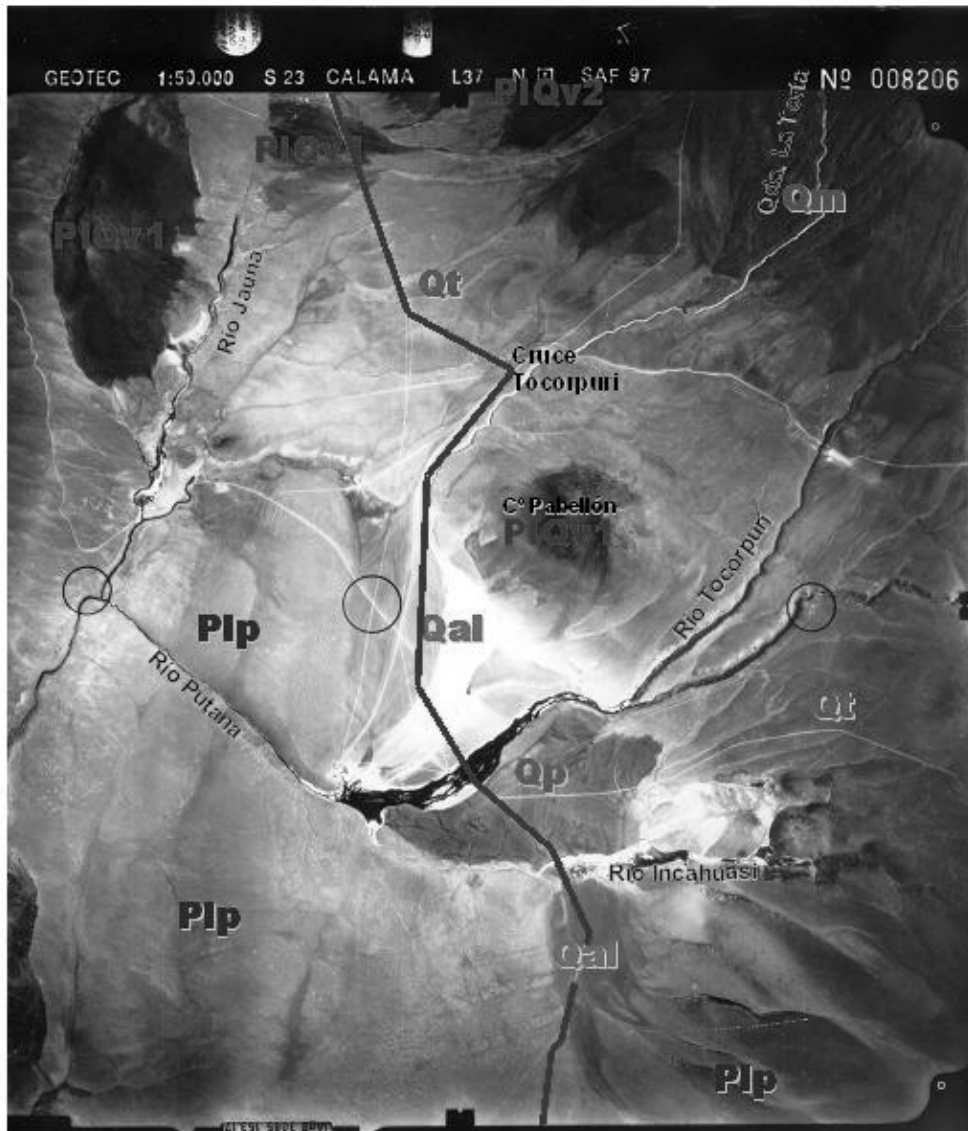
En particular, el sector nor-oriente esta dominado por el cerro La Torta de Tocorpuri, un domo de lava riolítica de data reciente (fines del Pleistoceno e inicios del Holoceno), uno de los pocos ejemplos de tal constitución entre la mayoría andesítica.

El sector medio de esta subcuenca drena de oriente a poniente sobre una superficie de pendientes débiles a moderadas, correspondiendo a las mismas ignimbritas de la Formación Tatio. El cambio de pendiente en este sector permite que sea una zona de depositación de materiales, pues entre los interfluvios de la quebrada La Torta, el río Tocorpuri y el río Incahuasi hay extensos depósitos aluviales, principalmente de arenas, donde se han desarrollado bofedales que concentran gran variedad de fauna.

Es en este sector donde cruza el actual camino (Km. 66) y más al poniente, antes que el río Putana entre en un cañón, aguas abajo de estos depósitos aluviales, correspondiendo a la zona de contacto entre las ignimbritas de la Formación Tatio y de la Formación Puripicar (Plp), tobas dacíticas bien soldadas, de color rosado, sector donde el río Putana se encajona y las atraviesa, dejando al descubierto estos materiales en la ladera sur.

Con esto, el río Putana cruza un sector aluvial que sobreyace a rocas volcánicas recientes poco soldadas, lo que permite un mayor desarrollo de la red de drenaje al oriente del camino actual; y se encajona en un sector de rocas volcánicas más antiguas, bien soldadas, hacia el poniente (Figura 5.3).

Figura 5.3 Fotografía aérea del sector de los ríos Jauna, Putana, Tocopuri e Incahuasi, con unidades geológicas



5.2.4 Subcuenca Machuca

La subcuenca Machuca es la más pequeña del área de estudio. Su eje, el río Peñaliri o Machuca, tiene 16 Km. de extensión, naciendo en los cerros de Incahuasi (4.765 m) al oriente y en el cerro Jorquencal al sur (4.971 m). Su confluencia con el río Jauna está en la localidad de Peñaliri, a 3.500 m.s.n.m y ambos forman el Río Grande. El río Peñaliri o Machuca en su parte superior cruza por un sector plano sin escurrimiento superficial, cruzando el actual camino casi imperceptiblemente en el Km. 59.

Hacia el poniente, una vez que cruza la pampa Incahuasi, aumente notablemente su pendiente, no así su ancho y a media altura antes de llegar al pueblo de Machuca surge agua superficial que alimenta las vegas de Machuca. Este pequeño valle es usado por algunos operadores turísticos para bajar al pueblo de Machuca, luego a Guatin y a San Pedro de Atacama, evitándose el paso del actual camino por Saciél, la cuesta El Diablo y Puritama.

La geología del área nos indica la presencia de rocas volcánicas de ignimbritas de la formación Puripicar en su lado norte y un depósito lacustre reciente (Holoceno) entre dos conjuntos volcánicos antiguos (Mioceno), principalmente andesitas de piroxeno y dacitas de hornblenda y biotitas correspondientes a los antiguos volcanes Machuca, Falda Grande (domo de lava) y Jorquencial. En el gran depósito lacustre existe una laguna con flamencos en su parte media y las vegas y el pueblo de Machuca en su parte baja (lado norte).

Con la subcuenca Machuca e Incahuasi se cierra por el sur el sistema hídrico Río Grande-San Pedro.

5.2.5 Subcuenca Jorquencial- Turipite- Puritama

La subcuenca que ocupan las quebradas Jorquencial y Turipite, hasta la confluencia de esta última con el río Puritama; tiene características particulares que la hacen diferente en su morfogénesis y dinámica con las descritas anteriormente.

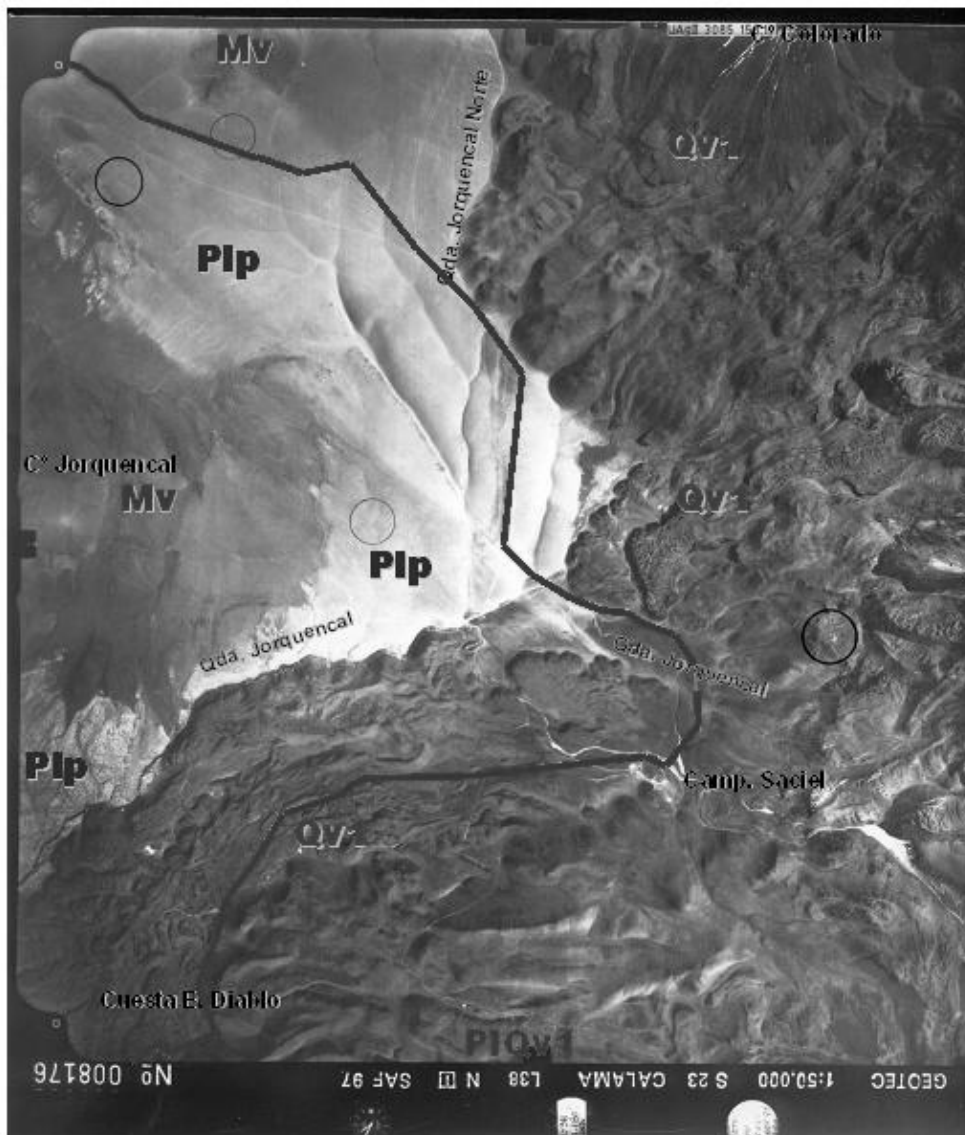
La quebrada Jorquencial nace en los faldeos del volcán Curiquinca (5.722 m) y se extiende por unos 24 km. En su curso superior drena en dirección E-W por diez kilómetros, siguiendo luego una dirección NE-SW hasta juntarse con el río Puritama. Es la única quebrada de este sector que tienen su nacimiento en la frontera con Bolivia.

La quebrada Turipite nace en los faldeos sur de los antiguos volcanes Falda Grande y Jorquencial, extendiéndose de norte a sur por nueve kilómetros hasta el río Puritama, a 3.240 m.s.n.m. A su vez, el río Puritama nace también nueve kilómetros al interior, pero drena con dirección NE-SW, pasando a mitad de su curso por una zona de alteración hidrotermal que da origen a las termas de Puritama.

La parte norte de la subcuenca es drenada por un afluente de la quebrada Jorquencial, el que se extiende por diez kilómetros en dirección N-S, naciendo en el cordón de cerros de Incahuasi y el cerro Colorado. Esta quebrada (Jorquencial Norte) tiene un desarrollo muy reciente, con escasas evidencias de procesos erosivos. Por otra parte, los drenes que nacen al sur del cerro Colorado hasta el volcán Apagado no tienen mayor desarrollo y se infiltran en el sustrato. Ambas situaciones se explican probablemente porque las coladas de lava del último evento

volcánico cubrieron todo este sector, remodelando el paisaje, y las aguas debieron buscar otro camino, terminándose de configurar la actual red de drenaje durante el Cuaternario (Figura 5.4).

Figura 5.4 Fotografía aérea del sector de Jorquencal Alto y Saciel, con unidades geológicas

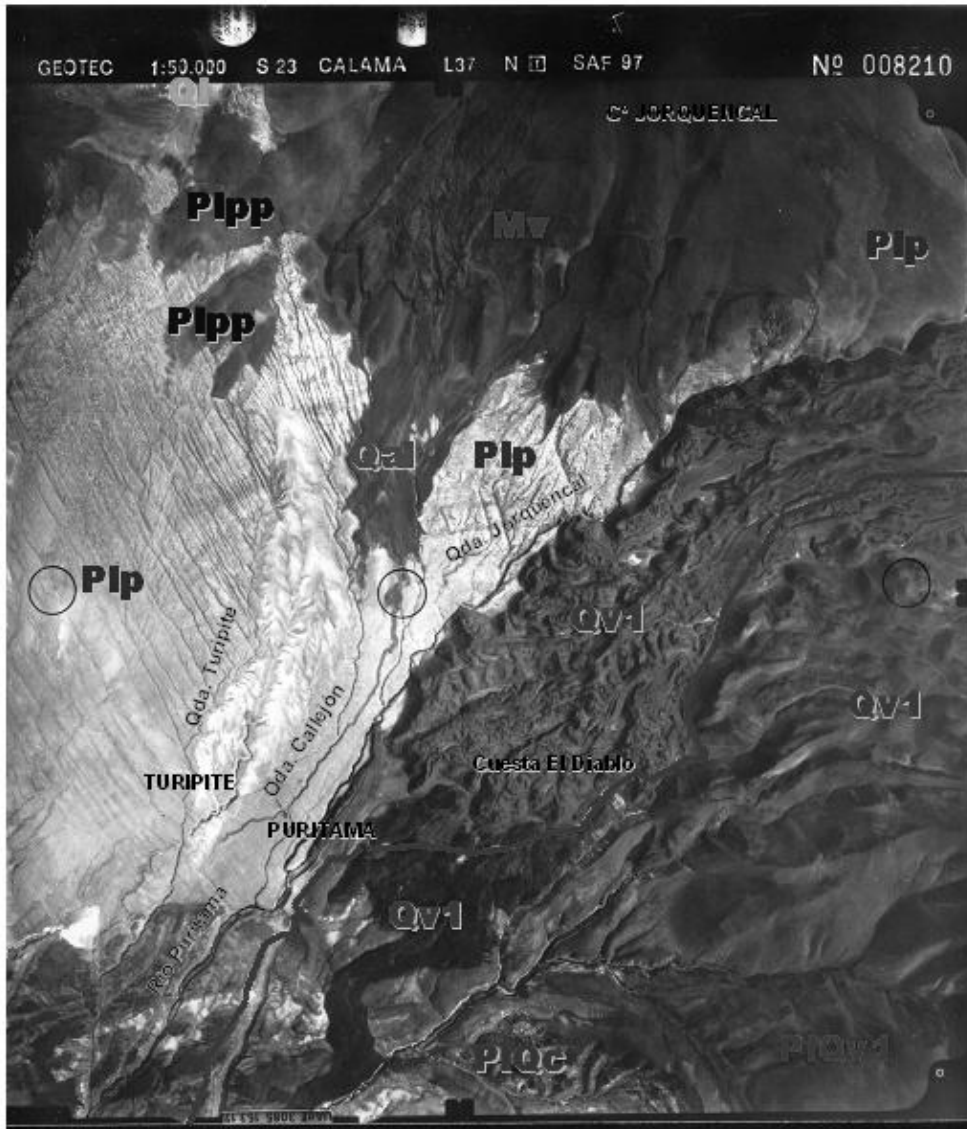


Esta interpretación probablemente explica el actual modelado del paisaje en este sector precordillerano, intermedio entre la alta cordillera y el nivel de base del Salar de Atacama, pues en terreno se observan profundas quebradas, con evidencias de importantes procesos erosivos, pero que no corresponden a la actual morfodinámica, sino que a paleoescurremientos.

Este fenómeno también sucede en la quebrada Turipite y en el río Puritama: ambos son profundos cañones de vertientes entre 30 y 40 m de alto. En el caso de la quebrada Turipite, el antiguo cañón está ocupado por los cultivos de la comunidad de Machuca y sus aparentes nacientes están aisladas del actual trazado de la quebrada un poco más al norte.

Este vestigio de paleoescurreimiento también se observó en la quebrada Callejón, un poco más al sur, donde se ve la zona de contacto entre las ignimbritas y los depósitos aluviales recientes. Toda esta zona estuvo drenada por una “antigua” quebrada Jorquencal, pero que las sucesivas actividades volcánicas de flujos de cenizas que originaron las ignimbritas y de coladas de lava andesíticas más recientes modificaron (Figura 5.5).

Figura 5.5 Fotografía aérea del sector de Puritama y Turipite, con unidades Geológicas



Por otra parte, el gran cañón del Puritama todavía concentra el drenaje del área nororiente, pero es posible advertir que su antiguo curso superior también fue cubierto por coladas de lava (andesitas de piroxeno y dacitas de hornblenda), drenando subsuperficialmente toda el área, aflorando como surgencias en el sector de las termas.

Desde las termas de Puritama hasta el Km. 45, pasando por la cuesta El Diablo y Saciel, el actual camino atraviesa la formación volcánica Conjunto de Volcanes III, que son coladas de

lavas de andesitas de piroxeno y dacitas de hornblenda de edad holocénica (Qv1). En cambio, las quebradas atraviesan formaciones de ignimbritas (tobas dacíticas), de la formación Puripicar en el fondo (Plp) que subyacen a la formación Chaxas, más recientes y menos soldadas (PIQc), lo que indica un sustrato más gris y blando sobre uno más rosado y duro, tal como se aprecia en las abruptas vertientes de las quebradas Turipite, Callejón y Jorquencal.

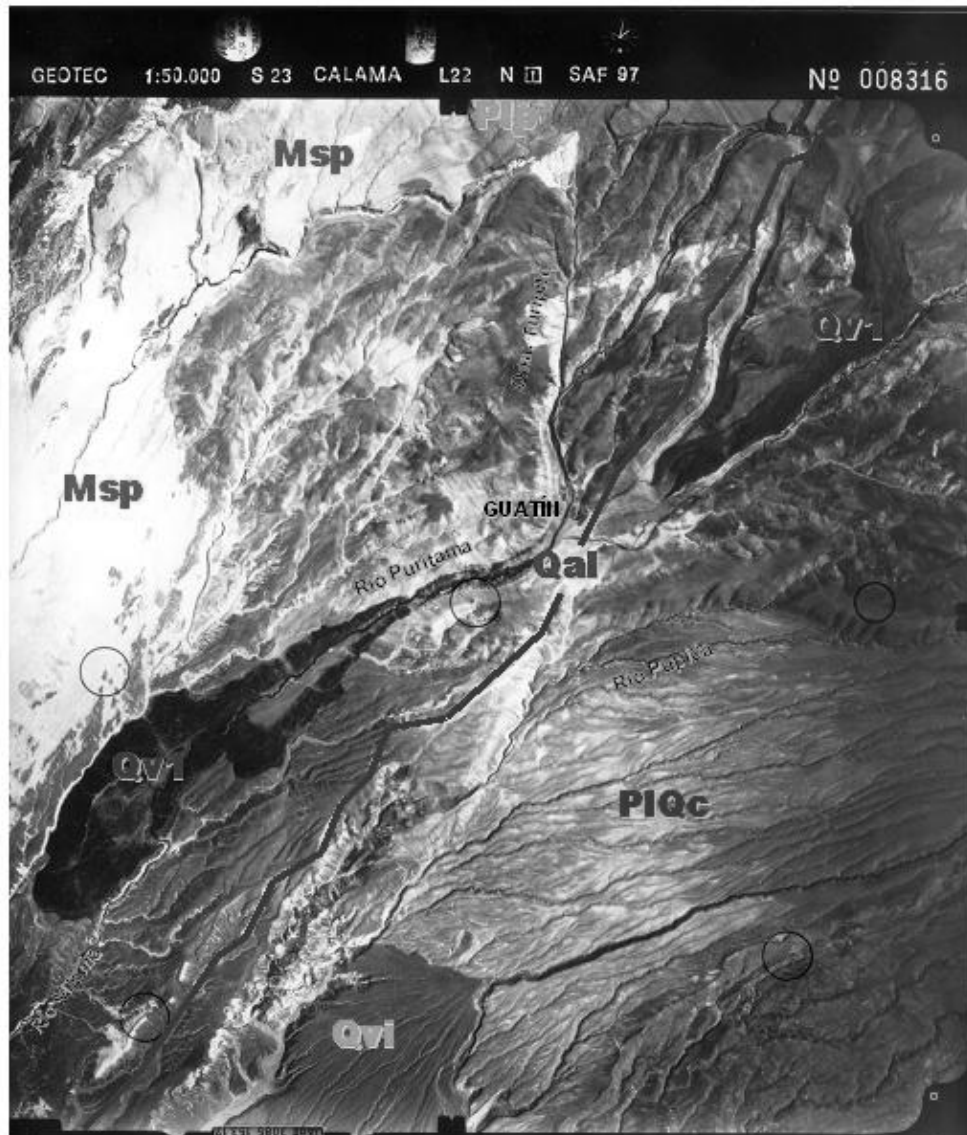
5.2.6 Subcuenca Puripica – Puritama – Vilama

Esta subcuenca recibe todo el aporte de la subcuenca anteriormente descrita. El río Puripica realiza su aporte de aguas superficiales al río Puritama en el sector de Guatín, naciendo éste en los faldeos del volcán Sairecabur (5.971 m).

Según lo observado en terreno, en el Km. 27 del actual camino, en unas curvas cerradas antes de llegar a las termas, existe una profunda quebrada de casi 50 m de profundidad que tiene su nacimiento unos pocos kilómetros al NE, pero al analizar las fotografías aéreas se pueden apreciar que probablemente esta quebrada era el antiguo río Puripicar que venía desde el oriente, pero su curso fue modificado por la extensa colada de lava que bajó desde la cordillera, constituyendo también este cañón una forma heredada del pasado (Figura 5.6).

El río Puritama después de su confluencia con el río Puripica en el sector de Guatín (3.200 m.s.n.m.), se interna en un cañón menos profundo que el de su curso superior, cruzando desde un sustrato aluvial que sobreyace a ignimbritas, a una unidad volcánica reciente, que es la misma colada de lava que se desprende desde su curso superior. Luego de siete kilómetros llega a una extensa área de materiales aluviales de gravas, arcillolitas y areniscas de edad pleistocénica que constituyen la formación Vilama. En este sector el río Puritama pasa a llamarse Vilama, cruza en el kilómetro 5 al actual camino y su lecho se orienta hacia el sur, pasando por costado oriente de la localidad de San Pedro de Atacama, llegando finalmente a su nivel de base en el salar.

Figura 5.6 Fotografía aérea del sector de Guatín, con unidades geológicas

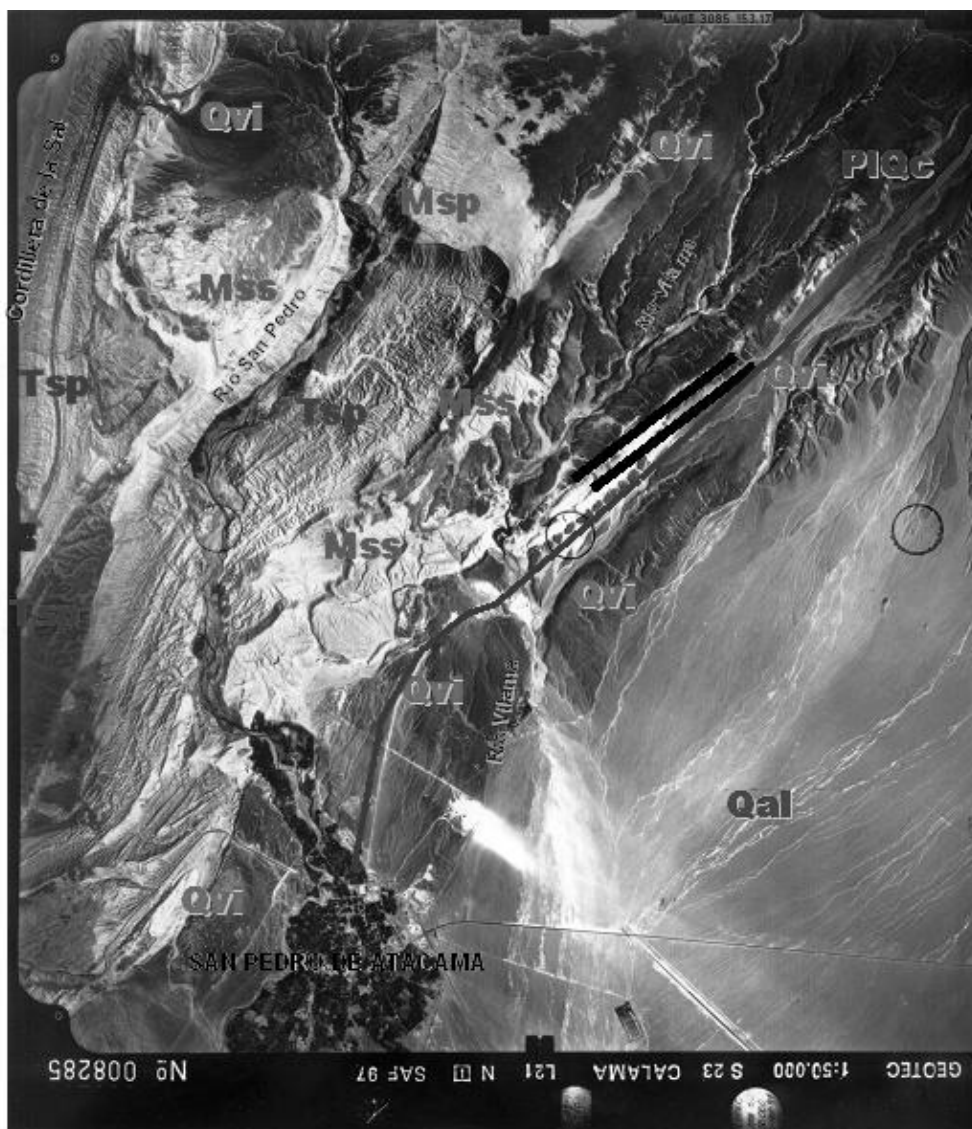


Saliendo desde San Pedro de Atacama el actual camino asciende suavemente por extensos depósitos aluviales del Cuaternario, para en los kilómetros 11-12 internarse en un sustrato de origen volcánico del Pleistoceno y Plioceno: las tobas dacíticas de color gris claro, débilmente soldadas, que constituyen las ignimbritas de la formación Chaxas.

En el Km. 21, luego de una zona de curvas en que el camino está trazado sobre una suave línea de cumbres, éste baja a los sedimentos aluviales recientes del cruce Guatín, para volver a subir por un sustrato de ignimbritas Chaxas y después de las termas de Puritama, en el inicio de la cuesta El Diablo, recorrer una zona volcánica de coladas de lava hasta el Km. 46. Este

sector entre San Pedro de Atacama y Puritama corresponde morfológicamente al gran plano inclinado que asciende hasta los 4.000 m.s.n.m, una meseta precordillerana entre la cadena volcánica de Los Andes y la depresión del salar de Atacama, con pendientes débiles a moderadas y cortada por numerosas quebradas, muchas de ellas muy profundas y que en varios casos quedaron como huellas de las sucesivas e intensas fases erosivas y de depositación que se alternaban con eventos volcánicos de coladas de lavas y flujos de cenizas a lo largo del tiempo, entre el Oligoceno y el Holoceno, hasta la actualidad (Figura 5.7).

Figura 5.7 Fotografía aérea del sector de San Pedro de Atacama, con unidades geológicas



6 Áreas de riesgo natural

6.1 Actividad volcánica

Toda el área donde se localiza el actual camino es de origen volcánico, con grupos de volcanes en el lado oriente y depósitos ignimbríticos subyaciendo a éstos al poniente, al norte y al sur. Los volcanes, según la carta geológica, se agrupan en tres grandes grupos, de acuerdo a su edad: los miocénicos, los pliocénicos y los pleisto-holocénicos, todos constituidos principalmente por andesitas, dacitas y biotitas. Asociados a este último grupo, los más recientes, se encuentran algunos depósitos piroclásticos, en la confluencia de los ríos Putana e Incahuasi, encontrándose gravas y arenas finas, intercaladas con cenizas, lapilli, pómez, escorias y bombas volcánicas, los que se depositaron en forma subaérea como lluvia de piroclásticos (depósitos no consolidados).

El resto de la zona estudiada está constituido por antiguos flujos ignimbríticos de tobas, asociados a estos centros volcánicos y que aparecen en la actualidad como grandes depósitos consolidados retrabajados por corrientes de agua en el pasado reciente, atravesados en algunos sectores por extensas coladas de lavas andesíticas, como por ejemplo el sector de Puritama.

Algunos conjuntos de volcanes se ubican cercanos al trazado del camino, como por ejemplo el volcán Tatio, cuyo cráter está a sólo 4 Km. del paso Vizcachas. Otros volcanes están a 5 km (Colorado), 8 Km. (Sairecabur) y a 15 Km. (Putana), este último con fumarolas visibles desde el camino, pero aún cuando es evidente el origen volcánico del paisaje, en la actualidad no existen registros recientes de actividad volcánica; sólo existe actividad hidrotermal permanente en el sector El Tatio y depositación de azufre en el volcán Putana, pero sin emisión de materiales sólidos. Con esto, el riesgo natural asociado a volcanismo es muy bajo, sólo latente en una escala de tiempo muchísimo mayor e igualmente aplicable a todos los centros volcánicos activos del país.

6.2 Procesos de inundación y torrencialidad

Existen zonas de alimentación de materiales que pueden activarse al disponer de la energía suficiente y sobrepasar unos umbrales mínimos de pendiente, pero sólo en eventos de grandes lluvias. En períodos normales de precipitación, como los de enero-febrero y junio-julio, la escorrentía por lluvia provoca una arroyada, que, de acuerdo a la cantidad de agua precipitada, sólo afecta la superficie de la plataforma y las bermas del camino, tal como se puede apreciar en la actualidad en los kilómetros 7, 14, 18 36 y 39; pero sin interrumpir el tránsito. Por otra

parte, sobre los 4.000 m.s.n.m la nieve caída también puede afectar la estabilidad de la plataforma, pero sólo localmente y hasta que maquinaria especializada la despeje.

Las grandes lluvias, que pueden tener un período de retorno de varios años, son las potencialmente riesgosas, pudiendo tener la energía necesaria para generar fenómenos de remoción en masa, como coladas de barro o flujos de detritos. Sin embargo, estos movimientos en masa necesitan rangos altos de pendiente para producirse, lo que no se da en la mayoría de los puntos sensibles identificados, que son los siguientes:

- Cruce río Vilama (Km 5,0)
- Cruce río Puripica (Km 22)
- Cruce quebrada sector Puritama (Km 27)
- Fondo quebrada Jorquencal (Km 45)
- Cruce río Incahuasi (Km 49,1)
- Cruce río Putana (Km 51)
- Cruce quebrada Tatio Sur (Km 74)

Por otra parte, estos siete puntos igualmente son los más vulnerables de todo el trazado ante la eventualidad de crecidas, con la posibilidad cierta que el camino se corte y desaparezca parte de la plataforma, interrumpiéndose el tránsito de vehículos. En algunos de estos puntos se aprecian evidencias de deslizamiento de materiales, así como la existencia de conos o abanicos que indican zonas de acumulación de sedimentos debido a la crecida de los cauces, pero no necesariamente por el tipo de fenómenos comúnmente llamados aluviones, pues el camino generalmente cruza alejado de las zonas de pendiente como salidas de cañones y gargantas que concentran mayor energía; todos estos puntos son sensibles por crecidas y activación de los cauces, las que igualmente dejan su carga sedimentaria como huella, pero no al nivel de los movimientos en masa como coladas de barro o lavas torrenciales.

Así, al recorrer el trazado del camino son notorias las huellas de este tipo de fenómenos, pero, al mismo tiempo, no se aprecian evidencias recientes de fenómenos o efectos mayores en él, ya que todos éstos han sido solucionados con maquinaria especializada y en las mantenciones normales que se realizan, lo que da una idea de la cuantía de estos fenómenos a la fecha.

6.3 Remoción en masa

En el área de influencia del proyecto no se observaron fenómenos de remoción en masa, especialmente en algunos puntos más sensibles como algunos sectores de la cuesta El Diablo, el Km 20 y el Km 45 del trazado actual, en los cuales hay cortes muy altos o pendientes muy elevadas al costado de la berma.

Como ya se indicó, los periodos de retorno de las grandes lluvias, potencialmente peligrosas, pueden activar este tipo de procesos, sin embargo, en rasgos generales, los rangos de pendiente asociados al área no son muy altos para desencadenarlos, por lo que no debe considerarse un riesgo potencial alto.

Por otra parte, según la carta geológica, en el sector de Vilama, entre los kilómetros 5 y 15 existen dos fallas normales que indican bloques hundidos, y se ubican en forma paralela al camino, las que están cubiertas por depósitos de gravas y areniscas de la Formación Vilama y tobos de la Formación Puripicar en su parte oriente. En los kilómetros 18 y 19 existe un sector de lineamientos o fallas inferidas y en el sector de El Tatio existe una pequeña falla inversa, indicándose la inclinación del plano de falla hacia el noreste (Km 90-91). Estos componentes estructurales del basamento muestran el origen tectónico o las tensiones que se produjeron durante el enfriamiento de los flujos de ignimbritas en el plioceno y pleistoceno, no constituyendo evidencia de actividad tectónica reciente en el área.

6.4 Conclusión

El actual camino entre San Pedro de Atacama y El Tatio presenta un trazado, en general, estable. Desde el punto de vista de los riesgos naturales asociados, no existen evidencias notorias de eventos de movimientos en masa gravitacionales (sector Cuesta El Diablo, por ejemplo) ni de hundimientos, como podría ser el sector de El Tatio, además de la ausencia de rastros de actividad volcánica en el pasado reciente.

En general, todo el camino está afecto a la variabilidad de las condiciones climáticas, cuyos agentes, especialmente el agua de lluvia, que eventualmente pueden desencadenar fenómenos importantes de torrencialidad y, en consecuencia, de aluviones. Con esto, sólo la variable climática tiene el carácter de riesgo natural, especialmente si se considera que todo el trazado del camino está en altura, con una buena parte de él sobre los 4.000 m.s.n.m., siendo las características meteorológicas normalmente muy variables e inestables en los meses de invierno y de verano de cada año.

7 Calidad del Agua

La calidad fisicoquímica de las aguas superficiales del río Vilama y sus tributarios Puritama y Frío han sido estudiadas por Del Río (1972) y también se encuentran dos registros de la calidad fisicoquímica de las aguas de las termas de Puritama en Hauser (1997). Los cuales se consignan en el siguiente cuadro.

Tabla 7.1 Calidad físico - química de las aguas superficiales de la subhoya del Río Vilama y sus afluentes.

Localidad	Termas de Puritama	Termas de Puritama	Río Puritama	Canal Vilama	Río Frío
PH lab	7,8	7,3	7.3	7,4	7,6
CO2	5,5	-	-	-	-
Dureza total	451	458	467	489,9	470,1
Dureza Carbonatada	179	170	-	-	-
Dureza no carbonatada	272	288	269,4	261,4	275,2
SiO2	105	98	1.067,70	990,8	1.030,40
Residuo Total	1750	1770	-	-	-
TSD	1667	1680	1900	1958	1874
Ca	90	93	117,1	139,6	135,5
Cu	<0,05	<0,05	-	-	-
Fe	<0,1	<0,1	-	-	-
Mg	55	55	42,5	34,4	32,1
Mn	<0,05	<0,05	-	-	-
B	1,1	11	10,9	11,1	10,1
F	0,33	0,44	-	-	-
K	35	32	33	37	34
Na	370	368	338	360,9	348,1
As	1,1	1,5	0,25	0,59	0,14
Li	2,4	2,1	3,9	3,8	3,7
CO3	0	0	0	0	0
HCO3	218	207	241,1	278,8	237,9
Cl	518	530	540,1	568,1	519
NO3	<0,2	2,6	-	-	-
SO4	383	384	351,4	352,2	381,9
Referencia	Hauser	Hauser	Del Río et al	Del Río et al	Del Río et al
Fecha	17.9.92	12.9.94	6.7.70	6.7.70	6.7.70

Todos los valores están expresados en mg/l, excepto pH.

Algunas concentraciones de As, Cl y SO₄, muestran que estos valores exceden la norma chilena para agua potable. (Ej Cl=518 mg/l)

Las concentraciones de Boro indican que las aguas son inútiles, incluso para cultivos tolerantes al boro.

Hauser (1997), de acuerdo a los resultados de los análisis fisicoquímicos de las muestras de agua, clasifica las aguas de las Termas de Puritama, de acuerdo a los Diagramas de Piper y Stiff como aguas cloruradas y sulfatadas sódicas.

Cómo se observa en el cuadro anterior, los análisis químicos revelan que todas las aguas de la subhoya del río Vilama son aguas no son aptas para consumo directo de agua potable, puesto que de acuerdo a la Norma Chilena para agua potable e encuentran excedidas en el límite máximo en cloro (Cl), sulfatos (SO₄) y arsénico (As).

Por otra parte de acuerdo a la Tabla de Scofield (1936) que clasifica las aguas con respecto al riego y al contenido de Boro (Cuadro 3), tanto las aguas de las Termas de Puritama, como del río Vilama, muestran que éstas son inútiles incluso para cultivos tolerantes al boro.

Tabla 7.2 Clasificación de Scofield para uso en riego de las aguas respecto a la concentración en mg/l de Boro

Clase de Agua	Cultivos sensibles (mg/l)	Cultivos semi tolerantes (mg/l)	Cultivos tolerantes (mg/l)
1- Excelente	Menos de 0,33	Menos de 0,67	Menos de 1,00
2- Buena	0,33 a 0,67	0,67-1,33	1,00-2,00
3- Tolerable	0,67-1,00	1,33-2,00	2,00-3,00
4- Dudosa	1,00-1,25	2,00-2,50	3,00-3,75
5- Inútil	Mas de 1,25	Mas de 2,50	Mas de 3,75

Con respecto al contenido de sodio y la relación existente entre éste y el TSD, las aguas de las Termas de Puritama y del río Vilama muestran un TSD de 1668 mg/l y una relación:

$$\% \text{ Na} = \text{Na} * 100 / (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}) = 67\%$$

y, por tanto, de acuerdo al Diagrama de Wilcox (1948), el empleo de éstas aguas para riego resulta de baja utilidad.

8 Suelos

De acuerdo a las condiciones ambientales descritas hasta aquí, los suelos del área se han desarrollado bajo las condiciones del volcanismo, la dinámica de relleno de periodos lacustres y los conos aluviales de los ríos. La combinación de estos mecanismos ha dado como resultado la presencia mayoritaria de suelos esqueléticos con alto contenido de sales y afectados a la constante erosión del viento.

El único sector donde se localizan suelos agrícolas es en los ayllus de San Pedro de Atacama. Estos se reconocen como suelos aluviales y no se distingue desarrollo pedológico de los estratos, en este sentido, sólo se pueden distinguir depósitos superficiales.