



UNIVERSIDAD DE CHILE
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Escuela de Pregrado
Carrera de Geografía

**PROPUESTA DE MICROZONIFICACIÓN ECOLÓGICO-AMBIENTAL EN EL
SECTOR DE EL TATIO, II REGIÓN DE ANTOFAGASTA, COMUNAS DE
CALAMA-SAN PEDRO DE ATACAMA, A PARTIR DE LOS PRINCIPIOS DE
LA PLANIFICACION ECOLÓGICA DEL TERRITORIO**

Memoria para optar al título de Geógrafa

ISABEL REYES VENEGAS

Profesor Guía: Dr. Francisco Ferrando

SANTIAGO-CHILE

2012

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi sentimiento de gratitud a todos aquellos que de alguna manera u otra contribuyeron al desarrollo de mi Memoria de Título. En primer lugar, quisiera agradecer a Pablo Pérez y Germaín Rivera, quienes aportaron con ideas, consejos y el facilitamiento de información.

Por otra parte, quisiera dedicar esta Memoria con especial cariño a mi amiga y compañera de Geografía Maricel Beltrán, ya que juntas hemos recorrido un largo camino, tanto en nuestra carrera como en nuestras vidas, siendo quien más sabe todo lo que significa para mi poder terminar esta etapa.

También quisiera dedicar este libro a Stefan Neumann, quien me brindó su apoyo incondicional durante todo este proceso, a mis padres, a mis amigas Claudia Oliva, Gabriela Díaz y Lissette Muñoz y a mis compañeros de Geografía.

ÍNDICE

RESUMEN	6
CAPÍTULO I: PRESENTACIÓN	7
1.1 Introducción	7
1.2 Planteamiento del problema	8
1.3 Área de estudio.....	11
1.4 Objetivos.....	15
1.4.1 Objetivo general	15
1.4.2 Objetivos específicos.....	15
CAPÍTULO II: ESTADO DEL ASUNTO	16
2.1 Orígenes del concepto de ordenamiento territorial	16
2.2 Definiciones y alcances del ordenamiento territorial.....	17
2.3 Ordenamiento Territorial en Chile.	19
2.4 Definiciones y alcances de la Planificación Ecológica en Chile.	20
2.5 Planificación del Paisaje: el caso de Alemania.....	21
2.6 Planificación del paisaje en el mediterráneo: Caso de Italia	22
2.7 Planificación y diseño del paisaje en Italia	22
2.8 Algunos aportes de aplicaciones en investigaciones científicas de la Planificación Ecológica desde la geografía.....	23
CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	25
3.1 Trabajo preparatorio.....	25
3.2 Etapas metodológicas.....	26
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	34
I. Etapa Inventario.....	34
4.1.1. Geología y vulcanología.....	34
4.2 Geomorfología	41
4.3 Suelos.....	46
4.4 Clima.....	51
4.5 Hidrología	57
4.6 Vegetación y fauna.....	63
4.7 Fauna.....	67
4.8. Paisaje escénico.....	73
4.9 Amenazas naturales.....	79
II. Usos actuales y planeados	84
4.2.1 Zona de uso turístico	84
4.2.2 Infraestructura (Servicios y administración).....	87
4.2.2.3. Vías de Acceso	88
III. Evaluación Ambiental del Territorio	92
1. Evaluación de la sensibilidad por componente ambiental	92
1.2 Criterios de evaluación ambiental	92
1.3 Sensibilidad ambiental	100
2. Evaluación de intensidad potencial de efectos por usos de suelo	108
1.3 Evaluación del Riesgo Ecológico	111
IV. Concepto Rector	114
V. Propuesta de zonificación.....	128

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	133
CAPÍTULO VI: DISCUSIONES	137
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	138
BIBLIOGRAFIA	139
ANEXOS	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Delimitación del área de estudio	14
Figura 2: Etapas de la Evaluación de Sensibilidad	29
Figura 3: Matriz referencial de integración para obtener el Riesgo Ecológico	31
Figura 4: Matriz orientadora para identificar los Objetivos Ambientales Zonificados	32
Figura 5: Clasificación Geológica del Sector de El Tatio	40
Figura 6: Imagen panorámica del área de estudio	43
Figura 7: Cuenca intramontana del Tatio, sector Géiser del Tatio	44
Figura 8: Geomorfología para el sector de El Tatio	45
Figura 9: Clasificación del grado de erosión para el sector de El Tatio	50
Figura 10: Precipitaciones mensuales (mm) medidas en estación de El Tatio	52
Figura 11: Variaciones de las precipitaciones durante el periodo 1979-1993, diferenciadas en invierno y verano.	53
Figura 12: Divisiones climáticas para el sector de El Tatio	56
Figura 13: Perfil de temperaturas	60
Figura 14: Perfil hidrogeológico	61
Figura 15: Hidrología sector de El Tatio	62
Figura 16: Sector de vega área de estudio	66
Figura 17: Delimitación áreas de avistamiento de fauna según EIA Proyecto de perforación geotérmica El Tatio.	72
Figura 18: Campamento CORFO	75
Figura 19: Paisaje escénico sector de El Tatio	78
Figura 20: Mapa de pendientes, alteracion hidrotermal y evidencias de movimientos de laderas. ...	82
Figura 21: Estabilidad del terreno para el sector del Tatio.	83
Figura 22: Maquinaria abandonada en el campo geotérmico de El Tatio	85
Figura 23: Sector turístico Géiser del Tatio	86
Figura 24: Fumarola en el campo geotérmico de El Tatio rodeada de Coirón (<i>Festuca Orthophylla</i>) (izquierda), y Llaretas (<i>Azorella compacta</i>) (derecha) entre roqueríos.	87
Figura 25: Usos de suelos actuales y planeados	91
Figura 26: Objetivos Ambientales Zonificados del componente Geología	121
Figura 27: Objetivos Ambientales Zonificados del componente Geomorfología	122
Figura 28: Objetivos Ambientales Zonificados del componente Suelos	123
Figura 29: Objetivos Ambientales Zonificados del componente Clima	124
Figura 30: Objetivos Ambientales Zonificados del componente Hidrología	125
Figura 31: Objetivos Ambientales Zonificados del componente Vegetación y fauna	126
Figura 32: Objetivos Ambientales Zonificados del componente Paisaje escénico	127
Figura 33: Mapa final microzonificación ecológico-ambiental	132

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1: Resumen de unidades estratigráficas presentes en el área de estudio:	39
Tabla 2: Comunidades vegetales de la formación Estepa Sub-desértica de la Puna de Atacama.	63
Tabla 3: Catálogo de reptiles en el área de estudio.....	69
Tabla 4: Catálogo de aves en el área de estudio	70
Tabla 5: Catálogo de mamíferos en el área de estudio	71
Tabla 6: Descripción de factores escénicos en la zona n°1.....	74
Tabla 7: Descripción de factores escénicos en la zona n°2.....	76
Tabla 8: Descripción de factores escénicos en la zona n°3.....	77
Tabla 9: Escala de ponderación de criterios	93
Tabla 10: Criterios de evaluación del componente geología y vulcanología	93
Tabla 11: Criterios de evaluación del componente geomorfología.....	94
Tabla 12: Criterios considerados para la evaluación de suelos.	95
Tabla 13: Criterios de Evaluación para Clima.....	96
Tabla 14: Criterios de evaluación para el subcomponente aguas subterráneas	97
Tabla 15: Criterios de Evaluación para Hidrología	98
Tabla 16: Criterios considerados para la evaluación de vegetación y fauna.	98
Tabla 17: Criterios de Evaluación para paisaje escénico	99
Tabla 18: Sensibilidad ambiental del componente Geología y vulcanología.....	101
Tabla 19: Sensibilidad ambiental del componente Geomorfología	101
Tabla 20: Sensibilidad ambiental del componente Suelos.....	101
Tabla 21: Sensibilidad ambiental del componente Clima.....	102
Tabla 22: Sensibilidad ambiental del componente Hidrología	102
Tabla 23: Sensibilidad ambiental del componente Vegetación	102
Tabla 24: Sensibilidad ambiental del componente Fauna.....	103
Tabla 25: Sensibilidad ambiental del componente Paisaje escénico.....	103
Tabla 26: Usos de suelo actual y proyectado, sus características y sus efectos potenciales.....	108
Tabla 27: Matriz de efectos potenciales de usos de suelo.....	110
Tabla 28: Riesgo ecológico por componente ambiental	112
Tabla 29: Potenciales usos de suelo a partir de los actores públicos y privados	117
Tabla 30: Matriz de Objetivos Ambientales Zonificados	119

RESUMEN

Una de las ideas más relevantes que sustentan las discusiones en torno al ordenamiento territorial en la actualidad, corresponde a la incorporación de los temas medioambientales como soporte fundamental en la planificación de los usos del suelo. Frente a esto, la ordenación del territorio en áreas de alta montaña se presenta como un tema de gran relevancia, debido a la presencia de condiciones físicas extremas, a la vulnerabilidad de su medio natural, a lo sensible del ecosistema y a las aptitudes para el desarrollo turístico (Gómez, 2002).

En Chile, uno de los lugares que se destaca por presentar tales características corresponde al Sector de El Tatio, ubicado en la II Región de Antofagasta, entre las comunas de Calama y San Pedro de Atacama. Esta área, que en su interior presenta uno de los destinos turísticos más visitados del país, mantiene condiciones de alto valor ambiental, debido a que contiene una muestra representativa de la diversidad ecológica de los Andes de Chile. Sin embargo, el sector posee potencialidades para el desarrollo de otro tipo de actividades, lo cual es evidenciado a partir de la existencia de concesiones de explotación geotérmicas vigentes.

Frente a este escenario, se hace imprescindible contar con estudios enfocados desde la sustentabilidad, para que el desarrollo de los distintos usos del suelo se lleve a cabo de manera armónica con el medioambiente, donde se conjuguen las aptitudes naturales con las restricciones provenientes de la evaluación ambiental. A partir de esto, esta investigación tiene como finalidad la formulación de una propuesta de microzonificación de usos de suelo para el Sector de El Tatio, considerando los principios de la Planificación Ecológica del Territorio.

Los lineamientos que guían esta investigación se enfocan en la realización de un reconocimiento y diagnóstico de las componentes del sistema natural dentro del área de interés, con el objetivo de establecer el potencial de transformación del uso del suelo, tanto actual como proyectado, bajo una visión sustentable.

CAPÍTULO I: PRESENTACIÓN

1.1 Introducción

La particular distribución de latitud y altitud que presenta Chile, lo constituye como un territorio altamente heterogéneo en términos geográficos, lo que le permite sustentar una gran biodiversidad que en muchas ocasiones es única. Asimismo, esta condición territorial hace de Chile un país lleno de contrastes, con una variedad de climas y paisajes, que son el primer referente que tienen los turistas antes de visitarlo (SERNATUR, 2011).

Uno de los paisajes naturales que se destaca por presentar aptitudes para la actividad turística en Chile corresponde a la alta montaña, la cual en la actualidad no se considera como un territorio deprimido, sino más bien como poseedor de condiciones turísticas que se constituyen como el motor del actual despegue económico de muchas áreas de montaña (Gómez, 2002).

Este tipo de áreas requieren un tratamiento diferenciado al momento de ordenar el territorio, producto de las condiciones físicas particularmente extremas que se presentan, ya que, por un lado, propician el despoblamiento, las rentas bajas y las condiciones de vida adversas, mientras que por otra parte, se traducen en abundancia de recursos naturales y en unos valores naturales y paisajísticos que hacen de la montaña un territorio enormemente atractivo para los habitantes de las aglomeraciones urbanas (Gómez, 2002).

Un caso representativo en Chile de turismo en la alta montaña lo constituye el sector del Campo Geotérmico de El Tatio y sus alrededores, el cual ofrece una amplia gama de atractivos naturales y culturales, que concentran parte importante de la atención turística del país. Este campo geotérmico se ubica en la Región de Antofagasta, a unos 40 kilómetros al este de Caspana, 120 kilómetros al este de Calama y a 335 kilómetros al noreste de Antofagasta (ENEL, 2011).

El interés de continuar potenciando esta zona a partir del desarrollo turístico fomentado por las condiciones naturales presentes en el territorio no es la única actividad que se desarrolla o que se proyecta, lo cual es evidenciado a partir de la presencia de concesiones de explotación geotérmicas vigentes en el Campo Geotérmico.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

A partir de esto, se plantea la realización de una investigación enfocada en sustentar una propuesta de microzonificación ecológica-ambiental en el sector de El Tatio, considerando los principios de la Planificación Ecológica del Territorio.

La relevancia de desarrollar esta investigación en esta zona de alto valor ambiental, radica en la necesidad de direccionar las intervenciones antrópica sobre un sustento ecológico-ambiental que sienta las bases para un desarrollo sustentable de los asentamientos humanos y actividades económicas presentes y proyectadas en el área de estudio.

1.2 Planteamiento del problema

En la actualidad, una de las discusiones más relevantes en torno al concepto de ordenamiento territorial se constituye a partir de la reciente incorporación de los temas medioambientales como una parte significativa dentro de su cuerpo doctrinal (Pujadas et al, 1998).

A partir de esto, es posible identificar enfoques con mayor interés en torno a los problemas medioambientales, como el conservacionista, que relaciona el ordenamiento territorial con una planificación y gestión del territorio que garantice el uso racional de los recursos naturales y la previsión de espacios naturales protegidos a partir de las figuras de protección que cada país disponga (Gómez, 2002).

Dentro de esta discusión, el ordenamiento territorial en áreas de alta montaña se presenta como una temática de gran relevancia en la actualidad, ya que si bien, posee puntos en común con el espacio rural, también presenta rasgos característicos que aconsejan un tratamiento diferenciado a la hora de ordenar el territorio. Esto se visualiza a partir de las condiciones físicas extremas presentes en el medio montañoso, debido a los procesos dominantes, su dinámica natural, su estabilidad y consecuente vulnerabilidad y de las aptitudes turísticas derivadas (Gómez, 2002).

Las temáticas básicas que se ha de plantear el ordenamiento territorial en áreas de alta montaña se asocian comúnmente con el despoblamiento y la baja densidad poblacional, al

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

desarrollo económico de áreas regresivas, a la mejora en la calidad de vida, a la protección del medio ambiente y la conservación del territorio (Gómez, 2002).

Considerando estos antecedentes, el ordenamiento territorial adquiere una gran relevancia, presentando como principales desafíos la distribución de manera armónica de los diferentes usos de suelo que este tipo de paisaje puede constituir (ancestral nativo y económico productivo), lo cual en ocasiones puede llegar a ser motivo de conflicto territorial entre los diferentes actores involucrados en este tipo de áreas.

En Chile, una zona de montaña que presenta alta relevancia a nivel nacional la constituye el Sector de El Tatio, ubicado en la II Región de Antofagasta, entre las comunas de Calama y San Pedro de Atacama. Esta zona se caracteriza por presentar un alto valor ambiental, debido a que contiene una muestra representativa de la diversidad ecológica que constituye la franja Andina de Chile, representada en la formación vegetal “Estepa Sub-desértica de la Puna de Atacama” (Gajardo, 1995).

Por otra parte, esta zona presenta en su interior uno de los destinos turísticos más visitados a nivel nacional, correspondiente al Campo Geotérmico de El Tatio (4.200 m.s.n.m), el más grande del hemisferio sur y el tercero a nivel mundial, después de Yellowstone en Estados Unidos y Dolina Giezerov en Rusia (Glennon et al, 2003). El despliegue de sus géiseres, fumarolas y múltiples manifestaciones termales atrae cada año a más de setenta mil personas de distintas partes del mundo y lo han convertido en uno de los destinos turísticos más importantes del país (ENG, 2011).

La administración turística del Campo Geotérmico de El Tatio se encuentra en manos de las comunidades atacameñas de Caspana y Toconce, las cuales poseen una concesión otorgada por el Ministerio de Bienes Nacionales en 2006. Para la realización de esta administración, las comunidades crearon la empresa turística Tatio Mallku, cuyo principal objetivo es resguardar los recursos naturales, paisajísticos, culturales y patrimoniales del sector de fuentes termales del Campo Geotérmico de El Tatio (ENG, 2011).

Sin embargo, el desarrollo del turismo potenciado por las condiciones naturales del territorio y por la presencia de comunidades indígenas de Caspana y Toconce, no es la única

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

actividad económica que se desarrolla en esta área. Esto se evidencia a partir de la existencia de las concesiones de explotación geotérmicas vigentes “El Tatio” y “La Torta”, proyectos pertenecientes a Geotérmica Del Norte (GDN), empresa subsidiaria de Empresa Nacional de Geotermia (ENG).

El interés de desarrollar la energía geotérmica en esta zona del país, se presenta por una parte, debido a las condiciones geológicas y el potencial geotérmico presente en el Campo Geotérmico de El Tatio, mientras que por otro lado, responde a la necesidad de diversificar la composición de la matriz energética en Chile, que sea capaz de brindar mayor competitividad a las exportaciones y aportar al desarrollo sustentable, satisfaciendo el constante crecimiento de la demanda energética con un impacto menor sobre el medio ambiente (ACERA, 2010).

Frente a este escenario, la zona correspondiente al Campo Geotérmico de El Tatio presenta un potencial de transformación de los usos de suelo en los próximos años, evidenciado en conflictos de interés desde los diversos actores involucrados en este territorio. Por una parte, existe un desarrollo turístico basado en las condiciones de alto valor ambiental en la zona, mientras que por otra parte, existe un interés por parte de empresas privadas de desarrollar instalaciones geotérmicas para investigación científica y explotación del recurso (ENG, 2011).

El desarrollo de la energía geotérmica en Chile es incipiente, por lo cual se hace necesario contar con bases ambientales sustentables, que permitan que este tipo de energías se inserte de manera armónica en el territorio. A raíz de esto, esta investigación plantea el desarrollo de una propuesta de microzonificación ecológica-ambiental en el sector de El Tatio, considerando los principios de la Planificación Ecológica del Territorio. Los objetivos de esta investigación, por lo tanto, se enfocan en realizar un reconocimiento y diagnóstico de las componentes del sistema natural dentro del área de estudio, con la finalidad de establecer el potencial de transformación de los usos de suelo actuales y proyectados bajos los principios del desarrollo sustentable.

1.3 Área de estudio

El área de estudio que comprende la presente investigación se ubica en la II Región de Antofagasta, provincia de El Loa, en las comunas de Calama y San Pedro de Atacama. Se extiende por el campo geotérmico por el norte y una parte de la meseta andina por el sur.

La delimitación del área de estudio en la que se desarrolla esta investigación, se realiza en base a un polígono resultante en la propuesta de creación de área protegida para el sector de El Tatio en 2009 por parte de CONAF. Esta decisión se genera en torno a la necesidad de brindar una base sustentable a dicha propuesta, a través de una zonificación que considere un diagnóstico de las componentes ambientales en relación a los usos de suelo actuales y proyectados.

Los límites que comprende el área de estudio son: (Fig.1)

- Por el norte, colinda con terrenos de carácter fiscal pertenecientes a la comuna de Calama, estableciendo una división desde el cerro “Copacoya o Cenizal” en dirección este, la cual se une con la cota 5.456 en el límite internacional entre Chile y Bolivia.
- Por el oriente, se traza una línea con dirección sur sobre el límite internacional entre Chile y Bolivia, pasando por “Cerros del Tatio” y “Portezuelo del cordón de Panizo”, hasta alcanzar los 5.361 m.s.n.m. de la cumbre del Cerro Tocarpori.
- Por el sur, la delimitación del área de estudio se inicia en el límite internacional entre Chile y Bolivia, desde donde sigue un trazado en dirección al Río Tocarpori y la cota 4.450, para luego continuar hacia el noroeste, hasta alcanzar la cima del “Cerro Negro”.
- Por el oeste, a partir de terrenos fiscales pertenecientes a la comuna de San Pedro de Atacama, el límite presenta un trazado ascendente con dirección noroeste hasta la cima del “Cerro Huacho”. Luego, se dirige al noreste mediante una línea ascendente hasta alcanzar la cima del “Cerro Colorado”. A partir de este cerro, sigue subiendo con dirección noreste, pasa por las cumbres locales y llega a la cima del “Cerro Tucle”,

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

desde donde sigue con igual orientación pasando por la cota 4.503 hasta la cima del “Tatio Oeste”, cerrándose con el cerro “Copacoya o Cenizal”.

En cuanto a la presencia de áreas protegidas dentro del área de interés, es posible identificar las siguientes categorías: (Fig.2)

- **Zona de Interés Turístico Nacional**, correspondiente al área de San Pedro de Atacama-Cuenca geotérmica del Tatio, declarada bajo esta categoría a través de la Resolución Exenta N° 775 del 01.08.02.
- **Sitio Prioritario de importancia para la Conservación de Biodiversidad**, llamado Géiser del Tatio, el cual fue delimitado a partir del marco de la formulación de la “Estrategia Regional para Biodiversidad” (2002).
- **Identificación y delimitación de zonas que corresponden a los acuíferos que alimentan áreas de vegas y de los llamados bofedales**, gestión mediante la Resolución Exenta N° 909 de la DGA, de 28.11.96.

Por otra parte, cabe destacar que en el área de interés existe una concesión a título gratuito perteneciente a las comunidades atacameñas de Caspana y Toconce, la cual comprende el Campo Geotérmico de los Géiser del Tatio y áreas aledañas. Esta concesión fue renovada en 2011 por parte del Ministerio de Bienes Nacionales. Sumado a esto, es importante considerar que el área de estudio compromete en su extensión al Área de Desarrollo Indígena “Alto Loa” y “Atacama La Grande”. Otro tipo de concesiones que es posible identificar en esta área, alude a las concesiones de explotaciones geotérmicas vigentes, “El Tatio” y “La Torta”, pertenecientes a Geotérmica del Norte (GDN), empresa subsidiaria de Empresa Nacional de Geotermia (ENG).

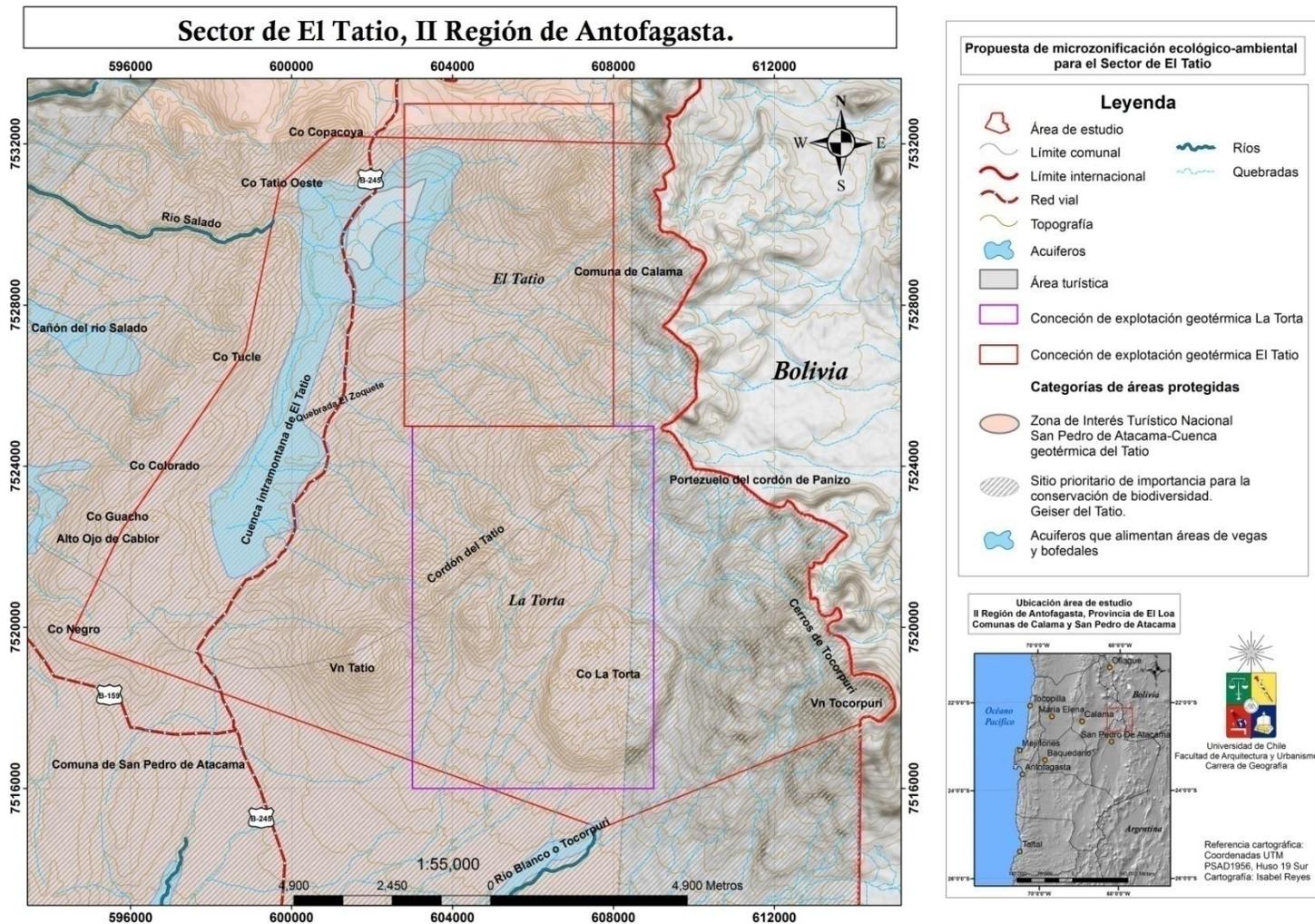
En cuanto a la accesibilidad, el área propuesta se localiza a 56 Km. al noroeste de San Pedro de Atacama y a 110 Km al este de Calama. Al lugar es posible acceder mediante dos vías principales que se encuentran en regular estado, pudiendo quedar intransitables en época invernal, debido a la ocurrencia de intensas precipitaciones pluvio-nivales. La primera de estas vías, corresponde a la ruta nacional B-235, que une la localidad de San Pedro de Atacama con la

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

ruta B-245, en un tramo de 44 Km. Desde ahí, continua por la ruta B-245 hasta llegar al campo geotérmico del Tatio, en un tramo de 45 Km. La segunda corresponde a la ruta nacional B-165 (Calama-Linzor), en un tramo de 49 Km. Desde este punto continua por la ruta B-159, por 52 Km, hasta conectar con la ruta B-245.

Propuesta de microzonificación ecológica ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 1: Delimitación del área de estudio



Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Generar una propuesta de microzonificación ecológico-ambiental de usos de suelo en el Sector de El Tatio, incorporando como base los principios de la Planificación Ecológica del Territorio.

1.4.2 Objetivos específicos

- 1-. Efectuar un análisis de los componentes pertenecientes al medio natural en el área de estudio, considerando los aspectos asociados a geología y vulcanología, geomorfología, suelos, clima, hidrología, vegetación y fauna, paisaje y amenazas naturales.
- 2-.Efectuar un catastro y análisis de los usos actuales y planeados.
- 3-. Realizar una Evaluación Ambiental del Territorio con base a un Análisis del Riesgo Ecológico.
- 4-. Establecer la imagen objetivo de la planificación del territorio considerando los objetivos de la zonificación ambiental.
- 5-.Generar una microzonificación ecológico-ambiental y establecer los usos recomendados y las restricciones pertinentes.

CAPÍTULO II: ESTADO DEL ASUNTO

2.1 Orígenes del concepto de ordenamiento territorial.

El ordenamiento territorial corresponde a una expresión creada en Francia hacia 1949 como propuesta por parte del Ministerio de la Reconstrucción y del Urbanismo, ante la necesidad de una reconstrucción adecuada y organizada de las ciudades afectadas por acción de los bombardeos durante la Segunda Guerra Mundial (Capítulo III s/a).

Hildenbrand (1996) en Pujadas et al (1998), plantea que *“la ordenación del territorio es una de las políticas típicas del Estado en procura de bienestar, que nace en la mayoría de los países industrializados europeos después de la Segunda Guerra Mundial”*.

En Francia, el ordenamiento territorial fue institucionalizado en 1963 a partir de la creación de la Delegación General de OT y de Acción Regional y de la Comisión Nacional de OT. En 1967, el parlamento francés establece la primera norma sobre el tema denominada “Ley de Orientaciones de Vivienda y Urbanismo”, en la cual se plantea una metodología y se determina la necesidad de modificar antiguas normas urbanísticas por otras de un carácter más amplio y dinámico, como lo fueron el Esquema Director de Ordenamiento y Urbanismo (S.D.A.U)¹ y el Plan de Ocupación de los Suelos (P.O.S.)²

La clasificación de determinadas situaciones como problemas territoriales ha ido transformándose a través del tiempo. Temas que décadas atrás no requerían demasiada atención, en la actualidad se han convertido en problemas territoriales relevantes. La existencia de regiones y áreas retrasadas se considera en la actualidad como problemas territoriales de gran importancia, mientras que en la etapa más intensa de la industrialización, comenzaba a surgir la idea de desequilibrios territoriales (Pujadas et al, 1998).

¹Esquema que define a una escala general la localización de grandes equipamientos, tales como carreteras, vías férreas y aeropuertos, las áreas de vocación de los suelos para múltiples actividades y establece sus límites por un periodo de treinta años (Capítulo III).

² Plan que fija de forma más precisa y a gran escala los índices de construcción, plantea esquemas regionales y municipales con el objetivo de armonizar el desarrollo y el crecimiento en áreas que pudiesen afectar sectores o territorios particularmente sensibles (Tarlet, 1958 en Capítulo III).

2.2 Definiciones y alcances del ordenamiento territorial.

La idea de ordenamiento territorial alude a un concepto de gran amplitud, con contenidos complejos de acotar debido a las diferentes interpretaciones que ha recibido (Pujadas et al, 1998). Según Gómez (2002), independientemente de que este concepto no tenga una definición universal, la ordenación territorial se encuentra girando en torno a tres elementos: las actividades humanas, el espacio en que se ubican y el sistema que entre ambos configuran.

Por su parte, Pujadas y Font (1998), plantean la importancia de considerar tres interrogantes al ordenar el territorio: ¿Qué se ha de ordenar?, ¿Para qué se ha de ordenar? y ¿Cómo se ha de ordenar? La respuesta a la primera de las preguntas alude a los múltiples usos denominados comúnmente como usos del suelo. Estos usos corresponderían a las actividades impuestas por el hombre o a usos provenientes del medio natural. En cuanto a la respuesta de para qué se ha de ordenar, se consideran los fines y objetivos que se plantea la ordenación del territorio. Para definir cómo se ha de ordenar, se hace referencia a los criterios de ordenación que han de permitir lograr los objetivos inicialmente propuestos (Pujadas et al, 1998).

Una de las definiciones que ha sido más aceptadas y utilizadas a nivel mundial corresponde a la planteada por la Carta Europea de Ordenación del Territorio (1983), definiendo ordenamiento territorial como: *“una disciplina científica, una técnica administrativa y una política concebida como un enfoque interdisciplinario y global, cuyo objetivo es un desarrollo equilibrado de las regiones y de la organización física del espacio según un concepto rector”*. Por su parte, Barragán (1993), plantea un punto de vista diferente al definir la ordenación del territorio como una disciplina científica, avocada al análisis del territorio, mientras que la planificación como una acción enfocada a la actividad práctica, conformando ambas etapas lo que él denomina como gestión del territorio (Barragán, 1993 en Pujadas et al, 2002).

Frente a esto, Pujadas y Font (1998) plantean que la idea de considerar la ordenación del territorio como una disciplina científica y asimilar la actividad práctica a planificación territorial no resulta del todo válido, debido a que la ordenación del territorio se encuentra más cercana a la actividad práctica planificadora y de la toma de decisiones políticas que del análisis científico del territorio (Pujadas et al, 1998).

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Al respecto, existen dos elementos exteriores de relevancia que influyen en la ordenación del territorio. Estos corresponden por una parte a la ideología y, por otra, a la agrupación de disciplinas científicas cuyo objeto de estudio es el territorio, las cuales pueden ser consideradas como la teoría sustantiva de la ordenación del territorio (Pujadas et al, 1998).

La ideología corresponde a la perspectiva de identificación de los “problemas territoriales” a los que se requiere dar solución (Pujadas et al, 1998). Frente a esto, la Carta Europea de Ordenación del Territorio (1983) plantea como objetivos primordiales “*el desarrollo socioeconómico equilibrado de las regiones, la mejora de la calidad de vida, la gestión responsable de los recursos naturales, la protección del medio ambiente y la utilización racional del territorio*”. Los temas medioambientales se han incorporado más recientemente, y en la actualidad conforman una parte significativa del cuerpo doctrinal de la ordenación del territorio (Pujadas et al, 1998).

Considerando a las disciplinas científicas, cada una manifiesta su propia dinámica al margen de la aplicación práctica que puede dárseles desde la ordenación del territorio. A partir de sus formulaciones, las disciplinas rescatan los criterios que contribuyan a direccionar la toma de decisiones desde la orientación adecuada (Pujadas et al, 1998).

Según Gómez (2002), producto del carácter interdisciplinar de la ordenación del territorio y de la relativa imprecisión en su definición, es posible identificar interpretaciones parciales a partir del campo del conocimiento en que se plantea, identificándose: **Los economistas**, interesados por la cohesión económica y social del sistema, e influidos por la ciencia regional, comúnmente asocian la ordenación territorial a la localización espacial de las inversiones, las cuales, solo en ocasiones, se orientan a corregir desequilibrios territoriales; **los urbanista**, este enfoque reduce la ordenación territorial a la clasificación y calificación urbanística del suelo, de tal forma que, en sus planes y acciones, el suelo rústico se determina como un espacio residual, visualizado como un sustento para la expansión de las ciudades; **los ruralistas**, enfocados en las acciones históricas en temas de colonización de tierras, de transformación económico-social de áreas rurales o de conservación de la naturaleza y **los conservacionistas**, relacionan la ordenación del territorio a una planificación y gestión que asegure el uso racional de los recursos naturales y a la previsión de espacios naturales protegidos

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

a partir de las figuras de protección disponibles. Ante esto, el ordenamiento territorial plantea un enfoque global y sistémico, en dirección al equilibrio y a la cohesión territorial a través de la integración de los sectores y de las diversas unidades territoriales.

2.3 Ordenamiento Territorial en Chile.

En la actualidad, Chile no cuenta con una Ley de Ordenamiento Territorial, incorporándose este concepto de manera reciente en la Ley Orgánica Constitucional N°19.175 sobre Gobierno y Administración Regional, presentándose en el artículo N°17 las funciones del gobierno regional en términos de ordenamiento territorial.

Sin embargo, durante los últimos años se han ido gestando de manera progresiva una institucionalidad, normativa e instrumentos que se direccionan a aspectos o sectores del ordenamiento territorial (Dascal, 2005).

Por su parte, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo es la institución encargada de la política urbana, de los planes regionales de desarrollo urbano, planes reguladores comunales e intercomunales, planes seccionales y límites urbanos, establecidos por la Ley General de Urbanismo y Construcciones. Estos corresponden a instrumentos de planificación, que contemplan fundamentalmente la variable física del territorio, y en algunas ocasiones se limitan a ser aplicados a áreas de carácter urbano. (Dascal, 2005).

Por otro lado, el ente encargado de promover las Estrategias de Desarrollo Regional corresponde al Ministerio de Planificación y Cooperación. El Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Telecomunicaciones, con sus planes de infraestructura y equipamiento, evidentemente inciden fuertemente en el ordenamiento territorial. El Ministerio del Medio Ambiente regula las zonas saturadas por algún tipo de contaminante y direcciona los planes de descontaminación necesarios, con significativos impactos en el uso del territorio, entre otros (Dascal, 2005).

Frente a esta diversidad de instituciones con influencia en el ordenamiento del territorio, CONAMA (1999) desarrolló un estudio en donde se identificaron diferentes definiciones para el ordenamiento territorial a partir de diversas instituciones públicas, una valoración desigual

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

acerca de su interés y una capacidad instrumental disímil para su aplicación. Considerando estos antecedentes, Dascal (2005) explica que el sistema económico, político y administrativo que rige a Chile restringe la capacidad del Estado para influir en las diferentes decisiones que afectan el territorio.

Ante este contexto, se comienza en Chile en 1996 el proyecto “Bases para un Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable para la Región Metropolitana” (Proyectos OTAS), el cual se llevó a cabo en dos etapas, tendiendo como objetivo dotar al Gobierno Regional de múltiples indicadores, instrumentos y capacidades técnicas para que esta institución pueda cumplir con la tarea asignada en la Ley N°19.175 en materia de ordenamiento territorial (GORE et al, 2002).

Este proyecto, a partir de la Universidad de Chile y la cooperación alemana (GTZ), comenzó su trabajo con el estudio del sistema físico ambiental en la Región Metropolitana de Santiago. Para estos fines, se adoptó en Chile un instrumento existente en Alemania denominado Planificación del Paisaje, el cual corresponde a un instrumento de planificación ambiental del territorio. Este proyecto optó por denominar este instrumentos como Planificación Ecológica (GORE et al, 2002).

2.4 Definiciones y alcances de la Planificación Ecológica en Chile.

Considerando las aplicaciones que ha tenido el ordenamiento territorial en Chile, el principal instrumento de esta técnica es el “Marco orientador de consenso para el ordenamiento territorial”³. Para esto, se llevó a cabo el Proyecto Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable (OTAS), teniendo como primera etapa el estudio ecológico del territorio a través de la Planificación Ecológica. Esta propuesta sienta sus bases en la denominada “Planificación del Paisaje”, desarrollada en Alemania con fines de protección de la naturaleza y del paisaje (GORE et al, 2002).

³ Sistema de información que documenta la toma de decisiones sobre el sistema de asentamientos humanos, el sistema vial y ejes de desarrollo, el sistema socio-productivo y el sistema físico ambiental.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

A través del análisis de la Planificación Ecológica, se aplica la Ecología de Paisaje a la toma de decisiones sobre las asignaciones de usos de la tierra. Se trata de una disciplina que combina los conocimientos ecológicos con el análisis espacial aportado esencialmente por la geografía (Romero et al, 2005). Este tipo de análisis, provee de una metodología de gran utilidad para valorar y hacer más sustentable el uso del territorio, aportando un fundamento ecológico a los distintos niveles de planificación (GORE et al, 2002).

2.5 Planificación del Paisaje: el caso de Alemania.

Durante la década de los setenta la planificación del paisaje fue desarrollada en Alemania como un instrumento que tenía como objetivo operacionalizar un precepto central de la Ley de Protección de la Naturaleza de 1976 (Art. 1, inciso1), orientado a un compromiso para proteger, reparar y/o desarrollar la naturaleza y el paisaje escénico en la totalidad del territorio (GORE et al, 2002). Asimismo, esta metodología buscaba asegurar de manera perdurable **la capacidad del ecosistema**, referido a mantener las complejas y dinámicas relaciones entre la totalidad de los componentes ambientales, evitando una perturbación significativa de los procesos ecológicos y buscar medidas de mitigación ambiental, en el caso de no ser posible evitar los impactos; **la disponibilidad de recursos naturales:** orientado a promover y desarrollar patrones de uso que no conlleven un agotamiento de los recursos naturales a través de medidas que mejoren la sustentabilidad ambiental de los usos existentes y proyectados; **las especies de vegetación y fauna:** establecer, desarrollar y proteger zonas y estructuras que presentan una gran relevancia como hábitat y refugio para las especies naturales; **la variedad, el carácter y la belleza del paisaje escénico,** direccionado a identificar y salvaguardar las zonas que presentan un alto potencial para la recreación cercana a lo natural, que tiene como objetivo el reencuentro con la naturaleza y los paisajes campestres que son parte del patrimonio cultural de una sociedad.

En Alemania, la planificación del paisaje es una tarea de las autoridades encargadas de administrar el paisaje y proteger a la naturaleza, ya que este corresponde a un instrumento del Planificación (GORE et al, 2002).

2.6 Planificación del paisaje en el mediterráneo: Caso de Italia

El paisaje del mediterráneo, corresponde a uno de los más antiguos modelado por el hombre, presentando una riqueza y heterogeneidad particular. La relación ancestral que ha desarrollado el hombre y la naturaleza ha sido alterada durante el último siglo, dando como resultado una mayor fragilidad de los ecosistemas, los cuales pueden ser mayormente degradados y fragmentados. A pesar de que los biotopos en el mediterráneo se caracterizan por presentar una alta resistencia adaptativa a la presión de las actividades del hombre en constante incremento, no puede resistir a un contexto de fragmentación y aislamiento.

A partir de esto, Makhzoumi y Pungetti (1999) plantean que el desarrollo de enfoques alternativos se torna un tema prioritario. Estos podrían contemplar la conectividad ecológica o bien el diseño y planificación del paisaje sobre la base de elementos culturales y ecológicos. Frente a esto, la fragilidad del medio ambiente mediterráneo requiere del enfoque holístico que brinda la ecología.

Esta ciencia debe por tanto constituir una parte integral en el diseño y planificación del paisaje. Como resultante, se podrían diseñar modelos de paisajes más acordes con el contexto natural y cultural de la región (Makhoumi y Pungetti, 1999).

2.7 Planificación y diseño del paisaje en Italia

El diseño y la planificación del paisaje en Italia han sido temas difíciles de comprender y aceptar por la sociedad y por los políticos a partir de la década de los 70. Esto se ha debido principalmente a la herencia de una filosofía particular de inicios del pasado siglo, enfocada en el atractivo natural (Croce, 1902). Algunos ejemplos de esta filosofía pueden visualizarse en numerosos planes de desarrollo rural y urbano, donde la metodología de planificación era basada en elementos funcionales y escénicos y no sobre principios ecológicos. Como consecuencia de esto, el planeamiento ambiental y paisajístico ha progresado más en la dirección de conservación de la naturaleza que en el desarrollo natural, utilizando aproximaciones más dinámicas que estéticas (Pungetti, 1991, 1996a).

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

La planificación del paisaje en Italia presentó en los años 80 sus primeros resultados concretos, a partir de, entre otros: La elaboración de planes paisajísticos regionales, a partir de la Ley Galasso (L. 43185) en la que se aseguraba la protección del paisaje en una serie de categorías territoriales;

La protección del suelo a partir de la Ley de Cuencas Hidrográficas (L. 183/89), que imponía el desarrollo de planes fluviales; y El Borrador de Ley de Espacios Protegidos (L. 394/91), orientada a la conservación de la herencia natural nacional.

El diseño del paisaje en Italia, al igual que en otras zonas del mediterráneo, ha seguido tres orientaciones principales: diseño urbanístico, planificación del medio físico y protección de la naturaleza. Sin embargo, estos enfoques no han sido empleados de manera integrada, lo cual ha tenido como consecuencia que el planeamiento ambiental se ha llevado a cabo hasta hace una década considerando los aspectos naturales y humanos de manera separada.

Considerando este contexto, el aporte de Italia al conocimiento ambiental ha presentado una evolución desde el análisis de la continuidad ambiental al desarrollo de teorías de conservación de la biodiversidad y del paisaje, contemplando el concepto de redes ecológicas.

2.8 Algunos aportes de aplicaciones en investigaciones científicas de la Planificación Ecológica desde la geografía.

Algunas investigaciones por parte de la geografía (Ruiz 2010 y Montenegro, 2010) han aplicado la metodología de Planificación Ecológica en áreas con alto valor natural y con un nivel elevado de fragilidad ante una eventual intervención antrópica.

Uno de los casos de estudio (Ruiz, 2010), plantea una Propuesta de Planificación Ecológica en el sector Laguna del Maule y el corredor Pehuenche en relación a la Ruta Internacional 115-CH. Este caso corresponde a una zona de alta montaña ubicada en la comuna de San Clemente. Como resultado de esta investigación, se presenta una propuesta de ordenamiento territorial dividida en dos grandes grupos de zonas. En una de ellas, se definieron usos de suelo, a partir de sus características, objetivos de manejo y usos potenciales, mientras

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

que en la otra, se establecieron zonas de restricción de usos relacionados a alta susceptibilidad frente a peligros naturales.

Otro de los casos analizados en esta investigación (Montenegro, 2010), plantea una propuesta de Ordenamiento Territorial en la zona costera de Quemchi. A diferencia del caso anterior, esta investigación integra las metodologías de Planificación Ecológica y Participativas. A partir de esto, se plantean dos imágenes objetivos de investigación: una ambiental (referida a los objetivos ambientalmente zonificados) y una socio-cultural (la cual se sustenta sobre la teoría del marco lógico).

A partir de esto, es posible visualizar que este tipo de metodología se puede adaptar a diversas formas de paisaje, como es el caso de las zonas de alta montaña o áreas costeras, por lo que se torna un instrumento de gran utilidad a la hora de definir bases sustentables para que el ordenamiento del territorio se lleve a cabo de manera armónica con el medio ambiente.

CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

La metodología aplicada a lo largo de esta investigación se sustenta sobre los principios de la Planificación Ecológica del Territorio, instrumento que representa la adaptación metodológica que el proyecto “Bases para el Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable” ha desarrollado para la Región Metropolitana (GORE et al, 2002). La base metodológica de este estudio es la denominada Planificación del Paisaje, desarrollada en Alemania con fines de protección de la naturaleza y el paisaje.

Esta metodología plantea la realización de 4 etapas de investigación: **Inventario territorial** (recopilación y análisis de la información secundaria existente y creación de una cartografía del territorio), **evaluación ambiental del territorio** (evaluación de los múltiples componentes ambientales con respecto a su relevancia, sensibilidad y riesgo ecológico), **concepto rector** (objetivos ambientales para el desarrollo territorial) y **medidas ambientales o requerimientos ambientales al uso de territorio** (propuestas de medidas ambientales a los usos del territorio).

Este enfoque metodológico fué utilizado en esta investigación debido a que provee una metodología de gran utilidad para valorar y hacer más sustentable el uso del territorio, proporcionando un sustento ecológico tanto a los planes de desarrollo territorial como a los planes sectoriales en el ámbito regional del país (GORE et al, 2002).

3.1 Trabajo preparatorio

Como primera etapa de investigación se plantea la recopilación de información a través de un análisis bibliográfico sobre las variables ambientales a analizar en el área de estudio. Para estos fines, se consideraron tanto instituciones de carácter público como privado. Complementariamente, se realizó una revisión de los principales documentos que se encuentran a disposición en las Municipalidades de Calama y San Pedro de Atacama.

Los principales organismos públicos que fueron consultados son: SERNAGEOMIN, CIREN, DGA, SERNATUR, CONAF, Ministerio de Medio Ambiente, CONADI, SEA, entre

otros. Por el ámbito privado, la empresa que fué consultada corresponde a Empresa Nacional de Geotermia (ENG), filial de ENEL Chile que posee concesiones de explotación geotérmica vigentes en el área de estudio, a partir de lo cual podrán ser analizados los usos de suelo proyectados.

3.2 Etapas metodológicas

3.2.1 Objetivo N°1

El desarrollo del primer objetivo de la investigación constó de la realización de un catastro y análisis de las componentes del sistema natural en el área de estudio. Para estos fines, se consideró como primera etapa la recopilación y posterior procesamiento de información secundaria. Las variables que fueron consideradas en el inventario son: Geología y vulcanología, geomorfología y suelos, clima, hidrología, vegetación y fauna, paisaje y amenazas naturales. Asimismo, se consideró el uso actual y planeado del territorio, para posteriormente incorporarlos en el Análisis de Riesgo Ecológico.

Finalmente se realizaron cartografías temáticas para los diferentes componentes del sistema natural, a partir de los resultados obtenidos. Las cartografías se crearon a partir del software ArcGIS 9.2.

A continuación, se presenta a un mayor detalle los materiales, métodos y fuentes de información para cada uno de los componentes del medio natural analizados:

- **Geología y vulcanología:** Para el análisis de este componente se consideró como base el Mapa Geológico de Chile a escala 1:1.000.000, publicado en la Serie Geología Básica del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN, 2002). Para analizar la información a un mayor nivel de detalle, se utilizó la base geológica presente en el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de Perforación Geotérmica Profunda El Tatio Fase 1 (2007), sustentada en estudios en terreno y sobre la Carta Geológica de Chile, 1:250.000, Hoja Calama (SERNAGEOMIN, 1984).

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

- **Geomorfología:** Para esta variable se consideró la Cobertura Geomorfológica a escala 1:250.000, publicada por el Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales (IREN, 2010). Por otra parte, se realizó un análisis de las unidades geomorfológicas en base a fotointerpretación de una imagen Landsat (Google earth 2012).
- **Suelos:** Para analizar la variable de suelos, se consideró información proveniente del Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN, 2010).
- **Clima:** Para describir la componente climática, se consideró la clasificación climática de Köppen. Para un mayor nivel de detalle, se utilizó información proveniente de la Dirección Meteorológica de Chile.
- **Hidrología:** Para la descripción de este componente, se consideró como base información disponible en la Dirección General de Aguas (DGA), Empresa Nacional de Geotermia y del Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). Complementariamente a esto, se realizó fotointerpretación sobre una imagen Landsat, con el objetivo de actualizar la información correspondiente a los cursos de agua.
- **Vegetación y fauna:** Al analizar estas variables, se consideraron las formaciones vegetacionales propuestas por Gajardo, R. 1994 (La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica). Sumado a esto, se consideró el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de Perforación Geotérmica Profunda El Tatio Fase I (2007) e información disponible en el CIREN, sustentada en el catastro de bosque realizado por CONAF.
- **Paisaje:** Para determinar unidades de paisaje en el área de estudio se consideró como base el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de Perforación Geotérmica Profunda EL Tatio Fase I (2007) y se analizó información bibliográfica sobre la temática.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

- **Amenazas naturales:** A partir de un análisis bibliográfico y una consulta a expertos sobre las amenazas naturales para el sector de El Tatio, se consideró el riesgo de remoción en masa como amenaza natural representativa. Para estos fines se utilizó la metodología propuesta por González de Vallejo et al. (2006), la cual plantea la consideración de tres elementos básicos: pendientes del terreno, caracterización cualitativa de estabilidad del terreno y existencia o ausencia de antiguas remociones en masa. El mapa de pendientes fué clasificado en las categorías de baja (<10%), baja-media (10-20%) y media-alta (>20%). A partir del segundo punto, se consideró la presencia de alteración hidrotermal. En cuanto al tercer punto, se contempló un análisis bibliográfico del área de estudio. A partir de esta información se generó una cartografía indicando las categorías de: estable, moderadamente estable e inestable.

3.2.2 Objetivo N°2

Usos actuales y planeados: Para analizar los usos actuales y planeados dentro del área de interés se consideraron tanto actores privados como públicos. La información correspondiente a los proyectos geotérmicos se obtuvo a partir de la Empresa Nacional de Geotermia (ENG). Con respecto a las actividades turísticas presentes en la zona se recurrió a información proveniente de la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI) y del Servicio Nacional de Turismo Chile (SERNATUR)

3.3.3 Objetivo N°3

La ejecución de la Evaluación Ambiental del Territorio se desarrolló a partir de la metodología cualitativa de Análisis de Riesgo Ecológico. En sus principios, esta metodología puede ser aplicada tanto para la evaluación ambiental del territorio en el contexto de la planificación ecológica (como se utilizó en esta investigación), como también en la evaluación de impacto ambiental (EIA) de proyectos y en la evaluación ambiental estratégica (EAE) de programas y planes.

Las principales características del Análisis de Riesgo Ecológico son (GORE et al. 2002):

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

- Se sustenta en un modelo conceptual que diferencia entre causa, efecto y componente afectado.
- La metodología fue creada para resolver situaciones de incertidumbre en las cuales no se cuenta con información irrefutable con respecto a relaciones causa-impacto.
- La metodología es de carácter cualitativo, aplicándose en la mayor parte de los casos una escala ordinal con los niveles: alto-medio-bajo.
- Las características de las componentes ambientales son evaluadas mediante niveles de sensibilidad: alta-media-baja. La sensibilidad es el producto entre la integración de la importancia ecológica de las componentes ambientales y su vulnerabilidad ante múltiples efectos, ambientalmente relevantes. Los efectos ambientalmente relevantes que determinan acciones, usos o actividades son estimados en tres niveles de intensidad potencial: alta-media-baja.

Mediante la escala ordinal de tres niveles, es posible una integración de la información sobre sensibilidad e intensidad potencial. El producto de esto corresponde al Riesgo Ecológico, expresado de la misma forma en tres niveles: alto-medio-bajo.

Para llevar a cabo el Análisis de Riesgo Ecológico es necesario primeramente llevar a cabo la Fase de Evaluación de Sensibilidad, la cual consta de tres etapas, visualizadas en el siguiente esquema.

Figura 2: Etapas de la Evaluación de Sensibilidad



Fuente: Elaboración propia

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Para realizar el cálculo de la Intensidad Potencia, Vulnerabilidad y Sensibilidad Ambiental, se consideró la siguiente ecuación:

$$I \text{ ó } V = [n(PC \times A)]/N^{\circ} \text{ de Criterios}$$

Donde: I ó V= Importancia Ecológica o Vulnerabilidad

PC: Ponderación del criterio (de 1-menor a 10-mayor ponderación o peso del criterio de cada componente ambiental)

A: Estado del criterio: Alto-3, Medio-2 o Bajo-1

La segunda etapa del Análisis de Riesgo Ecológico consistió en determinar la Evaluación de Intensidad Potencial de Efectos. Para esto, fue necesario considerar las características de los efectos ambientales de los usos, actividades u otro tipo de intervenciones sobre el territorio. Esto se representa mediante tres niveles cualitativos: alto-medio-bajo.

A partir de esto, los usos o actividades considerados para la evaluación de efectos potenciales fueron:

- **Zona de uso turístico exclusivo:** zona especialmente destinada y protegida para desarrollar la actividad recreacional como puede ser la contemplación del paisaje, la fotografía y recorrido del área con una infraestructura que facilite el acceso y la estadía de los visitantes.
- **Zona de conservación histórica patrimonial:** corresponde a las instalaciones del Ex Campamento CORFO, el camino y el área que conecta a los pozos de reinyección, todas ellas instalaciones que se construyeron en el marco del desarrollo y estudio del potencial geotérmico de la zona del Tatio en los años 70.
- **Zona de uso tecnológico e investigación:** zona destinada a la investigación de las estructuras geológicas de alto interés en el área de estudio, considerando las formaciones volcánicas, materiales, suelos, escurrimientos de lavas, investigación y desarrollo de actividades geotérmicas, entre otras actividades de interés científico destinada a la investigación.
- **Zona de uso mixto: industrial y equipamiento:** Esta se conforma por una vía de acceso principal, que es la ruta B-245 y las concesiones de explotación geotérmica vigentes.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Posteriormente se desarrolló la fase de Evaluación del Riesgo Ecológico, la cual es el resultado de la interacción entre la sensibilidad de los componentes ambientales y la intensidad potencial de los efectos de los usos y actividades actuales o proyectadas. La integración de estos elementos se llevó a cabo mediante una matriz de doble entrada, tal como la que se presenta en la siguiente figura (Fig. 3):

Figura 3: Matriz referencial de integración para obtener el Riesgo Ecológico

Usos		Intensidad potencial		
		ALTA	MEDIA	BAJO
Componente ambiental	ALTA	ALTO		
	MEDIA		MEDIO	
	BAJA			BAJO

Fuente: OTAS, 2002.

De esta manera, la matriz permitirá obtener como resultado el riesgo ecológico resultante de distintas combinaciones: Alto, Medio, Bajo y R.P, es decir, combinatoria donde se requiere evaluación cualitativa para determinar el riesgo ecológico en cada uno de los casos:

Las combinaciones que se considerarán son:

- Sensibilidad alta e intensidad potencial alta = riesgo ecológico alto
- Sensibilidad media e intensidad potencial media = riesgo ecológico medio
- Sensibilidad baja e intensidad potencial baja = riesgo ecológico bajo

3.3.4 Objetivo N°4

Para la realización de este objetivo fué necesario llevar a cado dos etapas metodológicas. La primera de ellas, consistió en establecer los Objetivos Ambientales Zonificados para los múltiples componentes ambientales (Fig.4). En segundo lugar, desarrollar cartas con los objetivos ambientales resultantes de la etapa anterior.

Figura 4: Matriz orientadora para identificar los Objetivos Ambientales Zonificados

EAT		Riesgo Ecológico		
		ALTO	MEDIA	BAJO
Componente ambiental				
	ALTA	R1	R1	P1
	MEDIA	R1	D1	P2
	BAJA	R2	D2	D2
R1:Recuperación primera prioridad R2:Recuperación segunda prioridad P1:Protección primera P2:Protección segunda prioridad D1:Desarrollo primera prioridad D2:Desarrollo segunda prioridad				

Fuente: GORE, 2012.

Los Objetivos Ambientales Zonificados fueron identificados entre:

- **Objetivos de Protección** (exclusión, preservación o conservación), orientados a mantener o asegurar determinada calidad o función ambiental; **Objetivos de Reparación** (rehabilitación o recuperación, direccionados en mejorar determinada calidad o función ambiental en deterioro) y **Objetivos de Desarrollo** (manejo), orientados a incrementar determinada calidad o función ambiental, la cual se considera de importancia fomentar.

Estos objetivos fueron desarrollados considerando los resultados de la evaluación ambiental del territorio de la etapa anterior de la investigación y a partir de la consulta a instituciones públicas y privadas con interés en el área de estudio. Las combinaciones de esta evaluación son:

3.3.5 Objetivo N°5

Para el desarrollo de la microzonificación ecológico ambiental final, se consideraron los resultados de la etapa anterior, lo cual permitió, junto al apoyo de análisis bibliográfico y consulta a expertos, establecer los usos de suelo recomendados y las restricciones correspondientes.

Las categorías que se consideraron se obtuvieron a partir del análisis de metodologías que utiliza CONAF para el establecimiento de zonificaciones en los planes de manejo de áreas protegidas. Las categorías a utilizar son:

- Zonas para la conservación, preservación e investigación del patrimonio ambiental.
- Zonas para la recreación, ecoturismo y educación ambiental.
- Zonas para la conservación de valores histórico-culturales.

Estos resultados fueron demostrados a partir de una definición de la categoría, caracterización, objetivos de manejo y posibles usos y restricciones.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

I. Etapa Inventario

4.1.1. Geología y vulcanología

Los primeros levantamientos geológicos extensivos realizados sobre el campo geotérmico El Tatio, fueron desarrollados por Healy (1974) y Lahsen (1976) en el contexto del proyecto para la exploración geotérmica efectuada por CORFO-ONU. Posteriormente, es posible detectar la compilación y revisión desarrollada en la Hoja Calama de escala 1:250.000 desarrollada por Marinovic y Lahsen (1984) y la actualización y revisión efectuada por Nocetti y otros (2002) a escala 1:50.000. Este último trabajo corresponde a un informe interno de la Empresa Geotérmica del Norte S.A. actualmente de propiedad de ENG.

4.1.2 Rocas estratificadas y depósitos sedimentarios

La Formación Purilactis (Kp; equivale a Fm. Lomas Negras de Lahsen y Marinovic, 1984) corresponde a la formación de mayor antigüedad cercana al área de estudio, la cual ha sido asignada al Cretácico superior – Terciario Inferior y está constituida por areniscas y conglomerados de origen continental. Esta formación aflora en la zona oeste de la cuenca de El Tatio, sobre el cañón del Río Salado.

Por otra parte, la Formación San Pedro (Msp) originaria en el Mioceno Inferior, surge en las topografías medias (aproximadamente 4.300 m.s.n.m), al oeste del Cerro Copacoya y del cordón que conforman el Cerro Negro, Cerro Alto de Cablor y la Serranía de Tucle. La formación está constituida por limolitas y areniscas tobáceas con gran cantidad de yeso y halita. Se encuentran fuertemente plegadas en ambas zonas de afloramiento, demostrando un efecto de deformación por fallamiento transgresivo activo a través del Mioceno-Plioceno.

Las Volcanitas pertenecientes al Mioceno Inferior (Volcanitas del Río Salado, Mrs) que surgen al oeste de la cuenca del Tatio, sobre la serranía de Tucle y a ambos costados de las nacientes del Río Salado, fueron escritas de manera informal por Lahsen (1969) y Yougman (1984) como una sola unidad (Serie Río Salado). Por otra parte, en las investigaciones de

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Marínovic y Lahsen (1984) aparecen divididas en dos: la subunidad superior de tobas soldadas, que se denomina como Ignimbrita Río Salado, y la subunidad inferior, principalmente compuesta de lavas y otros cuerpos volcánicos, llamada Unidad Volcanes 1.

A partir de las investigaciones realizadas por ENG (2007), en el marco de la investigación del potencial geotérmico en esta zona, las rocas son agrupadas en una sola unidad, considerando el criterio de Youngman (1984) y Nocetti y otros (2002). La potencia estimada por estos autores correspondería de 83 a 100 m y estaría constituida por tres horizontes con características petrográficas diferenciales: andesítico, ignimbrítico y tobaceo.

La Ignimbrita⁴ Sifón (Ms), correspondiente al Mioceno Medio (10-7.5 Ma), se constituye de una toba vítrea de reducido contenido cristalino (10%) conformado de cuarzo, plagioclasa, piroxeno y hornblenda, en una matriz fuertemente soldada. Surge a lo largo de la cima de la serranía Alto de Puripicar, Filo Puripicar y Cordón de Cablor, y al oeste del Cerro Colorado, en la serranía de Tucle.

La unidad Riolita Copacoya (Mv), del Mioceno Superior (7,35 Ma) se conforma de lavas de grano cristalino grueso con grandes fenocristales de plagioclasa, cuarzo, biotita y hornblenda (> 4 mm), además de apatita y opacos. Las rocas pertenecientes a esta unidad surgen en el Cerro Copacoya, localizado en la zona noroccidental del campo de Géiser de El Tatio.

La unidad Ignimbrita Puripicar (Plp), corresponde a afloramientos en la zona oeste y suroeste del área de estudio. Las rocas pertenecientes a esta unidad, de edad plioceno (4,24 Ma), presentan un porcentaje moderado de fenocristales (30%) consistentes en plagioclasa, hipersteno, hornblenda, biotita, apatita y opacos, dentro de una masa fundamental esferúlica soldada.

⁴Definición de ignimbrita: Considerando la definición de Cas y Wright (1992) en Oyarzun (2000), este concepto corresponde a una roca o depósito constituido a partir de un flujo piroclástico pumítico, independientemente de si se encuentra soldado o no. Los fragmentos pueden ser de tamaños muy diversos, con pómez y otras rocas flotando en una matriz de ceniza (Fuente Sitio web: http://www.aulados.net/Geologia_yacimientos/Rocas_piroclasticas/Rocas_Piroclasticas.pdf).

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

El Grupo Volcánico El Tatio (PIQv), está constituido por flujos de lavas dacíticas y andesíticas, viscosas, con buen desarrollo de lóbulos, y una textura porfídica con escasa masa fundamental. Por otra parte, existen en menor grado, tobas que presentan pómez como fragmentos angulosos en una matriz vítrea.

La unidad Ignimbrita Tatio (Qt), de edad pleistocena (<1 Ma) se conforma de tobas de color gris pálido vitro-cristalinas, con un contenido de fenocristales que varía entre bajo a moderado. Entre estos es posible encontrar cuarzo, plagioclasa, biotita y, en ocasiones hipersteno, en una matriz compacta, aunque no soldada de clastos tobáceos. La mayor distribución del afloramiento surge en la zona superior de la cuenca de los ríos De Jauna y Putana, en las faldas suroccidentales del volcán El Tatio y del Cerro La Torta. Presenta una potencia entre 76 a 99 m.

El Domo La Torta (Qlt), de edad Pleistoceno, corresponde a un domo de paredes empinadas constituido por lavas riolíticas, que alcanza una potencia entre los 200 a 350 m. Esta unidad abarca una superficie de 9 km² y según Marínovic y Lahsen (1984) se estima una edad < 1Ma. Sin embargo, a través de datación K-Ar se han obtenido edades entre 250 y 300 Ka (Sussman en Nocetti, 2002).

El Grupo Volcánico Tocorpuri (Qtt), está constituido por lavas jóvenes provenientes del volcán activo de Tocorpuri, localizado a 14 Km al sureste del área termal de El Tatio. El Tocorpuri está compuesto por flujos de lavas andesíticas y lavas piroclásticas por el sector Este, y por flujos de lavas de bloques de composición dacítica por la zona Oeste, revistiendo una zona del domo de La Torta y el sector oriente de los Cerros de El Tatio. Las lavas demuestran erosión glacial, mientras el volcán presenta su cráter destruido y erodado hacia el sector Oeste. Según González-Ferrán (1995), este domo corresponde a una erupción mono genética, que generó una gruesa lava domo riolítica con un volumen estimado en 4.7 km³. Probablemente corresponda a una erupción parásita relacionada al volcán Tocorpuri.

El material glacial más antiguo presenta detritos de las Volcanitas de Tucle, Ignimbrita Tatio, y de áreas alteradas de los Cerros El Tatio. Por otra parte, en la cuenca de El Tatio, se

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

encuentran Depósitos de Morrenas (Qm) del Pleistoceno, conformados por flujos combinados de múltiples tamaños, recubiertos por extensos bloques.

Según los autores que han realizado investigaciones en el área, han reconocido dos unidades sedimentarias jóvenes. La primera alude a arenas y gravas polimícticas no consolidadas, llamadas Depósitos Aluviales (Qal). En este conjunto se han agrupado sedimentos puramente aluviales y depósitos de ladera de tipo coluvial. La otra unidad corresponde a depósitos sedimentarios bien estratificados que se ubican hacia el fondo del valle de El Tatio y que encuentran conformados fundamentalmente por arenas y gravas (Qsiet).

4.1.3 Geiser del Tatio

El Campo de Géiser del Tatio, según Lahsen (1974, 1976) en González-Ferrán (1995), corresponde a un campo geotérmico, localizado en una depresión volcano-tectónica, conocido como “Graben de El Tatio”, de rumbo N-S, limitada al oeste por la serranía de Tucle, que impide el paso de los fluidos termales hacia el sector oeste. Al este se levanta la cadena volcánica Plio-Pleistocena. Las aguas de lluvia y de deshielo infiltradas desde la cadena volcánica, descienden hasta profundidades de casi un kilómetro, donde el calor geotermal de la actividad volcánica la calienta y eleva a través de fracturas en las rocas. Desde 1884 la actividad del campo no ha cambiado mayormente a nivel superficial. En 1956, Zeil (1959) en González-Ferrán (1995) dio la siguiente aproximación: 75 fumarolas, 62 vertientes calientes, 5 volcanes de barro, 40 géiseres y 13 solfataras.

La actividad termal superficial corresponde a una zona aproximada de 10 Km², e incluye géiseres, pozas de agua y barro hirvientes, fumarolas y vertientes. La temperatura máxima de estas fuentes alcanza los 86°C, correspondiente a la temperatura de ebullición a una altura promedio de 4.200 m.s.n.m. La generalidad de las manifestaciones termales se distribuyen a lo largo de las fracturas orientadas N-S, NW-SE y NW-SW; ellas dan origen al río Salado, cuyo caudal varía entre 250 y 500 lts/seg, de acuerdo con las variaciones estacionales. La pérdida de calor total del Tatio, determinada por métodos directos a partir de la descarga de agua, o bien mediante métodos geoquímicos, es del orden de 35-40 x 10⁶ Cal/seg. El agua termal de esta zona se constituye de una solución cercanamente neutra, cuyos fundamentales componentes son:

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

NaCl, KCl, CaCl₂, B, Li y Cs, con reducidas cantidades de CO₂ y H₂S (Cusicanqui et al, 1976 en González-Ferrán, 1995).

El principal acuífero detectado presenta una temperatura de 265°C y se localiza entre los 750 y 900 m de profundidad, en la zona oriental del Tatio. Los acuíferos más cercanos a la superficie presentan temperaturas que fluctúan entre 160° y 230°C. Según Lahsen y Trujillo (1975) en González-Ferrán (1995) a esa fecha había tres pozos en construcción, los cuales entregaban un total de 550 l/h de agua caliente, con aproximadamente un 15% de vapor utilizable. En conjunto, estos pozos eran suficientes para sustentar una planta geotermoeléctrica de 18 MW. Considerando que la zona ocupada por estos pozos productivos, equivale aproximadamente a un décimo del total del sistema geotérmico se puede estimar como posible una potencia energética total de 100 MW en el Tatio.

4.1.4 Volcanes

1. Volcán del Tatio: Se trata de un estrato-volcán conformado por flujos de lavas dacíticas de hornblenda y biotita y andesitas de piroxenas. Presenta un cráter de 0.5 x 0.7 Km, abierto hacia el sector suroeste, por el cual escurrió un flujo de piroclastos de edad relativamente reciente. Se encuentra en el extremo suroeste del cordón volcánico que se extiende por unos 10 Km desde el Volcán Deslinde. Este centro volcánico se encuentra asociado con la “Ignimbrita Tatio”, cuya edad potasio argón es menor de un millón de años. (González-Ferrán, 1964, 1972; Lahsen y Munizaga, 1979; Marinovic y Lahsen, 1984, en González-Ferrán, 1995).

2. Volcán Tocarpori: Corresponde a un estrato-volcán compuesto, con un complejo edificio conformado al menos por seis centros eruptivos, localizados al noroeste del cráter principal, controlado por una fractura del rumbo N 40°W. Su edad se estima Pleistocena-Holocena. (González-Ferrán, 1967, 1972, Deruelle, 1979 b. Marinovic y Lahsen, 1984, en González-Ferrán, 1995).

En la siguiente tabla se presenta una síntesis de las unidades geológico-volcánicas previamente descritas, agrupadas en unidades de análisis (Tabla N°1)

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Tabla 1: Resumen de unidades estratigráficas presentes en el área de estudio:

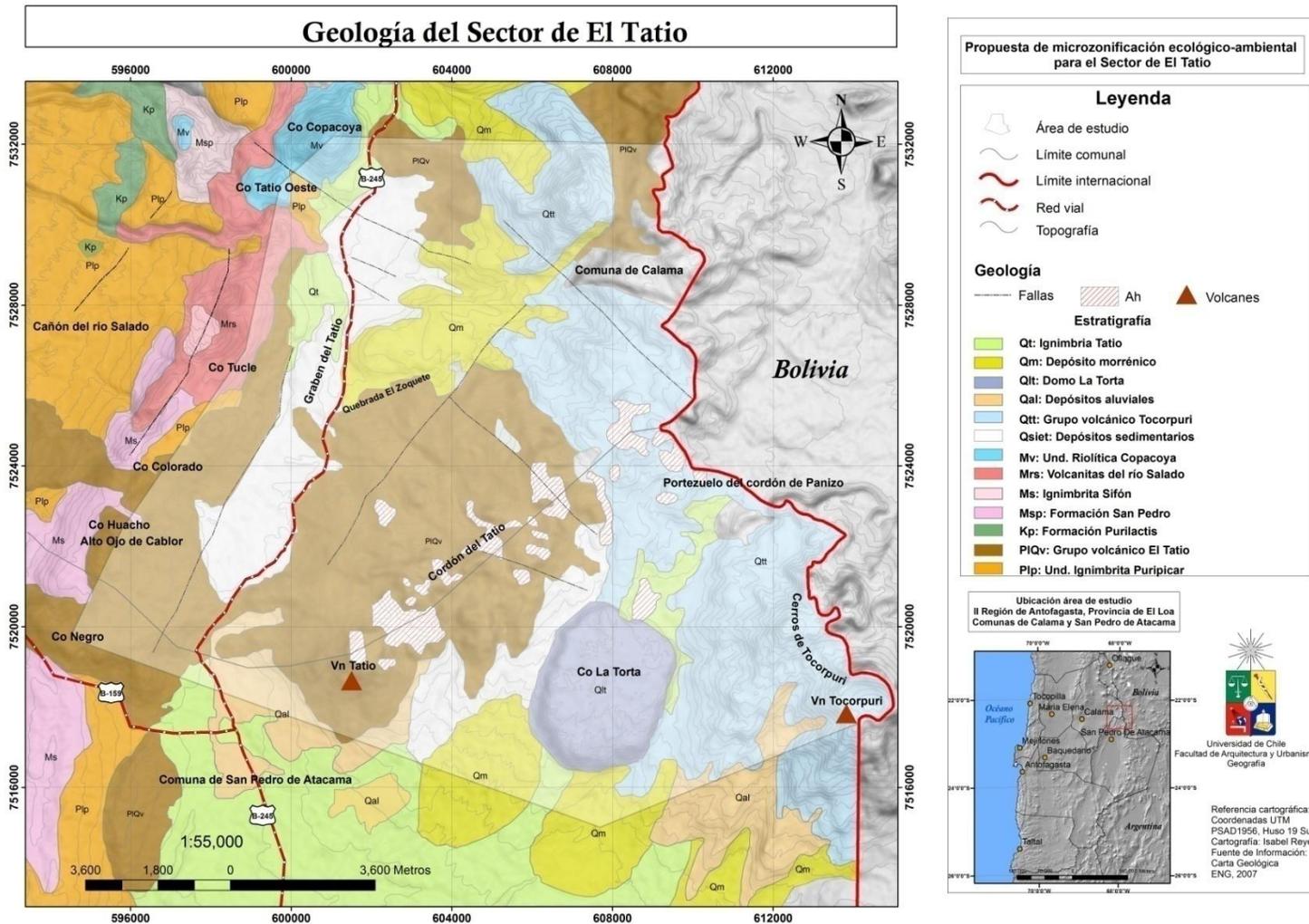
Unidades geológicas de análisis	Unidades estratigráficas	Descripción
1. Unidad volcánica cuaternaria.	PIQv, Qtt, Qlt y Qt.	Unidad compuesta por el grupo volcánico de Tocarपुरi y El Tatio, y por las unidades asociadas a los aparatos volcánicos, como La Torta e Ignimbrita Tatio.
2. Unidad depósitos morrénicos, sedimentarios y aluviales.	Qal, Qsiet y Qm.	Unidad constituida de múltiples tipos de depósitos: morrénicos (flujos combinados de variados tamaños, recubiertos por extensos bloques), aluviales (sedimentos puramente aluviales y depósitos de ladera de tipo coluvial) y sedimentarios (depósitos bien estratificados conformados fundamentalmente por arenas y gravas).
3. Unidad Géiser del Tatio.	Campo de geiser de El Tatio.	Campo geotérmico, localizado en una depresión volcánico tectónica, conocido como “Graben El Tatio”. Las aguas de lluvia y de deshielo infiltradas desde la cadena volcánica, descienden hasta profundidades de casi un kilómetro, donde el calor geotermal de la actividad volcánica la calienta y eleva a través de fracturas en las rocas.
4. Unidad Riolítica Copacoya, Volcanitas del río Salado e Ignimbrita Puripicar.	Mv, Plp y Mrs.	Otras unidades estratigráficas.

Fuente: Elaboración propia a partir de Nocetti y otros (2002).

Las unidades estratigráficas que se encuentran dentro de área de estudio son: Qt, Qm, Qlt, Qal, Qtt, Qsiet, Mv, Mrs, PIQv y Plp, mientras que las unidades Msp, Ms y Kp se presentan a modo de contextualizar el área de estudio. En la figura a continuación (Fig.7), se muestran las unidades estratigráficas en el sector de El Tatio, para lo cual se consideró como fuente de información el mapa geológico desarrollado por ENG en el marco del Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Perforación Geotérmica Profunda El Tatio, Fase I (2007).

Propuesta de microzonificación ecológica ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 5: Clasificación Geológica del Sector de El Tatio



4.2 Geomorfología

4.2.1 Contexto geomorfológico del área de estudio

Considerando los aspectos geomorfológicos según Borgel (1989), el sector de El Tatio se inserta dentro de la unidad geomorfológica con rasgos macro estructurales semejantes que constituyen las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama, denominada “Región septentrional de las pampas desérticas y cordilleras prealtiplánicas”. Dentro de esta zona, se presenta una variación transicional del desierto, la cual es significativa a un mayor nivel de detalle. Ante esto, dentro de esta amplia agrupación regional, el área de interés se ubica dentro de “La cordillera pre altiplánica”.

En términos generales, estas cordilleras se caracterizan por su gran altura, el carácter volcánico de que están revestidas, anegadas en sus propios derrames lávicos, por la persistencia de la nieve y hielo en sus cumbres y por constituir un verdadero biombo climático para las masas de aire que provienen de la cuenca amazónica (Borgel, 1989).

En general, los cordones prealtiplánicos experimentan un intenso anegamiento por materiales de volcanismo terciario y del cuaternario antiguo y medio. El estompado que experimentan algunos sectores de estos cordones se debe a un más acusado efecto de sepultación por cenizas y detritos volcánicos. Las unidades morfoestructurales que se localizan en el área de interés corresponden a los principales bloques tectónicos establecidos en la etapa terminal del ciclo tectónico andino (Borgel, 1989).

Dentro de la definición de unidades morfológicas mayores para la Hoja Calama, realizada por Marínovic y Lahsen (1984), el área de estudio se encuentra emplazada en la unidad denominada Cordillera de los Andes. Dicha unidad está constituida por una cadena volcánica de orientación norte-sur a noroeste, encontrándose además entre los volcanes, pequeñas planicies y cuencas intramontanas.

4.2.2 Formas volcánicas cuaternarias

Los relieves volcánicos cuaternarios, los de mayor altura y continuidad topográfica, conforman el principal centro de acumulación y reserva de agua en la II Región de Antofagasta, así como también en el área de estudio, apreciándose en sus cumbres superiores a 5.000 m.s.n.m la persistencia de nieves (IREN-CORFO, 1976).

Estas formas cuaternarias, poseen una morfología simple, a pesar de su gran extensión, debido a que corresponde a los resultados morfológicos derivados de un mismo tipo de proceso, que es el volcanismo central (IREN-CORFO, 1976).

Los relieves dominantes dentro del área de estudio lo constituyen cordones montañosos y laderas lávicas y piroclásticas, derivados de un cúmulo de grandes aparatos volcánicos, levemente separado hacia el oeste de la línea de centros eruptivos por los cuales se traza la línea de frontera entre los territorios nacionales de Chile y Bolivia. En el sector sur del área de estudio, se reconoce el cordón de Cerros El Tatio (Fig. 8), el cual posee un trazado general noreste y alturas máximas que promedian los 5240 m.s.n.m. Los aparatos volcánicos son en su mayoría de tipo estratovolcanes, edificados en rocas volcánicas y en piroclastos de composición andesítica a riolítica.

La morfología de laderas y quebradas por las cuales escurre la red hídrica local, ha sido modelada tanto por la acción glacial como fluvial. Entre los modelados glaciales, debido a que corresponden a una morfogénesis inactiva (no existen glaciares activos próximos a la zona de estudio), sólo es posible distinguir formas derivadas tales como laderas escarpadas y superficies subhorizontales onduladas. Las primeras posiblemente corresponden a antiguos valles en U y las planicies sub-horizontales, son área cubiertas por depósitos morrénicos y por sedimentos aluviales cuaternarios

En la actualidad, la geodinámica se encuentra relacionada principalmente a la acción erosiva de los cursos de agua, que transportan materiales finos hacia los sectores bajos de la cuenca, a excepción de periodos de crecidas en que el aumento notable del caudal presenta

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

energía para transportar grandes cantidades de material de diferente tamaño, mediante los mecanismos de reptación, saltación y suspensión.

Por otra parte, agentes como el viento remodelan el paisaje actual, siendo de gran relevancia el proceso de deflación, que genera el transporte de material fino, así como también el proceso de corrosión que desgasta a las rocas expuestas.

En la siguiente figura, se presenta una imagen panorámica con las principales alturas del área de estudio, en donde, de oeste a este se aprecia el volcán Tatio, cerros del Tatio, domo La Torta y el volcán Tocopuri (Fig. 6).

Figura 6: Imagen panorámica del área de estudio



Fuente: <http://www.flickr.com/photos/gerardprins/4381500964/in/photostream/>

4.2.3 Actividad geotérmica

A partir de lo establecido en el Inventario de Recursos Naturales para la II Región de Antofagasta (IREN-CORFO, 1976), la actividad geotérmica se encuentra ubicada principalmente en el Graben de El Tatio⁵⁵ (Fig. 7), limitando al Oeste por el Horst de Tucle (aprox. 4500 msnm) y al Este por la Cordillera volcánica de Cerros del Tatio (aprox. 5000 msnm). Las fuentes de agua caliente se localizan sobre una gran superficie de coladas de bloques y depósitos aluviovolcánicos en la zona inferior. Hacia el área sur del graben se presenta una secuencia de sedimentos intermontanos, tales como arenas y gravas dacíticas.

Lahsen (1974) en IREN-CORFO (1976) ha esquematizado la circulación subterránea de la actividad geotérmica como dos corrientes superpuestas que entran en contacto en la zona de descarga. Una corriente superior y fría, derivada de la infiltración de los relieves cuaternarios, y

⁵⁵ Relieve estructural.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

otra corriente inferior, calentada a través de circulación profunda, la cual se desplaza por planos de fractura que afectan tanto el basamento mesozoico, como las formaciones suprayacentes. Estas aguas se calentarían mediante el escurrimiento cercano a las cámaras magmáticas. En esta zona tiene su origen el Río Salado, con la confluencia de diversos cursos fluviales menores.

Figura 7: Cuenca intramontana del Tatio, sector Géiser del Tatio



Fuente: Archivo propio

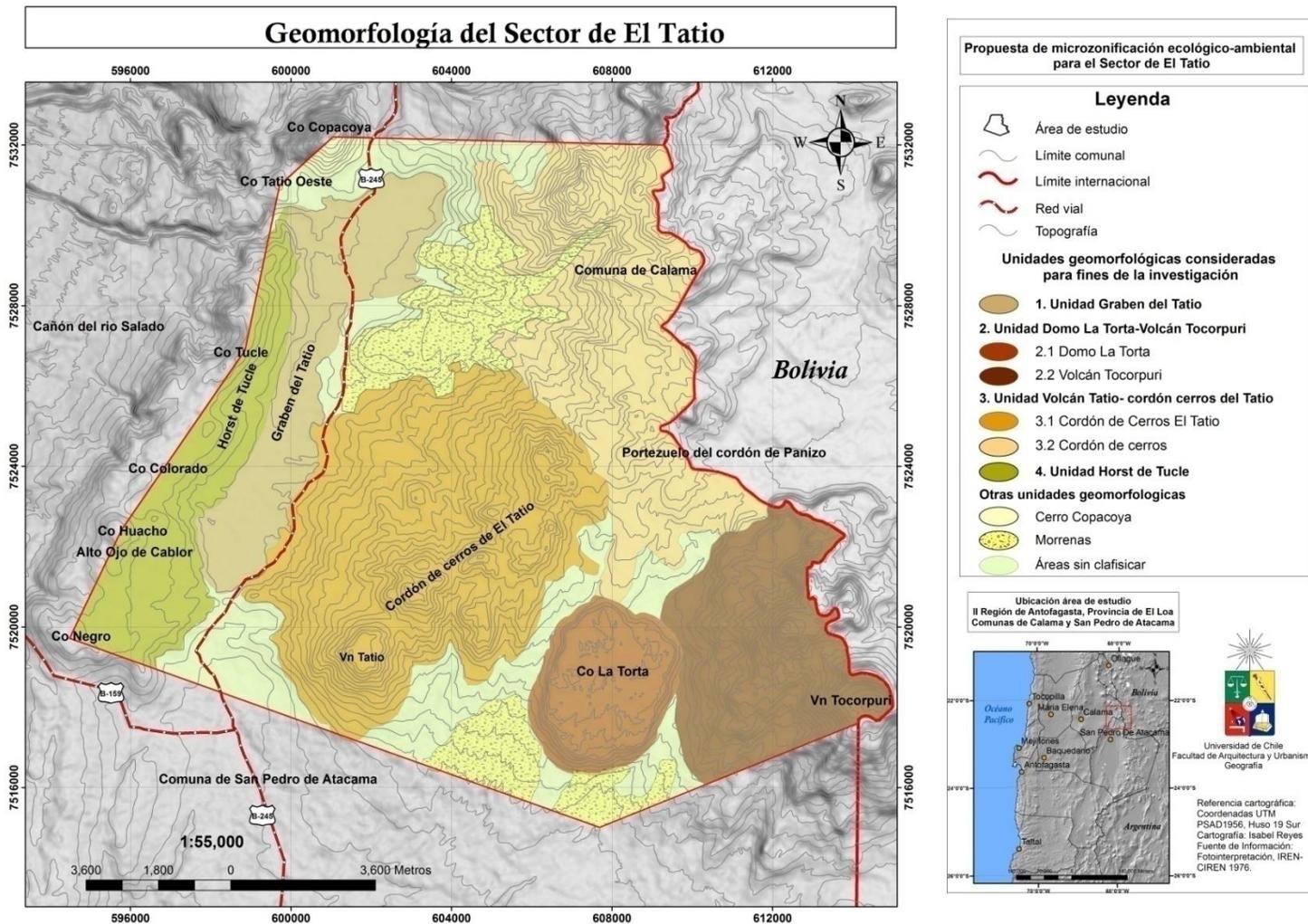
4.2.4 Unidades geomorfológicas

A continuación se presenta una cartografía con las unidades geomorfológicas consideradas para fines de esta investigación (Fig.8), las cuales son: Unidad Graben El Tatio, Unidad Domo La Torta-volcán Tocorpuri, Unidad volcán Tatio-cordón cerros del Tatio y Unidad Horst de Tucle

Para la elaboración de esta cartografía se considera la Carta Geomorfológica IREN-CORFO 1976 e información del Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Perforación Geotérmica Profunda El Tatio, Fase I (2007) y fotointerpretación de imagen Landsat (Google Earth 2012).

Propuesta de microzonificación ecológica ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 8: Geomorfología para el sector de El Tatio



4.3 Suelos

4.3.1 Contexto edafológico del área de estudio

Considerando la base de unidades cartográficas identificadas por Luzio y Alcayaga (1992), el área de estudio se encuentra inserta dentro de la clasificación de suelos de desiertos (ubicados en la I, II y III Región).

En la zona del Altiplano, donde se localiza el área de estudio, existen suelos sin desarrollo, de texturas gruesas y muy delgadas y suelos poco evolucionados derivados de materiales volcánicos. En el área de la alta cordillera (por sobre los 3.000 m de altitud) se encuentran bofedales cuyos suelos son orgánicos (Histosoles) o minerales, muy estratificados, con altos contenidos de materia orgánica y alta salinidad (Luzio et al, 1992).

Los Histosoles, corresponden a suelos orgánicos en los cuales los residuos vegetales se encuentran en diferentes grados de descomposición. Con un adecuado sistema de drenaje esos suelos pueden ser muy productivos, fundamentalmente para el cultivo de hortalizas. Previo a llevar a cabo un drenaje es conveniente hacer una evaluación de sus propiedades químicas y físicas, ya que podría resultar inadecuado en algunos casos (Luzio, 1997).

Considerando la clasificación de suelos FAO, el área de estudio se encuentra inserta en la categoría de Alisols vítricos.

Los alisoles son aquellos suelos que presentan un mayor contenido de arcilla en el subsuelo superficial producto de procesos pedogenéticos (principalmente migración de arcillas) llevando a un horizonte subsuperficial árgico. También se caracterizan por tener una baja saturación con bases a ciertas profundidades y arcillas de alta actividad en todo el horizonte árgico.

Algunas de sus características son:

Connotación: Son suelos de baja saturación con bases en alguna profundidad.

Materia parental: En una variedad amplia de materiales parentales. La mayor parte de los suelos Alisoles registrados hasta ahora se presentan sobre productos de meteorización de rocas básicas y materiales no consolidados.

Ambiente: Se presentan principalmente en topografía con colinas onduladas, en clima tropical húmedo, subtropical húmedo y monsónico.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Desarrollo del perfil: Se caracteriza por presentar una diferenciación pedogenética del contenido de arcilla con un contenido menor en el subsuelo superficial y mayor en el subsuelo. Además se presenta un lavado de cationes básicos producto del ambiente húmedo sin meteorización avanzada de arcillas de alta actividad.

Manejo y uso: Los Alisoles se desarrollan principalmente en topografías con colinas u onduladas. El suelo superficial, mayormente inestables en esta categoría de suelos, los hace susceptibles a la erosión, son bastante recurrentes los suelos truncados. Los niveles tóxicos de Al a poca profundidad y pobre fertilidad natural del suelo son restricciones adicionales de muchos Alisoles. Producto de esto, muchos de ellos sólo permiten desarrollar cultivos de raíces superficiales y los cultivos sufren de stress hídrico en la estación seca. Es recurrente que el uso sea de cultivos tolerantes a acidez o el pastoreo de bajo volumen. La productividad de estos suelos en agricultura de subsistencia generalmente es baja ya que estos suelos tienen una capacidad de recuperación limitada frente al agotamiento químico.

Según datos de CIREN, Para la II Región de Antofagasta existe una superficie actual de suelos erosionados (erosión ligera, moderada, severa y muy severa) de 10,2 millones de hectáreas, lo cual corresponde al 82% de la superficie regional. Sin embargo, gran parte de la superficie (mayor al 98%), principalmente hacia la cordillera de los Andes, ha sido afectada durante milenios por procesos de erosión de origen geológico.

El riesgo actual y potencial de erosión hídrica que prevalece es bajo, por cuanto las precipitaciones medias anuales son casi nulas y la agresividad climática es muy baja en gran parte de la región.

4.3.2 Grado de erosión para el sector de El Tatio (CIREN, 2010).

Considerando el área de estudio, es posible identificar diversas categorías de erosión, las cuales son:

- **Erosión severa:** corresponde a un suelo que presenta ocasionalmente surcos y cárcavas. La unidad presenta entre un 30 a 60% de la superficie con subsuelo visible, con pedestales o pavimentos. La pérdida de suelo es del orden del 60 80%. Hay presencia de zanjas con un distanciamiento media de 10 a 20 metros.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

- **Erosión muy severa:** corresponden a unidades de suelo no apropiadas para cultivos por cuanto se ha destruido el suelo en más de un 60% de la superficie. El subsuelo se presenta a la vista y el material de origen en más de un 60% de la superficie. Existe una presencia de pedestales o pavimento en más del 60% de la superficie. Existe una pérdida del suelo superior al 80% del suelo original. Presencia de cárcavas con distanciamiento medio entre 5 a 10 metros.
- **Erosión moderada:** se define como un suelo que tiene clara presencia del subsuelo en al menos el 30% de la superficie de la unidad en estudio (Unidad cartográfica homogénea, UCH). Existe presencia de pedestales o pavimentos de erosión al menos el 30% de la superficie. El suelo originalmente se ha perdido entre 40 a 60%. Existe presencia ocasional de surcos o canalículos.
- **Erosión ligera:** corresponde a un tipo de suelo ligeramente inclinado y ondulado o con cobertura de vegetación nativa semi-densa (mayor a 50% y menor a 75%), la cual se encuentra levemente alterado el espesor y carácter del horizonte. En la mayoría de los casos, el manejo de este tipo de suelos no es diferente a los suelos sin erosión.
- **Sin erosión:** alude a superficie de suelos que no presentan alteraciones o signos de pérdida de suelo o se encuentran protegidos de los agentes erosivos, como la lluvia, el viento o gravedad, por algún tipo de cubierta vegetal. Corresponden en términos generales a suelos planiformes o depositacionales.
- **Sin grado de erosión determinado:** Litosoles y Regosoles.

De estas categorías de erosión de suelos, la que se presenta con mayor extensión dentro del área de estudio corresponden a “sin grado de erosión determinado”, unidad que no presenta características de desarrollo de suelo (litosoles y regosoles). En segundo lugar, la categoría de erosión severa se presenta en la zona que rodea el Graben del Tatio, constituida de cerros.

Una zona de gran importancia dentro de la clasificación de suelos, es representada a partir de las zonas de vegas, las cuales se desarrollan por sobre las acuíferos, permitiendo el desarrollo de vegetación de tipo Azonal. Esta zona dentro del área de estudio presenta la categoría de “erosión

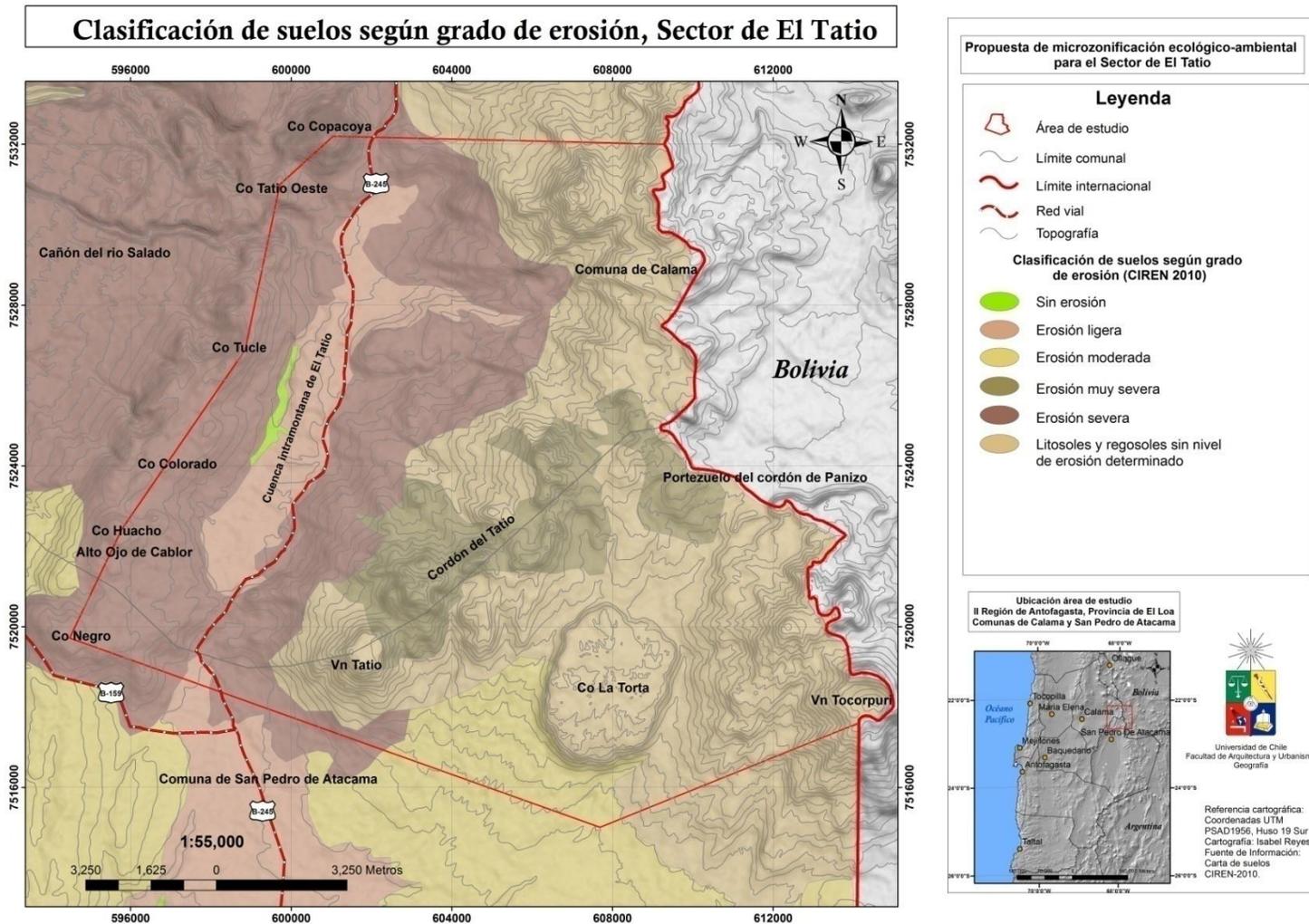
Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

ligera”. En el caso particular de la Vega de El Tatio, se presenta la clasificación de “sin erosión”, lo cual se condice con la escasa o nula intervención humana en este sector. Por último, es posible detecta la categoría de “erosión muy severa”, la cual se distribuye por sobre el sector de cerros del Tatio.

Considerando que el área de estudio no presenta una clasificación de categorías de suelo a un mayor nivel de detalle, la generación de unidades homogéneas se realizó a partir del criterio de erosión actual. A continuación se presenta la cartografía de delimitación de unidades homogéneas a partir del criterio de grados de erosión basado en información de CIREN (2010) (Fig. 9).

Propuesta de microzonificación ecológica ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 9: Clasificación del grado de erosión para el sector de El Tatio



4.4 Clima

4.4.1 Características generales

A partir de la clasificación climática de Köeppen (1936), la II Región de Antofagasta se encuentra inserta dentro de la zona correspondiente al clima árido (BWk). Las condiciones climáticas en esta región se caracterizan por presentar una marcada aridez y escasez de agua. Esta situación, en combinación con la escasa vegetación existente, define un paisaje natural denominado Desierto de Atacama. El principal factor que controla la vegetación en este tipo de clima no es la temperatura, sino que la sequedad. La aridez no corresponde únicamente a las precipitaciones, sino que también con las pérdidas de agua del suelo por evaporación.

Por sobre los 3.500 m.s.n.m., altura sobre la que se emplaza el área de estudio, se presenta la región climática de Estepa de altura, lo cual corresponde a la zona altiplánica o puna. En esta zona, el efecto de la altura es dominante sobre el clima, la temperatura es baja, el aire es seco y de una densidad relativamente reducida comparada con las condiciones a nivel del mar. Las temperaturas mínimas diarias son en general inferiores a 0°C durante el periodo de invierno. Las precipitaciones se concentran en el verano (diciembre a marzo) cuando llegan a la zona masas de aire húmedas originadas en la cuenca amazónica. Este fenómeno se identifica como “invierno altiplánico” y particularmente en Chile como “invierno boliviano”. En esta región, las precipitaciones, a diferencia de las lluvias relacionadas a sistemas frontales, se asocian a la formación de nubosidad cumuliforme durante la tarde, cuando el calentamiento del suelo favorece el desarrollo de movimientos ascendentes. La vegetación de esta región climática es de tipo matorral, la cual se adapta a las extremas condiciones térmicas del Altiplano⁶.

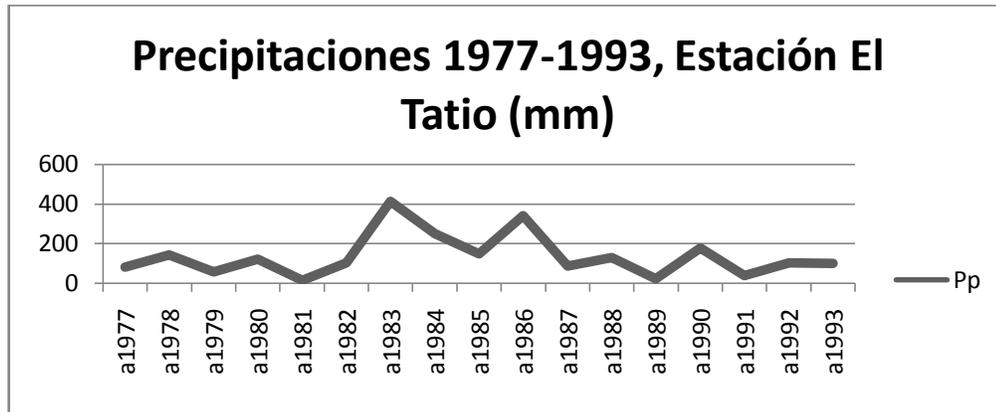
A medida que se avanza hacia la zona sur del altiplano de la Región de Antofagasta, las lluvias de verano empiezan a decrecer y a mayor altura predominan las precipitaciones de tipo sólido. Por sobre los 5.700 m.s.n.m, las bajas temperaturas hacen que las nieves sean eternas, caracterizando las principales alturas de la región.

⁶ Datos provenientes del sitio web: http://www.atmosfera.cl/HTML/temas/temas_02.html (Departamento de Geofísica Universidad de Chile).

4.4.2 Precipitaciones locales

A continuación se exponen las precipitaciones mensuales de la estación El Tatio en un margen de tiempo de 16 años (Fig. 10)

Figura 10: Precipitaciones mensuales (mm) medidas en estación de El Tatio



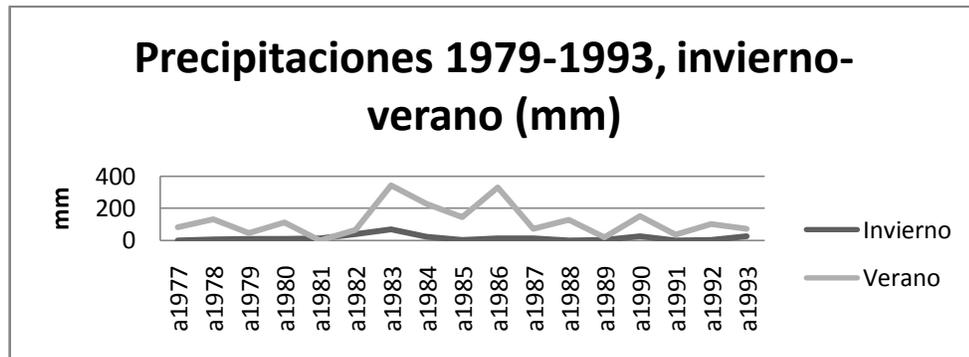
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de EIA, Proyecto “Perforación Geotérmica Profunda El Tatio, Fase I”, 2007.

A partir del gráfico anterior, es posible determinar que las precipitaciones en el Sector de El Tatio han presentado variaciones significativas durante el periodo de los datos. Como primer punto a destacar, se observa que en general el monto de precipitaciones es bajo, con un promedio de 137 mm anuales, lo cual se asocia a las condiciones de desierto que se presentan en este sector.

En segundo lugar, se registran años con precipitaciones que han duplicado o triplicado el promedio (1983 y 1986), mientras que otros marcadamente por bajo este (1981, 1989, 1991).

A continuación se presentan las variaciones de precipitaciones del mismo periodo de tiempo (1979-1993), diferenciados en periodo de invierno y estival (Fig. 11).

Figura 11: Variaciones de las precipitaciones durante el periodo 1979-1993, diferenciadas en invierno y verano.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de EIA, Proyecto “Perforación Geotérmica Profunda El Tatio, Fase I”, 2007.

Al analizar el gráfico anterior se aprecia que las precipitaciones durante el periodo 1979-1993 se concentran mayormente durante el periodo estival, siendo las precipitaciones en invierno escasas o nulas. Esta distribución estacional de la lluvia es característica de las condiciones climáticas de la zona del altiplano chileno.

4.4.3 Calidad del aire

Para el sector del El Tatio no se dispone de mediciones de calidad de aire. Sin embargo, se estima que existan bajas concentraciones de material particulado y gases, producto de la existencia de fuentes móviles destinadas a la actividad turística (ENG, 2007).

Por otra parte, el campo de geiseres del Tatio constituye una fuente natural de emisión de gases tales como ácido sulfhídrico (H_2S) y dióxido de azufre (SO_2) (ENG, 2007), como podría esperarse.

4.4.4 Efectos del cambio climático en el sector de El Tatio

El territorio que comprende el área de estudio, al igual que el resto del país, se encuentra afectado por las variaciones climáticas que se han comenzado a presentar en los últimos años y

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

que tendrían su origen en la acumulación de calor en las masas de aire, lo que causa el denominado “efecto invernadero” como resultado del calentamiento global.

En los últimos años, esta situación ha venido impidiendo la formación de neviza y la conservación de hielo en las altas cumbres, lo que puede generar un aumento en las precipitaciones líquidas en zonas de altura, con el consiguiente incremento del área aportante y mayor sequía posterior. Este fenómeno podría disminuir la capacidad de las altas cumbres de actuar como reservorio natural de agua para su posterior utilización en la temporada estival, con lo cual se arriesga el poder contar con este recurso en época en que se incrementa la demanda del sistema natural y antrópico por el aumento de la temperatura (Actualización Plan Regulador Calama, s/a).

4.4.5 Unidades climáticas de análisis

La delimitación de unidades homogéneas para la variable de clima se realiza considerando las isoyetas, producto de la importancia que presentan las precipitaciones a raíz de la problemática de escasez de agua. Las unidades climáticas resultantes para fines de esta investigación son:

- **Unidad altas cumbres:** este sector, ubicado por sobre el volcán Tocopuri, domo La Torta y cerros del Tatio, se caracteriza por presentarse sobre la isoyeta de 250 mm. En esta zona es donde se produce la mayor concentración de precipitaciones (recarga de acuíferos)
- **Unidad cerros- cuenca sector sur:** Sector ubicado entre las isoyetas 250 y 200 mm. Esta unidad se presenta por sobre el sector sur del Graben del Tatio, volcán El Tatio y parte de los cerros del Tatio. Dentro de esta zona se localiza la estación meteorológica El Tatio. Por este sector se presenta una evapotranspiración real de 200 mm/año y existe una marcada amplitud térmica.
- **Unidad cuenca sector norte:** Esta unidad se ubica por sobre el sector de los Géiser del Tatio. Se caracteriza por localizarse entre las isoyetas de 150 y 200 mm. Al igual que el

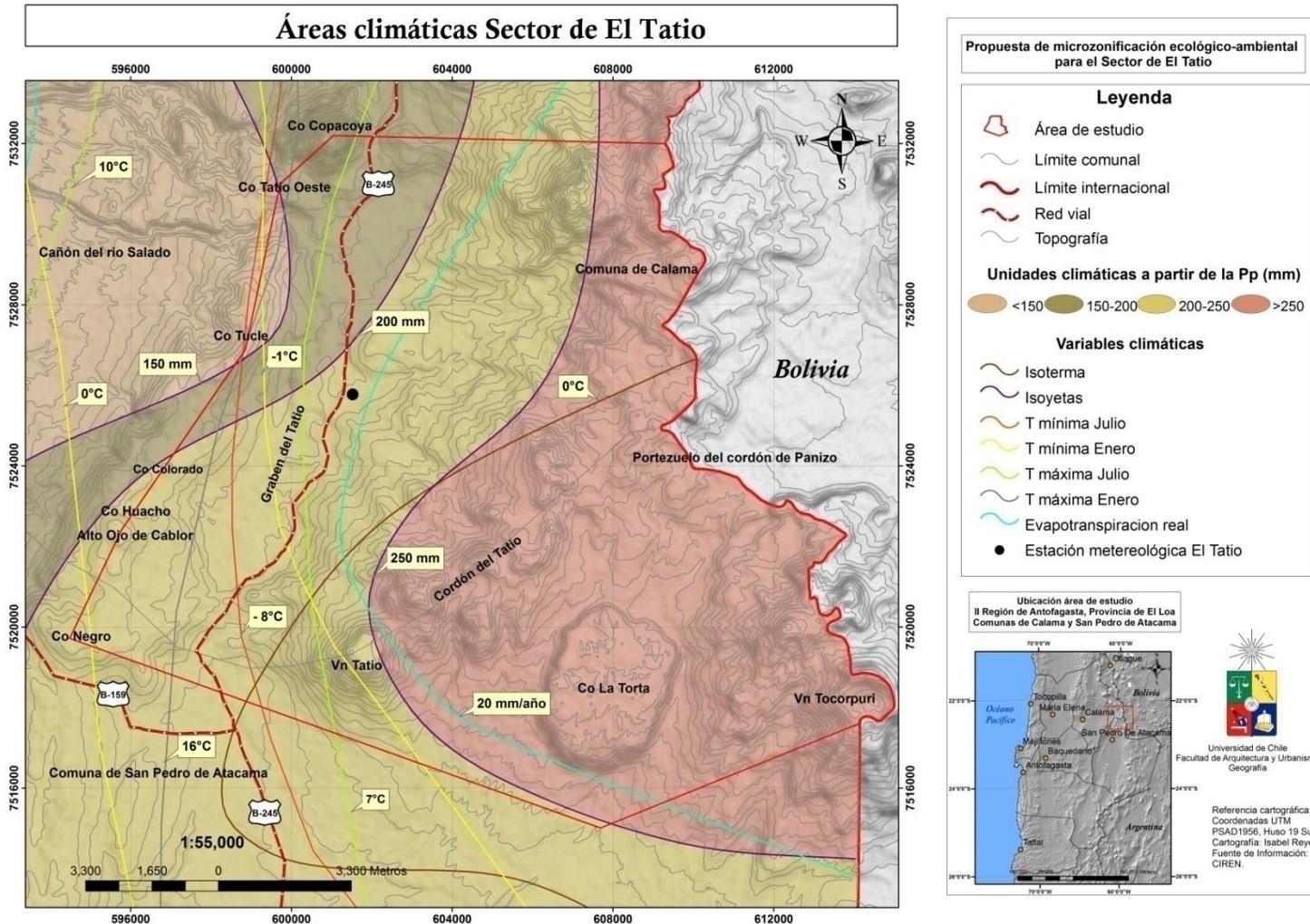
Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

área anterior, también presenta una marcada amplitud térmica, condicionando la presencia de fumarolas en la zona de los Géiser.

En la siguiente figura (Fig. 12), se presenta la cartografía que delimita las unidades climáticas de análisis. La información de variables climáticas se obtiene a partir de datos climáticos provenientes de CIREN (2010), en el marco del “Sistema de información territorial de humedales altoandinos”:

Propuesta de microzonificación ecológica ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 12: Divisiones climáticas para el sector de El Tatio



4.5 Hidrología

4.1 Aguas superficiales

En términos generales, los recursos de agua pertenecientes a la II Región de Antofagasta se encuentran en las cuencas ubicadas entre la Precordillera y la Cordillera de los Andes, conformando tanto glaciares en las altas cumbres como salares, lagunas, bofedales y algunos cursos de agua, pero fundamentalmente como agua subterránea. El agua proveniente de los deshielos cordilleranos, luego de infiltrarse, surge como vertientes para alimentar quebradas y ríos (Actualización Plan Regulador Calama, s/a).

El área de interés de esta investigación se encuentra inserta en la zona de recarga efectiva que se conforma por las cabeceras de las sub-cuencas del río Loa y del Salar de Atacama, a través de una red de cauces menores.

Los escasos montos de las precipitaciones registradas en el sector andino así como su alta concentración estacional condiciona, en términos generales, el nivel de esorrentía a lo largo de la red de drenaje, lo cual produce que mucho de los drenes se activen exclusivamente cuando se originan tormentas ocasionales en el periodo estival.

El río Salado, tributario del río Loa, se origina en los Géisers del Tatio, a aproximadamente 4.200 m.s.n.m. Sus aguas escurren principalmente sobre rocas ignimbríticas, hasta confluir con el río Loa, luego de recorrer 80 km aguas abajo en dirección poniente.

Su hoya hidrográfica es de 2.210 km². En la zona en que se origina recibe el aporte del río Tatio, mientras que en su tramo medio es alimentado por el Río Toconce unido con el Río Hojalar y Caspana. En el sector medio recibe aportes de aguas subterráneas, concediendo al Río Loa un caudal de 650 lts/seg. Entre sus características destaca la salinidad de sus aguas producto principalmente a sus orígenes en los Géiser del Tatio.

Por otra parte, en el área de estudio es posible identificar una red semi-organizada conformada por cauces de drenaje estacional, los que nacen en los Cerros del Tatio y Cerro La Torta, cuyas aguas alimentan esporádicamente los cursos de los ríos Jauna y Tocopuri, ambos tributarios del Río Grande, el que en conjunto con otros afluentes originan al Río San Pedro, tributario del Salar de Atacama.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

La “Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográfica” (2007), ha identificado una serie de problemáticas asociadas al recurso hídrico para la región en que se encuentra inserta el área de estudio, destacando: riesgos de déficit de agua para el consumo humano, conflictos por derechos de agua entre comunidades indígenas y actividades productivas, conflictos por extracciones ilegales y aprovechamiento ineficiente del recurso por distintas actividades económicas, conflictos entre el desarrollo de ciertas actividades económicas que demandan realizar extracción de agua al interior de áreas protegidas, avance de los procesos de erosión y desertificación asociados en parte importante a actividades antrópicas y contaminación de las aguas.

Si bien el recurso hídrico de la Región presenta problemas con respecto a la calidad de las aguas producto de la contaminación natural (como resultado de la alta presencia de metales) y de la contaminación antropogénica (consecuencia de los residuos de las actividades mineras), el mayor conflicto respecto a este recurso alude a su escasez.

Según proyecciones a 25 años elaboradas por la DGA en el 2007, los sectores de la minería y la industria incrementarían su participación en el consumo de agua (de un 68% a un 74% y de un 6% a un 9% respectivamente), mientras el uso de agua potable se mantendría en un 4%.

La Estrategia Regional de Desarrollo 2009-2020 para la región de Antofagasta plantea, respecto a los recursos hídricos de la región, que la satisfacción de su demanda se encuentra en abierto conflicto con la sustentabilidad ambiental, situación que se agudiza si se contemplan las demandas futuras.

4.5.2 Aguas subterráneas

4.5.3 Hidrogeología

A través de diversas técnicas desarrolladas principalmente durante los trabajos de perforación y ensayos en los pozos construidos en la década del 70, ENG (2007) ha identificado tres unidades hidrogeológicas permeables en el área de estudio:

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

1. La unidad superior constituida por las dacitas de Tucle;
2. Una unidad intermedia conformada por la Ignimbrita Puripicar, que en la zona de los pozos CORFO 7, 10 y 11, surge entre los 450 y 600 m de profundidad; y
3. La unidad inferior formada por la base del grupo volcánico Río Salado.

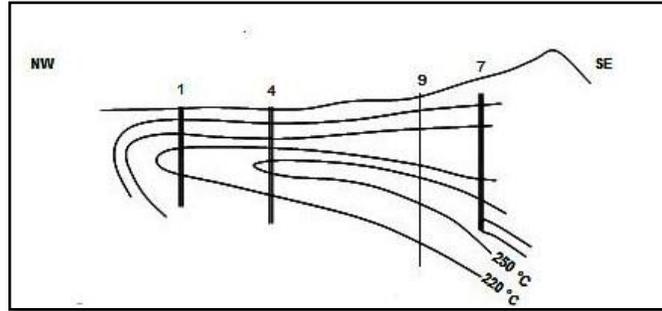
A partir del estudio realizado, las unidades permeables tendrían porosidades que fluctuarían entre 12 y 17%. Es relevante señalar que estos acuíferos aluden a medios permeables situados en unidades líticas fracturadas y por lo tanto, se caracterizan por presentar fuerte anisotropía (ENG, 2007).

El agua subterránea profunda circula fundamentalmente por la ignimbrita Puripicar, y en ocasiones, se presenta debajo de ella, por la ignimbrita Salado. El agua existente en estas unidades es de tipo termal, con temperaturas que bordean los 250°C, con un elevado contenido de sales en disolución (ENG, 2007).

Las unidades impermeables aludirían a las riolitas de Copacoya y las rocas sedimentarias cretácicas de la Formación Purilactis. En este último caso, éstas se presentan solevantadas en el horst de Tucle, conformando una barrera lateral a los distintos acuíferos existentes en el graben de El Tatio (ENG, 2007).

El modelo hidrotermal establecido por Lahsen (1974) en ENG (2007), plantea un ascenso convectivo de los fluidos (“zona de upflow”), cercano a las fuente termal del Tatio, probablemente bajo las cadenas de Cerros El Tatio y La Torta. Estos fluidos ascienden debido a los sistemas de fallas presentes en el área, donde interactúan de distinta manera con las aguas frías mayormente, almacenadas en las “dacitas de Tucle, constituyendo el sistema de salida o “outflow”. Esta situación puede apreciarse claramente a partir de la gráfica de isolíneas de temperaturas obtenida en un perfil de orientación NW-SE, que une los pozos 1 al 7 (Fig. 13).

Figura 13: Perfil de temperaturas

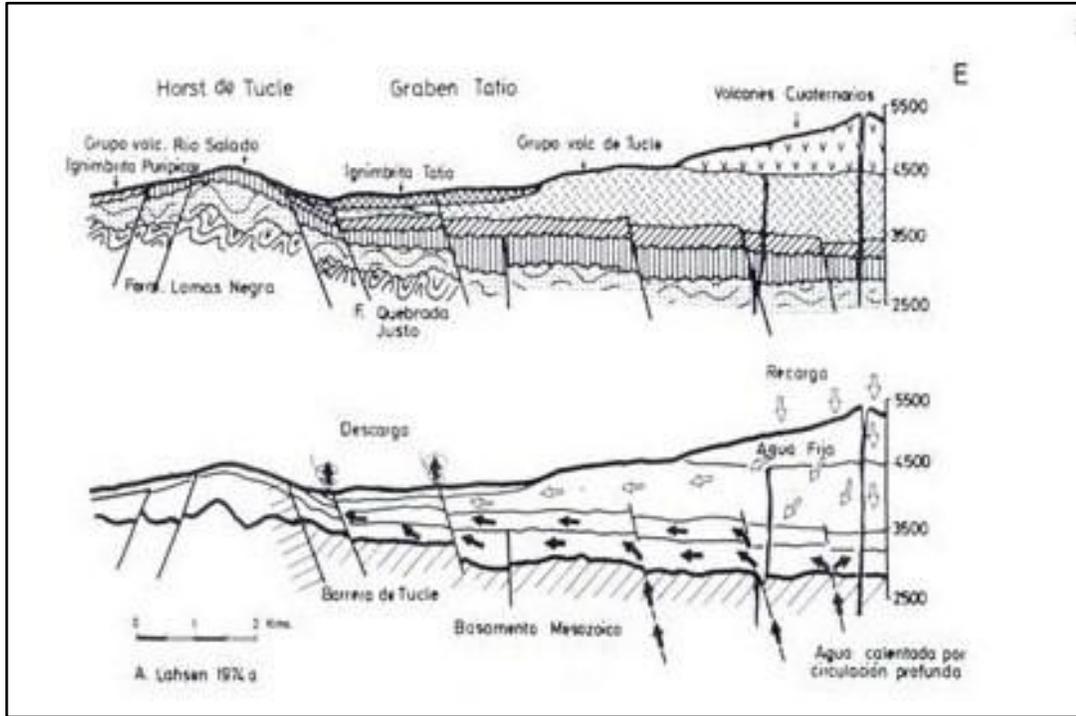


Fuente: ENG, 2007

Considerando los antecedentes aportados en el ítem de hidrología, los montos de recarga del amplio sistema hidrogeológico de El Tatio serían significativos. A modo de aproximación, si se contempla una infiltración profunda del 30% de las precipitaciones medias anuales caídas sobre la zona (estación meteorológica El Tatio) y un área acuífera de 100 km², se presentaría una recarga media de aproximadamente 150 l/s. Si se considera que la extensión de los acuíferos ubicados en medio permeables líticos suele ser muy amplia, es probable que el monto señalado sea en extremo conservador (ENG, 2007).

En los siguientes perfiles hidrogeológicos, desarrollados por otros autores que han realizado trabajos en el área de estudio, se aprecia claramente la estructura de los acuíferos líticos, las condiciones de borde de los medios impermeables y la dinámica del flujo subterráneo (ENG, 2007) (Fig. 14).

Figura 14: Perfil hidrogeológico



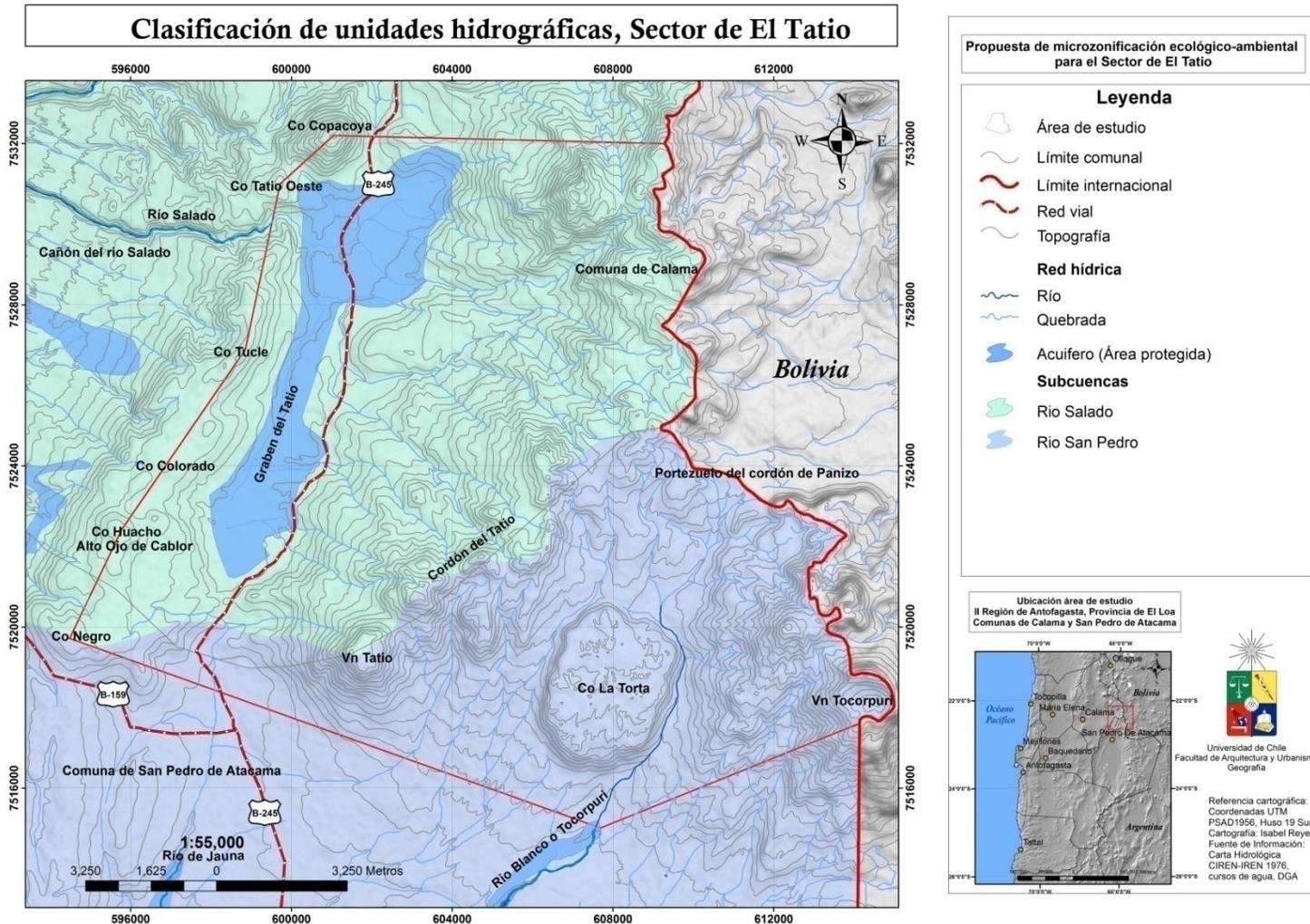
Fuente: ENG, 2007.

4.5.4 Categoría de áreas protegidas

Otro elemento de importancia en el área de estudio lo constituyen las aguas subterráneas que pertenecen a la categoría de área protegida “Acuíferos que alimentan vegas y bofedales”. Según estudios realizados por la DGA, las vegas localizadas en este sector pertenecerían al tipo de “Llanura Aluvial”, lo cual alude a la presencia de vegetación del tipo humedal en sectores geográficos extensos relacionados a una unidad morfológica de llanura aluvial, en ausencia de escorrentía superficial permanente. Dentro de estas llanuras aluviales se insertan acuíferos freáticos, granulares, con niveles someros, los que son recargados desde las porciones altas de las cuencas hidrográficas. A continuación se presentan las unidades hidrográficas delimitadas para fines de esta investigación (Fig. 15): Unidad subcuenca río Salado, Unidad subcuenca río San Pedro y Unidad Acuífero.

Propuesta de microzonificación ecológica ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 15: Hidrología sector de El Tatio



4.6 Vegetación y fauna

4.6.1 Vegetación en sector de El Tatio

A partir de la clasificación de Gajardo (1995), el área de estudio corresponde a la formación vegetal Estepa Sub-desértica de la Puna de Atacama. Esta categoría alude a una formación vegetal de gran extensión en la alta cordillera de la II Región de Antofagasta, extendiéndose ampliamente hacia la vertiente oriental. Aunque presenta altitudes similares al Altiplano, una mayor situación de aridez determina en gran medida la calificación de Sub-desértica. El paisaje vegetal de la Puna comparte una fisionomía de arbustos bajos muy esparcidos entre la estepa de gramíneas en mechón con grandes extensiones que carecen de vegetación. Sus comunidades vegetales características presentan una amplia distribución a través de las estepas alto-montana. En la siguiente tabla (Tabla 2), se aprecian las comunidades vegetales presentes en el área de estudio y sus características:

Tabla 2: Comunidades vegetales de la formación Estepa Sub-desértica de la Puna de Atacama.

Comunidades vegetales	Descripción	Categoría	Nombre científico	Nombre común
<i>Fabiana bryoides</i> - <i>Parastrephia lepidophylla</i> (Pata de Pizaca-Tola Vaca)	Comunidad que reúne a los elementos florísticos más xerófitos de las estepas alto-andinas; tiene una amplia distribución y son en ella dominantes los arbustos bajos.	Representativas	<i>Fabiana bryoides</i>	pata de pizaca
			<i>Parastrephia lepidophylla</i>	tola vaca
		Acompañantes	<i>Mulinum crassifolium</i>	susurco
			<i>Stipa frígida</i>	paja amarilla
		Comunes	<i>Artemisia copa</i>	copa
			<i>Fabiana denudata</i>	tolilla
			<i>Phacelia viscosa</i>	
	Comunidad característica de los sectores más altos de la Cordillera de los Andes, señala generalmente el límite altitudinal de la vegetación. Comparte muchos elementos florísticos con los Andes Mediterráneos. En su fisionomía, las plantas cespitosas son dominantes como forma de vida típica.	Representativas	<i>Stipa chrysophylla</i>	coirón amargo
		Acompañantes	<i>Menonvillea cuneata</i>	S/I
			<i>Nastanthus caespitosus</i>	S/I
			<i>Senecio rahmeri</i>	S/I
		Comunes	<i>Adesmia hystrix</i>	varilla brava
			<i>Calandrinia occulta</i>	pata de huanaco
			<i>Cristalia andicola</i>	malvilla
			<i>Perezia atacamensis</i>	marancel
			<i>Stipa atacamensis</i>	S/I
			<i>Viola frígida</i>	S/I

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Festuca chrysophylla- Fabiana bryoides	Comunidad en que predominan las gramíneas en mechón; se encuentra de preferencia en sectores llanos y arenosos.	S/I	S/I	S/I
Pycnophyllum Oxalisexigua	S/I	S/I	S/I	S/I
Baccharisincarum -Lampaya medicinalis	S/I	S/I	S/I	S/I

Fuente: Elaboración propia a partir de Gajardo (1995).

Por otra parte, considerando la Línea de Base del EIA “Proyecto perforación geotérmica profunda de El Tatio, 2007”, se plantea que en el área de estudio es posible discriminar dos principales grupos de tipologías vegetacionales. En primer lugar, aquellas que responden a factores ambientales generales de la región ecológica denominada vegetación zonal, la cual se localiza en laderas y lomajes arenoso-rocosos del sistema de cerros al este de la depresión en que se inserta el campo de los Géiser de El Tatio.

En segundo lugar, es posible identificar formaciones vegetacionales que obedecen a situaciones particulares dentro de esta zona ecológica, lo cual constituye la vegetación azonal dentro del área de interés, y que en este caso en concreto corresponde a aquellas formaciones relacionadas a los cursos hídricos permanentes y a las condiciones térmicas locales del sector por la influencia geotermal.

Como tercer elemento en esta clasificación es posible identificar áreas que no presentan cubierta vegetal, y que aluden a zonas de arenales, cuerpos de agua y cumbres.

4.6.2 Formaciones vegetacionales azonales

En las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta, en un escenario marcado por la aridez pero con presencia local de agua suficiente y constante, se desarrollan sistemas vegetaciones de alta particularidad conocidos como vegas y bofedales⁷, los cuales técnicamente corresponde a un ambiente de humedal.

⁷Las vegas y bofedales corresponden a formaciones vegetales que se establecen en un ambiente edáfico, principalmente orgánico, caracterizado por una condición hídrica de saturación permanente, presentando

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Por otra parte, a partir de la clasificación del SAG (2006), sustentada en la interacción de dos variables: dependencia de humedad del sitio (vegetación hidrófila y halófila) y la presencia de afloramientos salinos sobre la superficie de las plantas que conforman la formación dominante y el sustrato que lo acompaña, en la II Región de Antofagasta, prevalecen las formaciones de vegas.

Las vegas se caracterizan principalmente por la dominancia de juncáceas en cojín (*Scirpus* spp), (Castro *et al.*, 1993; Squeo *et al.*, 2006). En el área de estudio se identifican dos vegas de importancia, conocidas con el nombre de Géiser del Tatio y Vegas del Tatio. En estas vegas, por encontrarse ubicadas en altitudes mayores, predominan grandes cojines duros de maizal (*Oxychloe andina*), la cual brinda la fisionomía de bofedal a la formación vegetal (Fig. 16).

Se relacionan a estos cojines una variada gama de especies diminutas, que constituyen también cojines húmedos denominados en conjunto champas, vegas o pastos de vegas, e incluyen a: (*Scirpus deserticola*), (*S. atacamensis*), (*Hypsela reniformis*), (*Arenaria serpens*), varias especies de *Werneria*, *Astragalus bustilloii*, (*Calandrinia oculata*), especies de *Eleocharis* y *Triglochin striatum*, entre otras (Fig. 16).

una gran diversidad biológica respecto al entorno, con un mayor número de especies vegetales las cuales son propias de estos sistemas (DGA, 2004).

Figura 16: Sector de vega área de estudio



Fuente: ENG, 2007.

A final del ítem de fauna, se presenta la distribución de vegetación en el Sector de El Tatio a partir de la Clasificación de Bosque Nativo de CONAF, en conjunto con los avistamientos de fauna. (Fig. 17).

4.7 Fauna

Considerando el punto de vista faunístico, la II Región de Antofagasta ha sido señalada por múltiples autores como un área de gran relevancia para la biodiversidad, debido a que las condiciones naturales de la zona imponen restricciones a los seres vivos, favoreciendo por ejemplo el desarrollo de endemismo (Jerez, 2000 en SGA, 2007).

A partir del catastro de fauna realizado en el estudio de Línea de base del Proyecto “Perforación geotérmica profunda de El Tatio, Fase I, (SGA, 2007) se detectó la presencia de 29 especies vertebradas, de las cuales 7 corresponden a reptiles, 21 aves y 7 mamíferos.

4.7.1 Anfibios: En la zona del campo de los Geiseres del Tatio, se detectó la existencia de *Bufo spinolosus*, especie en la categoría de Vulnerable, que habita las áreas circundantes a las fuentes termales. Estos se ubican en aguas poco profundas y con escasa escorrentía, que presenten plantas o algas acuáticas donde poder colocar los huevos para la reproducción.

4.7.2 Reptiles: En cuanto a la existencia de reptiles en el área de estudio, se detectó la presencia de la lagartija *Liolaemus barbarae*, la cual se distribuye en las alturas próximas a San Pedro de Atacama. Esta especie de lagartija fue recientemente reportada por Pincheira-Donoso y Núñez (2005) en SGA (2007). Producto de su reciente descripción, este reptil no ha sido listado en la categorización de especies. Sin embargo, esta especie era denominada anteriormente como *Liolaemus walkeri*, la que es catalogada como “Rara” (Ley de Caza 19.473).

4.7.3 Aves: Según el catastro de aves en el área de estudio, se presenta una comunidad de aves de 21 especies, siendo propias de ambientes de altura (Tabla 4). Dentro de las especies visualizadas destaca:

4.7.3.1 *Pterocnemia pennata* (Suri): Esta especie de ñandú fue observada en parejas y en grupos (de hasta 5 individuos). A partir de la Ley 19.473, esta especie se encuentra catalogada como “En peligro de extinción”. Esta ave fue observada en toda el área en donde se emplaza la concesión geotérmica de El Tatio y a lo largo del camino al campo de Géiser del Tatio. Es una especie tímida y de gran relevancia para el turismo de la zona.

4.7.3.2 *Larus serranus* (Gaviota Andina): Esta especie habita en bandadas en pequeñas lagunas, bofedales o vegas. Construye nidos flotantes sobre rocas o suelos de pequeños islotes y en ocasiones utiliza nidos abandonados. A partir de la Ley 19.473 esta especie se cataloga como “Rara”, con poblaciones mundiales muy reducidas.

4.7.3.3 *Tinamotis pentlandii* (Perdiz de la puna): Perdiz de tamaño grande (42 cms.). Esta especie habita en las estepas de altura asociada a arbustos y pajonales. Considerando la Ley 19.473 esta ave es catalogada como “Vulnerable”.

4.7.4 Mamíferos

Dentro del área de estudio se constató la presencia de 7 mamíferos. Del total de estas especies destacan de modo particular las siguientes:

4.7.4.1 *Lama vicugna* (Vicuña): Esta especie fue observada prácticamente en toda el área en que se pretende emplazar el proyecto geotérmico de El Tatio. Este mamífero se encuentra catalogado en “Peligro de extinción” y presenta un alto interés desde el punto de vista del turismo en la zona (Fig. 22). La caza de este mamífero se encuentra estrictamente prohibida, protección que ha permitido incrementar considerablemente el número de individuos.

4.7.4.2 *Lagidium viscacia* (Vizcacha): Roedor de pelaje largo y tupido, mide cerca de 40 cm y posee una extensa cola con pelos largos. Esta especie se alimenta de vegetación, en particular de pasto y coirones. Habita en roqueríos de la zona alto andina, donde elabora sus guaridas. De acuerdo a la Ley 19.473 se le considera una especie en “Peligro de extinción”.

4.7.4.3 *Lynchailurus colocolo* (Gato Colocolo): Esta especie fue detectada en el área de la quebrada de vallecito (Sitio de avistamientos), mediante el registro de huellas en una trampa de atracción olfatoria. Sin embargo, su presencia en el sector debería ser más extensa, debido a que es el predador natural de la vizcacha, abundante en la zona.

4.7.4.4 *Pseudalopex culpaeus* (Zorro culpeo): En términos generales, habita regiones altas de Los Andes, por lo que puede visualizarse tanto en terrenos montañosos, valles profundos y desiertos abiertos, como pampas de matorrales y bosques templados. En cuanto al área de

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

estudio, algunos ejemplares de esta especie fueron identificados en el camino a los Géiser del Tatio y por las fecas características de estos animales. Corresponde a una especie catalogada como “Inadecuadamente conocida”.

4.7.4.5 *Abrocoma cinérea* (Ratón Chinchilla de cola corta): Este mamífero corresponde a un roedor de talla media que habita en ambientes de altura de las regiones I y II en Chile. A partir del escaso conocimiento que se tiene de esta especie, se ha catalogado como “Inadecuadamente conocida”. Fue visualizada en los sectores de avistamiento (Fig. 23).

4.7.5. Criterios de Ley de Caza 19.473: En las siguientes tablas (Tabla 3 a 5) se muestra la aplicación de los criterios de la Ley de Caza 19.473 ⁸sobre las especies registradas en el área de estudio:

Tabla 3: Catálogo de reptiles en el área de estudio

REPTILES		Ley 19.473			
Nombre común	Nombre científico	B	S	E	EC
1.Lagartija de Walker	<i>Liolaemus barbarae</i>	Especie nueva			

Fuente: ENG, 2007

Considerando la aplicación de la Ley de Caza 19.473, el reptil “Lagartija de Walker” se encuentra catalogado como una “Especie nueva”, debido a la escasa información que se tiene de esta especie.

⁸Criterios de Ley de Caza 19.473.

B: Especie catalogada como beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria.

S: Especie catalogada con densidades poblacionales reducidas.

E: Especie catalogada como beneficiosa para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales.

EC: Estado de Conservación, puede ser: P= En Peligro de Extinción, V= Vulnerables, R=Raras, I= Inadecuadamente conocidas, F= Fuera de Peligro.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Tabla 4: Catálogo de aves en el área de estudio

AVES		Ley 19.473			
Nombre común	Nombre científico	B	S	E	EC
1.Suri	<i>Pterocnemia pennata</i>		S		P
2.Perdiz de la puna	<i>Tinamotis pentlandii</i>		S		V
3.Piuquén	<i>Chloephagamelanoptera</i>			E	
4.Pato juarjua	<i>Lophonetta specularoides</i>				
5.Chorlo de la puna	<i>Charadrius alticola</i>	B	S		
6.Becacina de la puna	<i>Gallinago andina</i>	B	S		
7.Perdicita cojón	<i>Thinocorus orbignyianus</i>		S		
8.Gaviota andina	<i>Larus serranus</i>		S		V
9.Aguilucho	<i>Buteo polyosoma</i>	B		E	
10.Halcón perdiguero	<i>Falco femoralis</i>	B		E	
11.Perico cordillerano	<i>Bolborhynchus aurifrons</i>		S	E	
12.Tortolita de la puna	<i>Metropelia aymara</i>		S		
13.Canastero chico	<i>Asthenes modesta</i>	B			
14.Bandurrilla de pico recto	<i>Upucerthia ruficauda</i>	B	S		
15.Churrete de alas blancas	<i>Cinclide satacamensis</i>	B			
16.Cometocino dorso castaño	<i>Phrygilus dorsalis</i>			E	
17.Pájaro plomo	<i>Phrygilus unicolor</i>		S		
18.Jilguero negro	<i>Carduelis atratus</i>		S		
19.Dormilona de nuca rojiza	<i>Muscisaxicola rufivertex</i>	B		E	
20.Chirihue verdoso	<i>Sicalis olivascens</i>				

Fuente: ENG, 2007

A partir del catálogo de aves, se detecta una alta importancia ecológica para algunas especies presentes, ya que 8 de 21 especies es beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria, mientras que 6 de 21 se presentan como beneficiosas para mantener el equilibrio de los ecosistemas naturales. Sin embargo, un punto importante de destacar es que, un poco más del 50% de las especies detectadas (11 de 20) presenta sus densidades poblacionales reducidas, por lo cual este grupo de aves requiere de consideraciones especiales a la hora de planificar el territorio en el que habitan.

En cuanto al estado de conservación de estas aves, las especies *Tinamotis pentlandii* (Perdiz de la puna) y *Larus serranus* (Gaviota Andina), se encuentran catalogadas en estado de

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Vulnerabilidad, mientras que la especie *Pterocnemia pennata* (Suri), se encuentra en Peligro de Extinción.

Tabla 5: Catálogo de mamíferos en el área de estudio

MAMÍFEROS		Ley 19.473			
Nombre común	Nombre científico	B	S	E	EC
Ratón chinchilla de cola corta	<i>Abrocoma cinerea</i>		S		I
Ratón orejudo amarillo	<i>Phyllotis limatus</i>		S		
Ratoncito andino	<i>Abrothrix andinus</i>				
Vizcacha	<i>Lagidium viscacia</i>		S		P
Vicuña	<i>Vicugna vicugna</i>		S		P
Zorro culpeo	<i>Pseudalopex culpaeus</i>			E	I
Colocolo	<i>Lynchailurus colocolo</i>	B	S	E	P

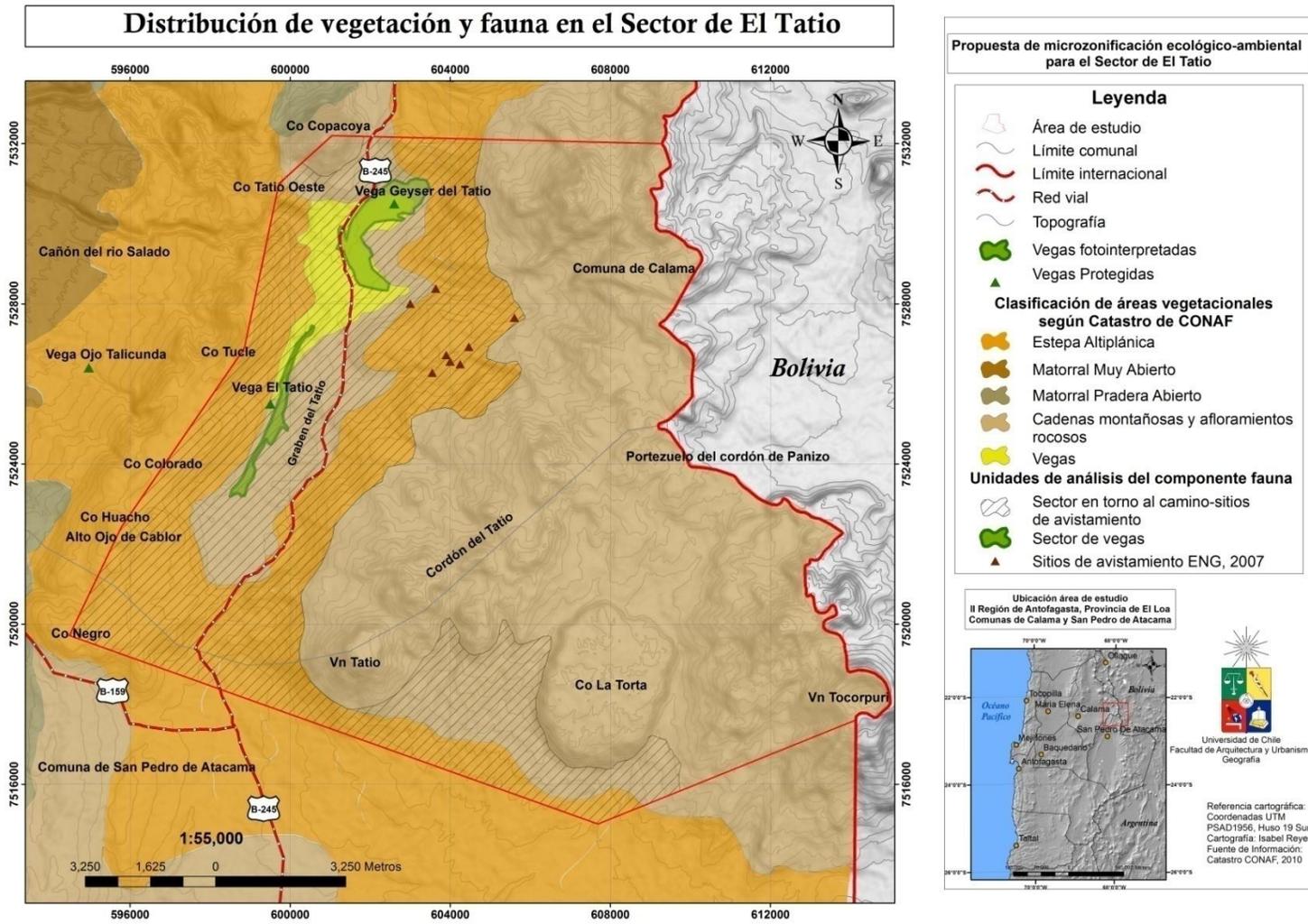
Fuente: ENG, 2007

A partir del catálogo de mamíferos en el sector de El Tatio (Tabla 5), se detecta la presencia de una especie catalogada como beneficiosa para la actividad silvoagropecuaria, correspondiente a *Lynchailurus colocolo* (Colocolo), mientras que dos especies se encuentran catalogadas como beneficiosas para el equilibrio de los ecosistemas, *Pseudalopex culpaeus* (Zorro culpeo) y *Lynchailurus colocolo* (Colocolo). Por otra parte, es de importancia señalar la existencia de tres mamíferos en peligro de extinción, *Lagidium viscacia* (Vizcacha), *Vicugna vicugna* (Vicuña) y *Lynchailurus colocolo* (Colocolo).

En la figura a continuación (Fig.17), se presentan las unidades de análisis para la componente de fauna dentro del área de estudio, lo cual se basa en puntos de muestreo y avistamiento del proyecto Estudio de Impacto Ambiental Proyecto de explotación geotérmica de El Tatio (2007). Debido a la escasez de información espacial de las especies, se generan dos grandes zonas, Sector en torno al camino-sitios de avistamientos y Sector de vegas.

Propuesta de microzonificación ecológica ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 17: Delimitación áreas de avistamiento de fauna según EIA Proyecto de perforación geotérmica El Tatio.



4.8. Paisaje escénico

4.8.1 Análisis del paisaje

Entre los principales objetivos del análisis del paisaje está el de incluirlo dentro del proceso del planeamiento, al considerarlo como recurso y tratarlo como tal en la toma de decisiones, en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA, 2010). Existen diversos enfoques para el análisis del paisaje, los cuales se pueden sintetizar en dos:

- Una considera la subjetividad como condicionante inherente a toda valoración personal del paisaje,
- Mientras que la segunda corresponde a un planteamiento más sistémico, que se apoya en el uso de determinadas técnicas para los procesos de tipificación y valoración.

Entre las múltiples alternativas que existen para analizar el paisaje, para términos de esta investigación se considera la delimitación de Unidades de Paisaje.

4.8.2 Unidades de paisaje

La delimitación de un territorio en unidades de paisaje, permite la obtención de información acerca de sus características y facilita su tratamiento (SEIA, 2010). Las unidades de paisajes dentro del contexto de esta investigación, se definen a partir la morfología y topografía, vegetación y fauna, acción antrópica, variabilidad cromática y singularidad o rareza. A partir de estas variables, se busca definir áreas que en su conjunto manifiesten una unidad homogénea.

Las áreas delimitadas son:

- **Sector de asentamientos humanos.**
- **Sector turístico Géiser del Tatio.**
- **Sector altas cumbres.**

4.8.2.1. Zona de asentamientos humanos

Se refiere a un campamento actualmente abandonado, el cual fue levantado producto de los primeros estudios geotérmicos efectuados por CORFO en la década del 60 (Fig.18). Esta zona presenta la mayor influencia humana en el territorio, con hechos históricos que modificaron la estructura original que presentaba el paisaje. A partir de esto, se puede decir que esta zona ha

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

perdido cierto grado de naturalidad. Sin embargo, se señala que estas actuaciones son de menor envergadura y no han alterado significativamente el valor estético del sector (Tabla 6).

Tabla 6: Descripción de factores escénicos en la zona n°1

Factor	Descripción
Morfología y topografía	La geomorfología que presenta esta unidad es bastante diversa. Se visualiza la presencia de farellones y afloramientos rocosos de alta belleza escénica, pero destaca la modificación producida por la construcción de una plataforma y el tranque emplazado en la parte alta de la unidad.
Fauna	Presencia de avifauna relacionada al tranque. Se visualizan fecas de vicuñas y zorros, lo cual indica que corresponde a una zona de paso.
Vegetación	Formaciones de baja altura, con una variación de especies. Destacan las llaretas por su contraste cromático con el resto de la vegetación.
Formas de agua	La quebrada constituye un pequeño curso de agua que aumenta la valoración visual de la zona. Por otra parte, destaca el cuerpo de agua conformado por el tranque construido en la parte alta de la unidad.
Acción antrópica	Sector alterado debido a que presenta múltiples modificaciones que han variado la condición natural del paisaje. Si bien se ha mantenido el atractivo estético, de igual manera hay una reducción de la naturalidad, lo cual representa una disminución de su calidad visual.
Fondo escénico	El paisaje a sus alrededores ejerce influencia visual sobre el área evaluada. Destacan las vistas a los cerros que circunscriben la unidad.
Variabilidad cromática	En la unidad se visualiza un mosaico cromático muy variado, en donde destacan los contrastes entre vegetación, suelo y rocas. Asimismo, destaca el cielo con constantes variaciones de colores a lo largo del día y durante todo el año.
Singularidad o rareza	Esta unidad de la investigación es muy similar a otras de la región, sin presentar elementos naturales de destacada particularidad.

Fuente: Línea de base, Estudio de Impacto Ambiental, proyecto geotérmico del Tatio.

Figura 18: Campamento CORFO



Fuente: EIA, Línea Base, proyecto geotérmico del Tatio, 2007.

4.8.2.2. Sector turístico Géiser del Tatio

El sector turístico Géiser del Tatio corresponde a la zona de mayor valor turístico del área de estudio. Actualmente atrae una alta cantidad de visitantes, los cuales se concentran principalmente al amanecer, debido a la mayor actividad geotermal que se desarrolla durante el día (Fig. 25).

Considerando el punto de vista paisajístico, esta zona presenta una amplia variedad de recursos de interés visual, donde destacan, aparte de los Géiser, una múltiple flora y fauna, y vistas panorámicas de gran belleza escénica, usadas en la mayor parte del tiempo como media de promoción turística del sector (Tabla 7).

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Tabla 7: Descripción de factores escénicos en la zona n°2

Factor	Descripción
Morfología y topografía	La zona de los Geiser presenta un relieve de manera horizontal, pero cada una de las manifestaciones geotermales produce estructuras de modelado muy singular, de alto contraste y jerarquía visual. Los cerros a los alrededores de la unidad también presentan riqueza de formas, lo que incrementa la calidad visual de la unidad.
Fauna	Presencia de fauna permanente en esta unidad. Destacan las Vicuñas y Suris en el área de los geiseres, mientras que las Vizcachas en los cerros.
Vegetación	En la zona de los géiseres la vegetación es menor, mientras que la zona de los alrededores presenta una amplia variedad de especies, destacando visualmente las llaretas.
Formas de agua	Las manifestaciones geotermales se constituyen como el elemento del paisaje de mayor valor estético.
Acción antrópica	En esta unidad, las manifestaciones humanas presentan una baja incidencia en el paisaje, y no reducen su calidad visual. Sin embargo, como punto negativo puede señalarse la gran cantidad de marcas dejadas por el tránsito vehicular y algunas maquinarias abandonadas.
Fondo escénico	La unidad presenta vistas panorámicas de gran valor estético.
Variabilidad cromática	La unidad de análisis presenta un mosaico cromático de amplia variación, donde estacan los contrastes entre la vegetación, suelo, rocas y aguas termales que emergen del fondo de la tierra, tanto de manera gaseosa como líquida, lo cual constituye una gran gama de colores de valor estético. Por otra parte, destaca el cielo con constantes variaciones de colores a lo largo del día y durante todo el año.
Singularidad o rareza	Esta unidad es definida como el Geiser más alto del mundo, lo cual señala que es único a nivel mundial, por lo que presenta un alto grado de singularidad.

Fuente: Línea de base, Estudio de Impacto Ambiental, proyecto geotérmico del Tatio.

4.8.2.3. Sector altas cumbres

Este sector incluye las altas cumbres presentes en el área de estudio, lo cual corresponde al Volcán Tocopuri, Domo La Torta, Cerros del Tatio y los cerros que se ubican en el límite internacional con Bolivia. Esta zona presenta un alto valor escénico, debido a la presencia de nieves en las mayores alturas producto de las precipitaciones en periodo estival (Tabla 8).

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

En cuanto al valor paisajístico, destaca la geomorfología de esta unidad, la cual se caracteriza por presentar una variedad de formas propias de relieves cuaternarios y su posterior modificación por los agentes modeladores de paisaje.

Tabla 8: Descripción de factores escénicos en la zona n°3

Factor	Descripción
Morfología y topografía	La geomorfología presente en esta unidad de paisaje es de gran variedad. Destaca la presencia de los volcanes El Tatio y Tocopuri. Asimismo, es posible apreciar formaciones derivadas de estos aparatos volcánicos, como el domo La Torta y los cerros del Tatio.
Vegetación	Esta zona corresponde a altas cumbres, por lo cual no se presenta el desarrollo de vegetación.
Formas de agua	Esta zona se destaca por presentar quebradas principalmente intermitentes las cuales se activas en algunas ocasiones a partir de las precipitaciones estivales. Destaca la presencia de nieves en las altas cumbres.
Acción antrópica	No se visualiza acción antrópica que altere el paisaje.
Fondo escénico	Destaca el fondo escénico por la multiplicidad de formas y colores presentes en las diversas formaciones.
Variabilidad cromática	En la unidad se visualiza un mosaico cromático muy variado, en donde destacan los contrastes entre suelo y rocas. Asimismo, destaca el cielo con constantes variaciones de colores a lo largo del día y durante todo el año.
Singularidad o rareza	Esta unidad de la investigación es muy similar a otras de la región, sin presentar elementos naturales de destacada particularidad.

Fuente: Elaboración propia.

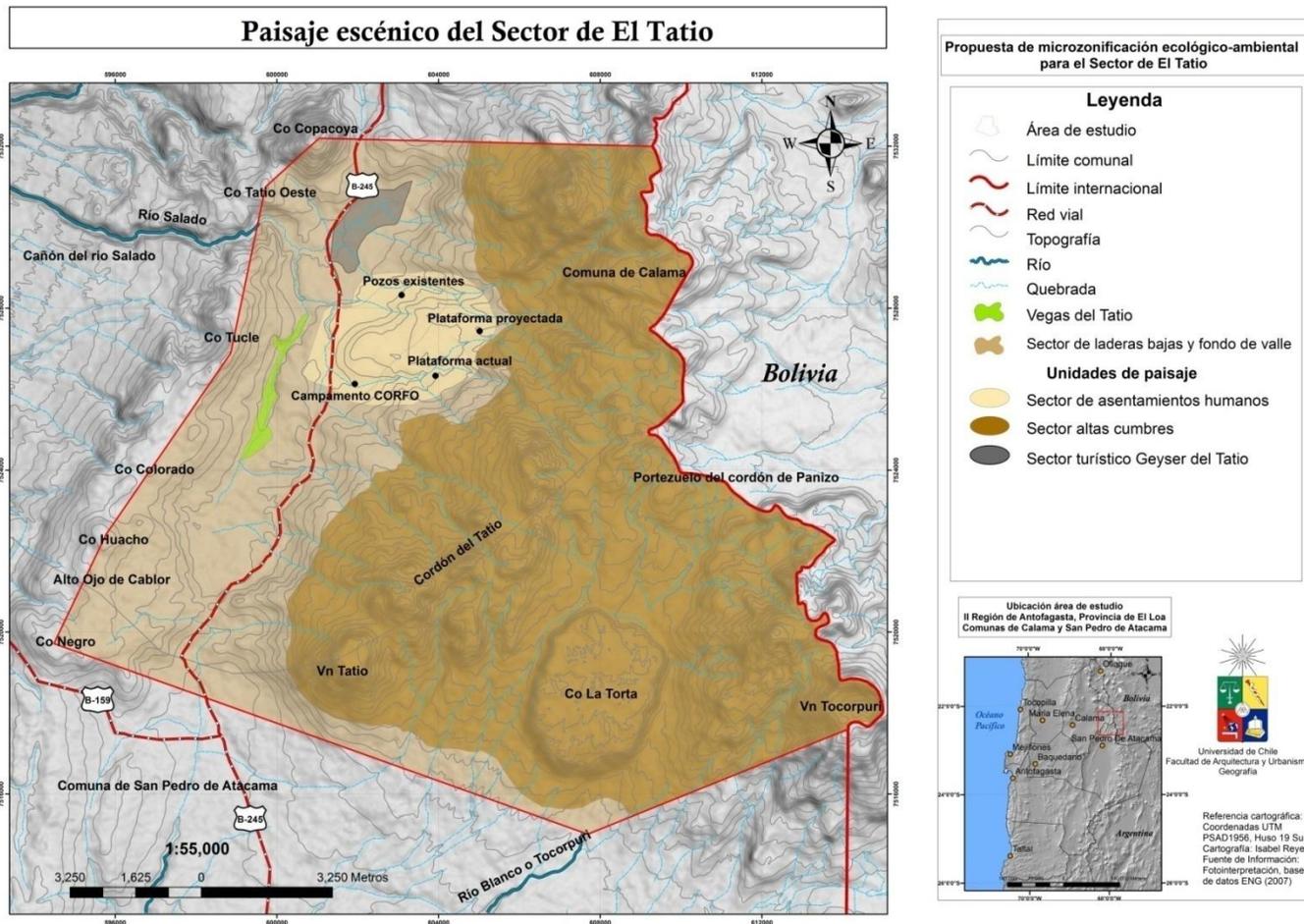
A continuación (Fig. 19), se presentan las unidades de paisajes identificadas, correspondientes a:

- Sector turístico Géiser del Tatio
- Sector de intervención antrópica
- Sector de altas cumbres

Las unidades de vegas y de laderas bajas y fondos de valles no serán tratadas dentro de este ítem, debido a que son desarrolladas en mayor detalle en análisis anteriores.

Propuesta de microzonificación ecológica ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 19: Paisaje escénico sector de El Tatio



4.9 Amenazas naturales

Los procesos geodinámicos que afectan la superficie de la tierra dan lugar a movimientos de terreno de diferente magnitud que pueden constituir amenazas naturales que afectan de forma directa o indirecta las actividades humanas.

Para términos de esta investigación, se consideran las siguientes amenazas naturales: procesos de origen endógeno (sismicidad y volcanismo) y procesos de origen exógeno (procesos de remoción en masa⁹).

4.9.1 Sismicidad

La actividad sísmica de la zona norte, al igual que el resto del país al norte de la Península de Taitao, se encuentra dominada por la convergencia entre las placas de Nazca y Sudamérica, la primera de ellas subduciendo bajo la segunda. La manifestación superficial de este contacto corresponde a la fosa Perú-Chile, quedando la placa de Nazca localizada hacia el Oeste y la placa Sudamericana hacia el Este respectivamente de esta formación geomorfológica de gran profundidad. El sector de acoplamiento o “zona sismogénica”, en donde se originan los grandes terremotos que se registran en Chile, se encuentra restringida al área de contacto entre ambas placas desde la fosa hasta aproximadamente los 50 km de profundidad, en un plano inclinado de alrededor de 19° hacia el sector Este (Barrientos, 2007). (Barazangi e Isacks 1976 indican valores entre 25° y 30°)

A partir de esto, es posible que sobre el área de estudio se produzcan sismos de diferente magnitud. El último terremoto registrado de mayor cercanía a esta zona corresponde al terremoto de Tocopilla (Mw= 7.7) ocurrido el 24 de noviembre de 2007, junto al ambiente tectónico en el cual se ha activado. Considerando este evento, para la comuna de Calama se estimó una intensidad de VII. Las localidades que más se vieron corresponden a Tocopilla, Quillagua y Mejillones, quedando fuera del área de estudio.

⁹Los procesos de remoción en masa son “procesos de transporte de material definidos como procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores (Hauser, 1993). Estos movimientos tienen carácter descendente, ya que están fuertemente controlados por la gravedad.

4.9.2 Volcanismo

En el área de estudio es posible identificar dos estrato-volcanes, los cuales son:

1. Volcán del Tatio: Estrato-volcán conformado por flujos de lavas dacíticas de hornblenda y biotita y andesitas de piroxenas. Con un cráter de 0.5 x 0.7 Km, abierto hacia el sector suroeste, por el cual escurrió un flujo de piroclastos, de edad relativamente reciente. Este centro volcánico se encuentra asociado con la “ignimbrita Tatio”, cuya edad potasio argón es menor de un millón de años. (González-Ferrán, 1964, 1972; Lahsen y Munizaga, 1979; Marinovic y Lahsen, 1984, en González-Ferrán, 1995).

2. Volcán Tocarपुरi: Corresponde a un estrato-volcán compuesto, con un complejo edificio conformado al menos por seis centros eruptivos, localizados al noroeste del cráter principal, controlado por una fractura del rumbo N 40°W. Su edad se estima Pleistocena-Holocena. (González-Ferrán, 1967, 1972, Deruelle, 1979 b. Marinovic y Lahsen, 1984, en González-Ferrán, 1995).

4.9.3 Remoción en masa

Para el estudio de la amenaza de remoción en masa dentro del marco de la presente investigación, se consideran tres elementos de análisis: pendientes del terreno, caracterización cualitativa de estabilidad del terreno y existencia o ausencia de depósitos de antiguos movimientos en masa (González de Vallejo et al, 2006).

A partir de esto, los resultados para el sector de El Tatio son:

- **Pendientes del terreno:** En cuanto a la clasificación de pendientes para el área de estudio (>20% media-alta, 10-20% baja-media y <10% baja), el tipo de pendiente que presenta mayor predominancia corresponde a media-alta, lo cual se ve representado en la zona correspondiente al volcán del Tatio, cerros del Tatio, volcán Tocarपुरi y cerros de Tocarपुरi. En segundo lugar, se presentan las superficies con pendientes bajas, lo cual se presenta mayormente en la zona de la cuenca intramontana de El Tatio. Por

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

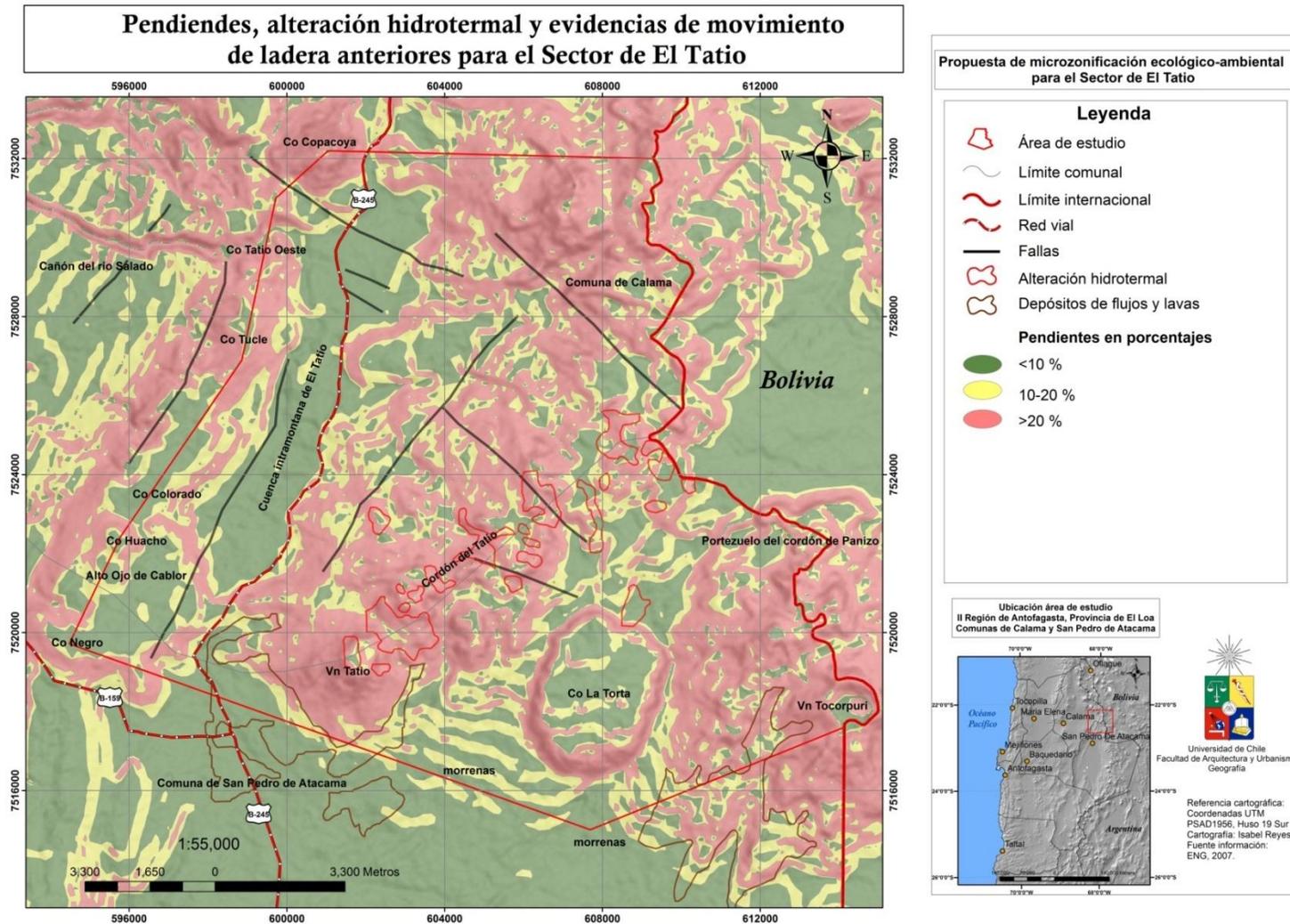
último, las pendientes baja-medias se presentan en las zonas más bajas de los cerros del área de estudio (Ver Fig. 20).

- **Caracterización de la estabilidad del terreno:** Considerando las alteraciones hidrotermales como elemento que caracteriza cualitativamente la estabilidad del terreno, estas se presentan mayormente en los cerros del Tatio (Ver Fig.20).
- **Existencia de movimientos en masa:** Al evaluar la existencia de antiguos episodios de movimientos en masa, se considera la presencia de depósitos caóticos constituidos por arenas, gravas y bloques no consolidados. En este conjunto, se agrupan sedimentos puramente fluviales y depósitos de ladera de tipo coluvial. Estas unidades, se concentran en las zonas bajas del volcán Tocorpuri y volcán El Tatio (Ver Fig.21).

A partir de la delimitación de estas variables de investigaciones, se obtienen las siguientes unidades de estabilidad del terreno frente al este tipo de amenaza: estable, moderadamente estable e inestable. Los resultados de esta clasificación, se expresan en el mapa de estabilidad del terreno (Fig. 21), lo cual señala que la estabilidad del terreno es mayormente estable, distribuyéndose esta categoría en la mayor parte del área de estudio. Considerando las categorías de Moderadamente estable estas se ubican por sobre los cerros de El Tatio, volcán Tocorpuri y el horst de Tucle. En las figuras a continuación, se presentan la alteración hidrotermal y depósitos aluviales (Fig. 23), pendientes (Fig. 24), y los resultados de la estabilidad del terreno frente a potenciales movimientos de ladera.

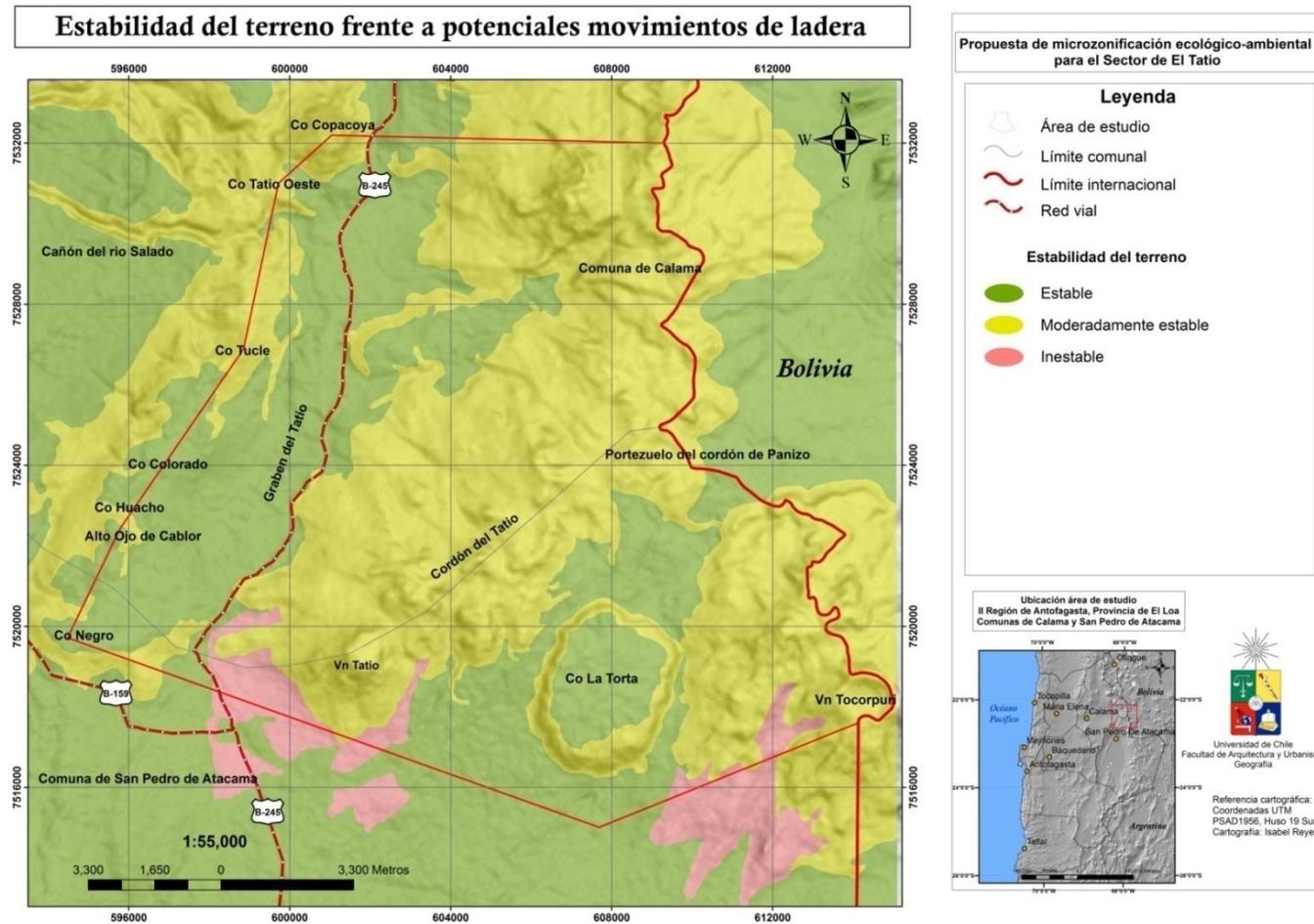
Propuesta de microzonificación ecológica ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 20: Mapa de pendientes, alteración hidrotermal y evidencias de movimientos de laderas.



Propuesta de microzonificación ecológica ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 21: Estabilidad del terreno para el sector del Tatio.



II. Usos actuales y planeados

4.2.1 Zona de uso turístico

1.1 Campo geotérmico Géiser del Tatio

El Campo Geotérmico de El Tatio y sus alrededores ofrecen una variada gama de atractivos turísticos naturales y culturales, que concentran gran parte de la atención turística de Chile. El despliegue de sus géiseres, fumarolas y numerosas manifestaciones termales atrae cada año a más de setenta mil personas de diferentes países y lo han constituido como uno de los destinos turísticos más visitados del país (ENG, 2007) (Ver Fig. 32).

Para la realización conjunta de la administración del sector geotérmico de El Tatio, las comunidades de Caspana y Toconce crearon en marzo de 2006 la empresa turística Tatio Mallku, cuyo principal fin es resguardar los recursos naturales, paisajísticos, culturales y patrimoniales del sector de fuentes termales (ENG, 2007).

Desde la perspectiva paisajística, el campo geotérmico presenta una amplia diversidad de recursos de interés visual, donde destacan, aparte de los géiser, una variada flora y fauna y vistas panorámicas de notable belleza escénica, utilizadas comúnmente como medio de promoción turística.

En este sector, las intervenciones humanas están relacionadas fundamentalmente a elementos que tienen como finalidad ordenar el área en función del turismo, asociado a la circulación, acceso y seguridad de los géiseres. Frente a esto, se reconoce una intención de diseño armónico con el paisaje, a pesar de que mantienen una alta cantidad de huellas, principalmente vehiculares. Por otra parte, existe evidencia de actividad exploratoria, con algunas maquinas abandonadas en el sector y algunas plataformas de antiguos pozos (Ver Fig. 32).

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

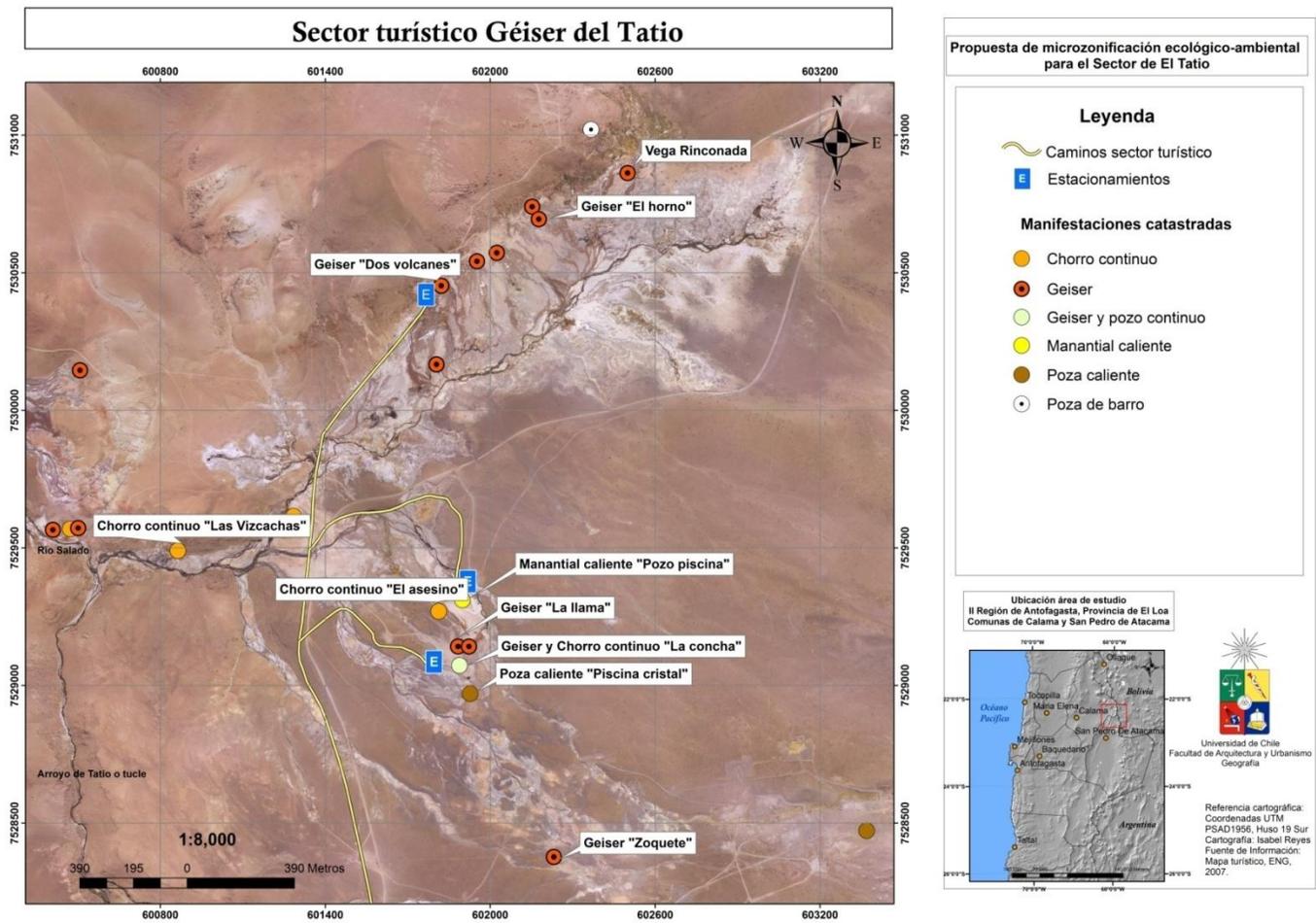
Figura 22: Maquinaria abandonada en el campo geotérmico de El Tatio



Fuente: EIA, Proyecto geotérmico El Tatio, 2007.

Propuesta de microzonificación ecológica ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 23: Sector turístico Géiser del Tatio



Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

La fauna, se presenta como una de las componentes ambientales de mayor relevancia paisajística, adquiriendo especial connotación en el área de los géiser, donde se concentra una gran cantidad de especies animales atractivas para los turistas. Algunas de ellas que se presentan de manera permanente en esta zona son: las Vicuñas (*Vicugna vicugna*), algunos Suris (*Pterocnemia pennata*) y más esporádicamente zorros culpeo (*Pseudalopex Culpaeus*). Asimismo destacan las Vizcachas (*Sagiriium viscacia*), principalmente entre los roqueríos en la parte alta de la cuenca (Fig. 34).

Considerando la flora que se presenta en la zona, destacan formaciones relacionadas a las surgencias de agua, que una vez que se enfrían, dan paso a la formación de vegas de alto contenido cromático. A nivel de los cerros que circundan el área, la especie de mayor predominio e interés visual es la Llaretta (*Azorella compacta*), que producto de su fuerte contraste cromático (verde claro intenso) destaca ante el resto de la vegetación de colores grisáceo y amarillo (Fig. 24).

Figura 24: Fumarola en el campo geotérmico de El Tatio rodeada de Coirón (*Festuca Orthophylla*) (izquierda), y Llaretta (*Azorella compacta*) (derecha) entre roqueríos.



Fuente: EIA, Proyecto geotérmico El Tatio, 2007.

4.2.2 Infraestructura (Servicios y administración)

4.2.2.1 Campamento CORFO

Esta infraestructura corresponde a un campamento actualmente en abandono, el cual fue levantado debido al desarrollo de los primeros estudios geotérmicos efectuados por CORFO durante la década de los 60. Esta zona se constituye como el elemento de mayor influencia humana en el paisaje, con actuaciones históricas que modificaron la estructura original que anteriormente presentaba el paisaje.

Se reconoce en este sector la existencia de maquinarias abandonadas y movimientos de tierra, pero su grado de influencia queda limitado a un campo visual reducido, constituido por su cuenca visual, sin incidir directamente en el resto del paisaje, sobre todo en la zona de interés turístico de los Géiser del Tatio.

Por otra parte, el campamento presenta un aspecto de pueblito abandonado, lo cual le brinda un grado de atractivo para los turistas que transitan a la zona del Tatio (paisaje de interés histórico). Sin embargo, esta condición es más bien subjetiva, ya que analizando las formas y estilos arquitectónicos dominantes, estos no presentan gran valor estético, representando el campamento solamente una marca visual (Fig. 34).

4.2.2.3. Vías de Acceso

El área de estudio se localiza a 56 km. al Noroeste de San Pedro de Atacama y a 110 Km. al Este de Calama, al cual es posible acceder mediante dos vías principales, que presentan una carpeta semi-estabilizada, en regular estado de conservación, las cuales pueden quedar intransitables en el periodo estival, cuando el área se ve afectada por intensas precipitaciones pluvio-nivales.

La primera de las vías corresponde a la ruta nacional B-235, que conecta la localidad de San Pedro de Atacama con la ruta B-245, en un tramo de 44 Km. Desde este punto, continua por la ruta B-245 hasta la zona del campo geotérmico de El Tatio, en una distancia de 45 Km.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

La segunda vía corresponde a la ruta nacional B-165, Calama-Linzor, en una distancia de 49 Km. Desde este sector continua por la ruta B-159, por 52 Km. hasta conectar con la ruta B-245 a la altura del km. 76.

4.2.2.4 Concesiones de explotación geotérmicas

En los últimos años, diversos estudios han destacado la posición privilegiada que presenta el país con respecto a la generación eléctrica en base a fuentes renovables. Una de estas fuentes corresponde a la geotermia, sustentada en la actividad volcánica a partir de su ubicación sobre el Cinturón de Fuego del Pacífico. Esto se presenta como un beneficio desde el punto de vista del potencial geotérmico, determinando diferentes estudios “un potencial bruto aproximado de 16.000 MW al 2025, según estadísticas del Centro de Energías Renovables (CER, 2011).

Dentro del área de estudio, existen dos concesiones de explotación geotérmica¹⁰, “El Tatio” y la “Torta”, proyectos pertenecientes a Geotérmica Del Norte S.A., empresa subsidiaria de ENEL Chile.

Cabe destacar que durante la década de los 70, se realizó una campaña exploratoria por parte de CORFO y Nacionales Unidas en el área de los Géiseres de El Tatio, determinándose un potencial geotérmico de importancia.

En cuanto a la concesión geotérmica “El Tatio”, en 2007 comenzó a desarrollarse el proyecto “Perforación Geotérmica Profunda El Tatio, Fase I”, el cual planteaba como finalidad realizar perforaciones geotérmicas profundas en el sector del ex-campamento CORFO ubicado al sur del campo de Géiseres del Tatio, con el objetivo de verificar la factibilidad técnica y económica de producir energía eléctrica a partir de los recursos geotérmicos existentes.

Sin embargo, en la actualidad la concesión de explotación geotérmica se encuentra suspendida por parte de las autoridades, debido a un evento de erogación del pozo ET10, lo cual provocó la paralización de las faenas. Este evento y el proyecto, en el presente se encuentran

¹⁰ Etapa referida a las actividades de perforación, construcción, puesta en marcha y operación de un sistema de extracción, producción y transformación de fluidos geotérmicos en energía eléctrica o térmica. A partir de esto, la concesión de explotación concede el derecho a utilizar y aprovechar la energía geotérmica que se encuentra dentro de sus límites (ENEL 2011).

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

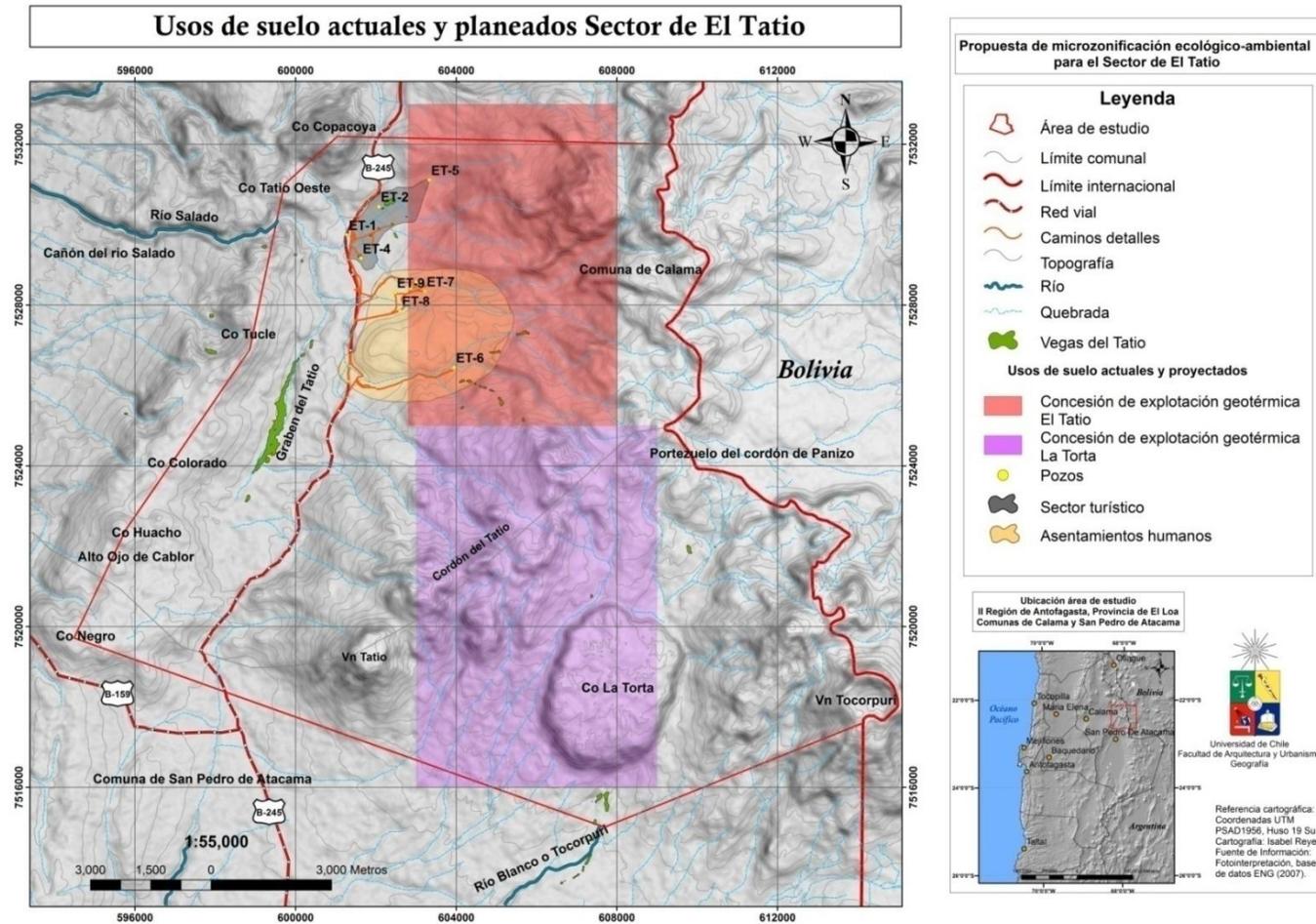
como objeto de varios procesos de sanción en trámite, lo cual será evaluado por un Panel de expertos extranjeros encargados por el Gobierno de Chile.

A partir de esto, la concesión geotérmica de “La Torta” también se encuentra en suspensión, debido a que este proyecto constituye la continuidad del reservorio de El Tatio hacia el sur, proyectado por los estudios de superficie por parte de GDN. Un pozo diamantino planificado para el año 2011 ha sido postergado para 2012, debido a la complejidad socio-ambiental del área Zoquete-La Torta.

En la figura a continuación (Fig. 25) se presentan los usos actuales y planeados para el sector de El Tatio.

Propuesta de microzonificación ecológica ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 25: Usos de suelos actuales y planeados



III. Evaluación Ambiental del Territorio

1. Evaluación de la sensibilidad por componente ambiental

Considerando las propiedades, características y las funciones ecológicas de cada componente ambiental del sector de El Tatio, las que presentan especial interés para el desarrollo de los ecosistemas y de la vida humana, se lleva a cabo la evaluación de sensibilidad. Los componentes a analizar son: Geología y vulcanología, geomorfología, suelos, clima, hidrología, vegetación, fauna, y paisaje escénico.

Para estos fines, es necesario llevar a cabo tres pasos:

- Evaluación de la importancia ecológica de los múltiples componentes ambientales, lo cual es evaluado principalmente mediante las funciones ecológico-ambientales¹¹.
- Evaluación de vulnerabilidad o susceptibilidad ambiental de ellos ante efectos derivados de usos, actividades u otro tipo de intervenciones antrópicas.
- Integración de la importancia ecológica con la vulnerabilidad para obtener la sensibilidad de los componentes ambientales.

1.2 Criterios de evaluación ambiental

En las siguientes tablas (10 a la 17), se presentan los criterios utilizados para cada uno de los componentes ambientales a analizar, con la finalidad de justificar la evaluación a desarrollarse en la matriz de sustentabilidad ambiental.

Para la ponderación de criterios de evaluación para cada componente ambiental, se utiliza la siguiente escala (Tabla 9):

¹¹ Por funciones ecológicas o ambientales se entiende aquellas que cumplen los diferentes componentes ambientales en el ecosistema y/o que son de especial interés por su importancia para la vida y el bienestar humano (GORE et al, 2002).

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Tabla 9: Escala de ponderación de criterios

Escala numérica	Escala verbal
2	Muy baja
4	Baja
6	Media
8	Alta
10	Muy alta
3-5-7	Valores intermedios

Fuente: Elaboración propia

1.2.1 Criterios de evaluación ambiental del componente geología y vulcanología

La evaluación del componente geología y vulcanología tiene como finalidad identificar:

- La distribución del recurso geológico dentro del área de estudio.
- Función eco-ambiental de los estratos geológicos.
- Zonas que presentan potencial de desarrollo geotérmico

En la tabla a continuación (Tabla 10), se presentan los principales criterios a analizar para el componente geología y vulcanismo, junto con sus ponderaciones:

Tabla 10: Criterios de evaluación del componente geología y vulcanología

Criterios	Justificación	Ponderación del criterio
Relieve	Este criterio alude a la diversidad de las formas del terreno, como la presencia de volcanes, y su influencia en el aspecto ambiental.	10
Naturalidad	El grado de naturalidad, directamente relacionado con el grado de intervención antrópica, es consecuente con la transformación de las características naturales de los estratos geológicos.	6
Singularidad	La singularidad de las formaciones geológicas evalúa lo que es específico o propio del área en relación con su influencia en el contexto ecológico-ambiental, como es el caso de las manifestaciones geotermales.	8

Fuente: Elaboración propia a partir de Guía Metodológica de Planificación Ecológica de Territorio, 2002

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

1.2.2 Criterios de evaluación ambiental para el componente Geomorfología

La evaluación del componente geomorfología tiene como finalidad identificar:

- Funciones eco-ambientales de la geomorfología: configuración de este y su rol en las condiciones climáticas locales y en la conformación de ambientes propicios para la existencia de ciertas especies de flora y fauna. También se considera su rol en el direccionamiento de la escorrentía superficial, lo que genera ambientes de humedales.

A continuación, se presentan los criterios a analizar para el componente de geomorfología, junto a sus ponderaciones (Tabla 11):

Tabla 11: Criterios de evaluación del componente geomorfología

Criterios	Justificación	Ponderación del criterio
Usos	El estado de las formas del terreno según el grado de intervención o tipo de uso/emplazamiento modifica no solo el paisaje, sino las funciones ecológico-ambientales que cumplen.	8
Relieve	Las distintas formas de relieve según sus características altimétricas, modelado, pendiente, rugosidad, etc., influyen en la diferenciación eco-ambiental, en la respuesta hidrológica y en la diferenciación de las condiciones de desierto de altura presentes en el área de estudio.	10

Fuente: Elaboración propia a partir de Guía Metodológica de Planificación Ecológica de Territorio, 2002

1.2.3 Criterios de evaluación ambiental para el componente Suelo

La evaluación del componente suelo tiene como finalidad identificar:

- Función reguladora: suelos que a partir de sus características físicas y químicas son apropiadas para almacenar, filtrar y absorber materia y energía, lo que es relevante para la captación de agua y contaminantes.
- Función de hábitat: suelos que por sus elevados grados de naturalidad y singularidad cumplen una función de hábitat para flora y fauna.
- Suelos que presentan impactos o riesgos significativos por contaminación y/o erosión.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

A continuación se presenta una tabla con los principales criterios a analizar (Tabla 12):

Tabla 12: Criterios considerados para la evaluación de suelos.

Criterios	Justificación	Ponderación del criterio
Cobertura vegetal	El grado de protección del suelo depende de la densidad de cobertura, lo cual tiene directa relación con la estabilidad del sistema ecológico.	6
Naturalidad	Este aspecto dice directa relación con la mantención/alteración de las características propias del suelo /estructura, morfología, textura y capacidad de uso, lo cual establece condiciones ambientales que regulan la presencia de vegetación nativa, así como la fauna asociada.	6
Singularidad	Este criterio alude a condiciones naturales especiales del suelo, las cuales establecen condiciones diferenciales de uso, cobertura y hábitat.	8
Erosión	A partir de este criterio es necesario distinguir la erosión como producto de un proceso ecológico natural y la erosión generada por los usos inadecuados del territorio.	10

Fuente: Elaboración propia a partir de Guía Metodológica de Planificación Ecológica de Territorio, 2002

1.2.4 Criterios de evaluación ambiental para el componente Clima

La evaluación del componente clima tiene la finalidad de identificar:

- Función bioclimática adecuada: Zonas con buenas condiciones climáticas y de calidad del aire.
- Función bioclimática perturbada: Zonas con carga de contaminantes o alto riesgo ecológico por contaminación atmosférica y/o térmica.
- Función compensatoria: Zonas del territorio y estructuras vegetacionales que aportan a la descontaminación y al bienestar bioclimático, por lo tanto, una función de descarga ambiental respecto al clima/aire.

A continuación se presentan los principales criterios de análisis para el subcomponente clima (Tabla 13).

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Tabla 13: Criterios de Evaluación para Clima

Criterios	Justificación	Ponderación del criterio
Calidad	Bajo este criterio la componente climática se evalúa en función de los niveles de contaminación atmosférica presentes en el área de estudio.	8
Relieve	Este criterio corresponde a la influencia del relieve sobre las condiciones climáticas del sector (orientación-exposición). Asimismo, se considerará de que manera las condiciones climáticas de cada unidad condicionan las funciones ecológicas del recurso hídrico y en la configuración de hábitats (Pisos altitudinales).	10

Fuente: Elaboración propia a partir de Guía Metodológica de Planificación Ecológica de Territorio, 2002

1.2.5 Criterios de evaluación ambiental del componente Hidrología

Aguas subterráneas

La evaluación del subcomponente aguas subterráneas presenta como finalidad identificar:

- Recarga: Áreas de importancia para la recarga del acuífero.
- Disponibilidad: Zonas en las cuales el acuífero presenta un volumen utilizable significativo.
- Carga/riesgo: Áreas con carga o riesgo ecológico considerable por contaminación, sellamiento, sobre uso y/o afloramiento por excavaciones.

A continuación se presentan los principales criterios de análisis para el subcomponente aguas subterráneas (Tabla 14).

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Tabla 14: Criterios de evaluación para el subcomponente aguas subterráneas

Criterios	Justificación	Ponderación del criterio
Calidad	La calidad de las aguas subterráneas tiene directa relación con el desarrollo de ambientes eco-ambientales y con la posibilidad de uso antropocéntrico en la planificación del territorio.	10
Volumen disponible	El volumen de agua subterránea disponible, junto al criterio de calidad, se constituye como un regulador del desarrollo de los sistemas ecológicos y de sus variaciones en el tiempo y el espacio.	10
Tasa de recarga	Este criterio, basado en la dinámica evolutiva del recurso bajo condiciones climáticas actuales, permite establecer condiciones de mantención o merma en la disponibilidad, lo que tiene efectos medioambientales directos.	8
Permeabilidad	Esta característica de los materiales acuíferos influye directamente en la facilidad con que el agua subterránea recibe recarga y el grado de movilidad que posee, lo cual genera diferencias biogeográficas espaciales y temporales.	8

Fuente: Elaboración propia a partir de Guía Metodológica de Planificación Ecológica de Territorio, 2002

Aguas superficiales

La evaluación del subcomponente aguas superficiales presenta como finalidad identificar:

- Cursos y cuerpos de agua con altos grados de naturalidad y/o singularidad
- Cursos y cuerpos de agua con carga o riesgo ecológico relevante por contaminación, artificialización, regulación de su régimen y/o extracción.

A continuación se presentan los principales criterios de análisis para el subcomponente aguas superficiales (Tabla 15).

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Tabla 15: Criterios de Evaluación para Hidrología

Criterios	Justificación	Ponderación del criterio
Calidad	La calidad de las aguas superficiales en cuanto a naturaleza química y biológica, o la alteración de esta, influye directamente en la posibilidad de uso como en la respuesta del medio natural.	10
Volumen disponible	El volumen disponible respecto de las necesidades del sistema natural y el antrópico,	10
Naturalidad	Alude a la condición del cuerpo de agua en relación a su situación natural, integrando en el análisis el estado de riberas y cajas de los ríos/esteros.	6
Reservorio de agua	Las cuencas altas y medias de la Cordillera de los Andes son los principales reservorios de agua dulce en el país. En este sentido, se evalúa el grado y tipo de intervención en cuanto pone en riesgo esta función.	8

Fuente: Elaboración propia a partir de Guía Metodológica de Planificación Ecológica de Territorio, 2002

1.2.6 Criterios de evaluación ambiental del componente Vegetación y Fauna.

La evaluación del componente vegetación y fauna tiene como finalidad identificar:

- Hábitat con especies relevantes.
- Hábitats potencialmente relevantes para especies amenazadas.
- Hábitats con impactos relevantes por intervención humana.
- Hábitats con requerimientos de manejo.

A continuación se presentan los principales criterios a analizar (Tabla 16)

Tabla 16: Criterios considerados para la evaluación de vegetación y fauna.

Criterios	Justificación	Ponderación del criterio
Naturalidad	La naturalidad se refiere al grado de intervención de cualquiera de las componentes del hábitat natural.	8
Singularidad	Este criterio alude a lo particular o propio de las especies presentes en el área respecto del nivel regional, nacional e incluso mundial.	8
Biodiversidad	Alude al grado de diversidad biológica presente en el ecosistema local.	10

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Protección	La presencia o ausencia de áreas de vegetación y/o fauna protegidas por Ley es un criterio que incide en la evaluación ambiental.	6
-------------------	---	---

Fuente: Elaboración propia a partir de Guía Metodológica de Planificación Ecológica de Territorio, 2002

1.2.7 Criterios de evaluación ambiental del componente Paisaje escénico

La evaluación del componente paisaje escénico tiene como objetivo identificar:

- Áreas de interés recreativo.
- Áreas con aptitud/potencial para una restauración/recuperación cercana a lo natural.
- Áreas que expresan el paisaje cultural formado como consecuencia de procesos históricos.
- Áreas que presentan las cualidades recién señaladas, pero además se encuentran expuestas a cargas relevantes por contaminación, destrucción, segregación, etc.

En la siguiente tabla (Tabla 17) se exponen los principales criterios de evaluación para el componente paisaje escénico:

Tabla 17: Criterios de Evaluación para paisaje escénico

Criterios	Justificación	Ponderación del criterio
Naturalidad	Alude al grado de intervención presente en el paisaje. La presencia de vegetación nativa corresponde a un indicador de alta naturalidad.	10
Singularidad	Corresponde a lo especial o único del paisaje local en el contexto regional, nacional e incluso mundial.	10
Diversidad	Se refiere a la diversidad de unidades de paisaje, así como también a elementos al interior de estas.	8
Relieve	De acuerdo a las características de las formas de relieve se diferencian unidades de paisaje según su atractivo.	6
Agua	La existencia de cursos y cuerpos de agua se considera como un elemento del atractivo paisajístico.	6

Fuente: Elaboración propia a partir de Guía Metodológica de Planificación Ecológica de Territorio, 2002

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

1.3 Sensibilidad ambiental

La Sensibilidad Ambiental (SA) se determina en función de la Importancia Ecológica (IE) y la Vulnerabilidad (V), siendo una relación directamente proporcional en ambos casos. Ello implica que en la medida que suba o baje la IE y/o la V, en igual sentido variará la SA.

La relación para establecer la Importancia Ecológica y la Vulnerabilidades es la misma, variando la ponderación y el estado de los criterios en cada caso:

$$I \text{ ó } V = [n(PC \times A)]/N^{\circ} \text{ de Criterios}$$

Donde: I ó V= Importancia Ecológica o Vulnerabilidad

PC: Ponderación del criterio (de 1-menor a 10-mayor ponderación o peso del criterio de cada componente ambiental)

A (Estado del criterio): Alto-3, Medio-2 o Bajo-1

Los resultados indican que a mayor ponderación y mayor estado del criterio, mayor es la IE o la V, por lo que la sensibilidad ambiental también es mayor. Conforme al universo de resultados posibles para la Importancia Ecológica y para la Vulnerabilidad, los que van de un mínimo de 1 y un máximo de 27 en ambos casos, la Sensibilidad Ambiental (SA) en tanto, varía entre ambos valores.

Luego se asume que los niveles cualitativos de Sensibilidad Ambiental corresponden a los siguientes valores:

Alta	21-27
Media	14-20
Baja	7-13

En las tablas siguientes (Tabla 18 a 25) se establece la SA según la IE y V de cada componente ambiental.

Propuesta de microzonificación ecológica ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Tabla 18: Sensibilidad ambiental del componente Geología y vulcanología

Unidades de análisis	Importancia ecológica	Vulnerabilidad	Sensibilidad	Sensibilidad
Und. Volcánica Cuaternaria	$((10x3)+(6x2)+(8x1)) / 3 = 17$ M	$((10x1)+(6x2)+(8x1))/3=10$ B	$27/2=14$	Media
Und. Depósitos	$((10x2)+(6x2)+(8x1)) / 3 = 13$ B	$((10x1)+(6x2)+(8x1))/3=10$ B	$22/2=12$	Baja
Und. Géiser del Tatio	$((10x3)+(6x2)+(8x3)) / 3 = 22$ A	$((10x3)+(6x3)+(8x3))/3=24$ A	$46/2=23$	Alta

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Sensibilidad ambiental del componente Geomorfología

Unidades de análisis	Importancia ecológica	Vulnerabilidad	Sensibilidad	Sensibilidad
Und. Graben del Tatio	$((8x2)+(10x3)) / 2 = 23$ A	$((10x2)+(8x3))/2= 22$ A	$45/2=22$	Alta
Und. Domo- Vn. Tocarपुरi	$((8x3)+(10x2)) / 2 = 22$ A	$((10x1)+(8x1))/2=9$ B	$31/2=15$	Media
Und. Vn. Tatio- Co del Tatio	$((8x3)+(10x2)) / 2 = 22$ A	$((10x1)+(8x1))/2=9$ B	$31/2=15$	Media
Und. Horst de Tucle	$((8x3)+(10x2)) / 2 = 22$ A	$((10x1)+(8x1))/2=9$ B	$31/2=15$	Media

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: Sensibilidad ambiental del componente Suelos

Unidades de análisis	Importancia ecológica	Vulnerabilidad	Sensibilidad	Sensibilidad
Und. Sin erosión	$((6x3)+(6x3)+(8x3)+(10x3)) / 4 = 22$ A	$((6x1)+(6x2)+(8x2)+(10x1))/4=11$ B	$33/2=16$	Media
Und. Erosión ligera	$((6x2)+(6x3)+(8x3)+(10x2)) / 4 = 15$ M	$((6x1)+(6x2)+(8x2)+(10x2))/4=14$ M	$29/2=15$	Media
Und. Erosión moderada	$((6x2)+(6x1)+(8x1)+(10x2)) / 4 = 11$ B	$((6x2)+(6x2)+(8x2)+(10x2))/4=15$ M	$26/2=13$	Baja
Und. Erosión severa	$((6x1)+(6x1)+(8x1)+(10x1)) / 4 = 7$ B	$((6x3)+(6x3)+(8x3)+(10x3))/4=22$ A	$29/2=14$	Media
Und. Erosión muy severa	$((6x1)+(6x1)+(8x1)+(10x1)) / 4 = 7$ B	$((6x3)+(6x3)+(8x3)+(10x3))/4=22$ A	$29/2=14$	Media
Und. Litosoles y regosoles	$((6x1)+(6x1)+(8x1)+(10x1)) / 4 = 7$ B	$((6x1)+(6x1)+(8x1)+(10x1))/4=7$ B	$14/2=7$	Baja

Fuente: Elaboración propia

Propuesta de microzonificación ecológica ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Tabla 21: Sensibilidad ambiental del componente Clima

Unidades de análisis	Importancia ecológica	Vulnerabilidad	Sensibilidad	Sensibilidad
Und. Altas cumbres	$((8 \times 3) + (10 \times 3)) / 2 = 27$ A	$((8 \times 1) + (10 \times 3)) / 2 = 19$ M	$46 / 2 = 23$	Alta
Und. Cerros-cuenca sector sur	$((8 \times 2) + (10 \times 2)) / 2 = 18$ M	$((8 \times 1) + (10 \times 3)) / 2 = 19$ M	$37 / 2 = 18$	Media
Und. Cerros cuenca sector norte	$((8 \times 2) + (10 \times 2)) / 2 = 18$ M	$((8 \times 1) + (10 \times 3)) / 2 = 19$ M	$37 / 2 = 18$	Media

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22: Sensibilidad ambiental del componente Hidrología

Unidades de análisis	Importancia ecológica	Vulnerabilidad	Sensibilidad	Sensibilidad
Und. Acuíferos	$((10 \times 3) + (10 \times 3) + (8 \times 3) + (8 \times 3)) / 4 = 27$ A	$((10 \times 2) + (10 \times 3) + (8 \times 3) + (8 \times 1)) / 4 = 20$ M	$47 / 2 = 23$	Alta
Und. Subcuenca del río Salado	$((10 \times 3) + (10 \times 2) + (6 \times 3) + (8 \times 2)) / 4 = 21$ A	$((10 \times 2) + (10 \times 2) + (6 \times 2) + (8 \times 3)) / 4 = 19$ M	$40 / 2 = 20$	Media
Und. Subcuenca del río San Pedro	$((10 \times 3) + (10 \times 2) + (6 \times 3) + (8 \times 2)) / 4 = 21$ A	$((10 \times 2) + (10 \times 2) + (6 \times 2) + (8 \times 3)) / 4 = 19$ M	$40 / 2 = 20$	Media

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Sensibilidad ambiental del componente Vegetación

Unidades de análisis	Importancia ecológica	Vulnerabilidad	Sensibilidad	Sensibilidad
Und. Estepa Altiplánica	$((8 \times 2) + (8 \times 3) + (10 \times 3) + (6 \times 3)) / 4 = 22$ A	$((8 \times 2) + (8 \times 2) + (10 \times 2) + (6 \times 2)) / 4 = 16$ M	$38 / 2 = 19$	Media
Und. Sector de vegas	$((8 \times 3) + (8 \times 3) + (10 \times 3) + (6 \times 3)) / 4 = 24$ A	$((8 \times 2) + (8 \times 3) + (10 \times 2) + (6 \times 2)) / 4 = 18$ M	$42 / 2 = 21$	Alta
Und. Sin vegetación	$((8 \times 1) + (8 \times 1) + (10 \times 1) + (6 \times 1)) / 4 = 8$ B	$((8 \times 1) + (8 \times 1) + (10 \times 1) + (6 \times 1)) / 4 = 8$ B	$16 / 2 = 8$	Baja

Fuente: Elaboración propia

Propuesta de microzonificación ecológica ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Tabla 24: Sensibilidad ambiental del componente Fauna

Unidades de análisis	Importancia ecológica	Vulnerabilidad	Sensibilidad	Sensibilidad
Und. Sector de vegas	$((8 \times 3) + (8 \times 3) + (10 \times 3) + (6 \times 3)) / 4 = 24$ A	$((8 \times 2) + (8 \times 3) + (10 \times 2) + (6 \times 2)) / 4 = 18$ M	$42 / 2 = 21$	Alta
Und. Sector en torno al camino-sector de avistamientos.	$((8 \times 2) + (8 \times 3) + (10 \times 3) + (6 \times 3)) / 4 = 22$ A	$((8 \times 3) + (8 \times 3) + (10 \times 2) + (6 \times 2)) / 4 = 20$ M	$42 / 2 = 21$	Alta

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: Sensibilidad ambiental del componente Paisaje escénico

Unidades de análisis	Importancia ecológica	Vulnerabilidad	Sensibilidad	Sensibilidad
Und. Sector de asentamientos	$((10 \times 2) + (10 \times 2) + (8 \times 3) + (6 \times 2) + (6 \times 1)) / 5 = 16$ M	$((10 \times 2) + (10 \times 2) + (8 \times 2) + (6 \times 1) + (6 \times 2)) / 5 = 15$ M	$31 / 2 = 15$	Media
Und. Sector turístico	$((10 \times 3) + (10 \times 3) + (8 \times 3) + (6 \times 3) + (6 \times 3)) / 5 = 24$ A	$((10 \times 2) + (10 \times 3) + (8 \times 2) + (6 \times 3) + (6 \times 3)) / 5 = 19$ M	$43 / 2 = 21$	Alta
Und. Sector de Altas cumbres	$((10 \times 3) + (10 \times 2) + (8 \times 2) + (6 \times 3) + (6 \times 3)) / 5 = 20$ M	$((10 \times 1) + (10 \times 1) + (8 \times 1) + (6 \times 1) + (6 \times 2)) / 5 = 9$ B	$29 / 2 = 14$	Media

Fuente: Elaboración propia

Análisis de Sensibilidad Ambiental para el sector de El Tatio

A partir del cálculo de Sensibilidad Ambiental, considerando la sumatoria de la Importancia Ecológica y Vulnerabilidad, se obtienen los siguientes resultados: Media (15), Alta (8) y Baja (4).

A continuación, se presenta en detalle la justificación de las ponderaciones de importancia ecológica y vulnerabilidad para cada componente ambiental.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

1. Análisis del componente geología y vulcanología

Geología y vulcanología	
Importancia ecológica	Vulnerabilidad
<p>Los resultados de las ponderaciones para las unidades de análisis del componente geología varían entre Alta, Media y Baja. La unidad denominada Géiser del Tatio presenta un valor Alto, debido a la presencia del campo geotérmico del mismo nombre, caracterizado por la actividad geotermal manifestada a través de géiseres, pozas de agua, fumarolas y vertientes. A partir de esta zona, se origina el río Salado, curso de agua de gran relevancia dentro del contexto de desierto en que se emplaza el área de estudio. Por otra parte, este campo geotérmico se constituye como el más grande a nivel del hemisferio sur, y el tercero a nivel mundial.</p> <p>En cuanto a la unidad volcánica cuaternaria, esta presenta un valor Medio, producto de que el relieve, generado por el volcanismo presente en este sector, determinó condiciones ambientales y pisos altitudinales de influencia hidrológica, climática y biótica. Por otra parte, la actividad volcánica secundaria contribuye a general condiciones climáticas más templadas respecto al entorno altiplánico.</p>	<p>La ponderación en cuanto a la vulnerabilidad, en las unidades volcánicas cuaternarias y de depósitos, corresponde a Baja y Alta, debido a la escasa susceptibilidad de las formaciones geológicas de ser afectadas por acción antrópica. Sin embargo, la unidad de Géiser del Tatio presenta una vulnerabilidad Alta, debido a que la preservación del campo geotérmico puede verse afectada a partir de actividades de explotación geotérmica planeadas para el área de estudio.</p>

Fuente: Elaboración propia

2. Análisis del componente geomorfología

Geomorfología	
Importancia ecológica	Vulnerabilidad
<p>La ponderación para todas las unidades de geomorfología corresponde a Alta. Sobre la zona de la unidad Graben del Tatio, se desarrolla actividad geotermal. Las fuentes de agua caliente se localizan sobre una gran superficie de coladas de bloques y depósitos aluviovolcánicos en la zona inferior. El agua subterránea se calienta a través de circulación profunda, la cual se desplaza por planos de fractura que afectan tanto el basamento mesozoico, como las formaciones suprayacentes. Esta agua se calienta mediante el escurrimiento cercano a las cámaras magmáticas. En esta zona tiene su origen el río Salado, con la confluencia de diversos cursos fluviales menores.</p> <p>Por otra parte, las unidades compuestas por volcanes y cerros, destacan por su gran altura, el carácter volcánico de que están revestida, por la persistencia de nieve en las altas cumbres y por constituir un verdadero biombo climático para las masas de aire que provienen de la cuenca amazónica.</p>	<p>La vulnerabilidad se presenta Baja en las unidades Domo La torta-volcán Tocorpuri, volcán Tatio-Cordón cerros del Tatio y Horst de Tucle, esto producto de la escasa intervención de actividades antrópicas. La diferenciación para el sector del Graben del Tatio, se explica a partir de la existencia de actividad termal, la cual puede verse alterada notablemente a partir de la intervención de actividades humanas.</p>

Fuente: Elaboración propia

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

3. Análisis del componente suelos

Suelos	
Importancia ecológica	Vulnerabilidad
<p>La ponderación para las unidades de suelo varía (Alto, Medio y Bajo), lo cual se explica mayormente a partir del grado de erosión que se detecta. La unidad Sin erosión presenta una Alta importancia ecológica, debido a que esta categoría corresponde a suelos que no presentan alteraciones o signos de pérdida. Estas características permiten el desarrollo de vegetación de tipo azonal, representado en las formaciones de vegas.</p> <p>Las unidades que presentan una menor ponderación, mantienen condiciones de suelo que dificultan el desarrollo de especies vegetacionales producto de su grado de erosión y deterioro. Cabe destacar que estos suelos han sido afectados durante milenios por procesos de erosión de origen geológico.</p>	<p>La ponderación de vulnerabilidad para las unidades de suelo varía entre Medio y Bajo. Las unidades que manifiestan una Media vulnerabilidad, presentan suelos con un alto grado de erosión y deterioro, junto con una menor presencia de cubierta vegetal, por lo cual se encuentran más susceptibles a sufrir daños ante actividades de uso intensivo. Por otra parte, las zonas que presentan una ponderación Baja, se debe a que el riesgo actual y potencial de erosión hídrica que prevalece es bajo, por cuanto las precipitaciones medias anuales son casi nulas y la agresividad climática es muy baja.</p>

Fuente: Elaboración propia

4. Análisis componente clima

Clima	
Importancia ecológica	Vulnerabilidad
<p>Los resultados de la importancia para el componente climático presentan variaciones entre Alto y Medio. En cuanto a la calidad del aire, en términos generales no existen mediciones para este sector que indiquen una condición de contaminación, sin embargo se estima que existen bajas concentraciones de material particulado, producto de la existencia de fuentes móviles destinadas a la actividad turística (Medio).</p> <p>Considerando la unidad de altas cumbres, esta zona presenta los mayores índices de precipitaciones dentro del área de estudio, constituyéndose como la principal zona de reserva de agua (Alto). Por otra parte, se constituye como la principal barrera ante las influencias de los vientos alisios del este.</p>	<p>Considerando el estado de vulnerabilidad, las unidades de análisis presentan el valor Medio. Esto se debe principalmente a las condiciones desérticas existentes. Esta zona, al igual que el resto del país, se encuentra afectada por variaciones climáticas que tendrían su origen en la acumulación de calor en las masas de aire, lo que conlleva el denominado efecto invernadero como resultado del calentamiento global. Durante los últimos años, esta situación ha venido impidiendo la conservación de hielo en las altas cumbres. Este hecho podría disminuir la capacidad de las altas cumbres de actuar como reservorio natural de agua para su posterior utilización en el periodo estival, con lo cual se arriesga el poder contar con este recurso en la época en que se incrementa la demanda del sistema natural y antrópico por el aumento de la temperatura.</p>

Fuente: Elaboración propia

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

5. Análisis componente hidrología

Hidrología	
Importancia ecológica	Vulnerabilidad
<p>La importancia ecológica para la unidad del acuífero presenta una ponderación Alta. Esto se debe, por una parte, a que en esta zona, los montos de recarga del amplio sistema hidrogeológico serían significativos. A manera de aproximación, si se contempla una infiltración profunda del 30% de las precipitaciones medias anuales sobre la zona, y un área acuífera de 100 km², se presenta una recarga media de 150 l/s. aproximadamente. No se cuentan con estudios de calidad de aguas a nivel subterráneo. Por último, cabe destacar que otro elemento de importancia relacionado a las aguas subterráneas corresponde a que el acuífero presente constituye un área protegida, debido a que sobre esta unidad existen vegas. La importancia de las demás unidades de análisis (Alta) radica en que estas zonas se encuentran insertas en el área de recarga efectiva que conforman las cabeceras de las subcuencas del Loa. Los escasos montos de precipitaciones registradas en el sector andino así como su alta concentración estacional condicionan el nivel de escorrentía a lo largo de la red de drenaje.</p>	<p>La vulnerabilidad para las unidades de análisis es de Medio. Esto radica en que en esta zona, existen una serie de problemáticas asociadas al recurso hídrico, en donde el mayor conflicto alude a la escasez, por lo que la recarga del acuífero presenta una alta susceptibilidad de ser afectado ante acciones antrópicas que demanden el uso del agua. Sin embargo, no existen índices de contaminación de los acuíferos, por lo cual la ponderación de vulnerabilidad es Media.</p>

Fuente: Elaboración propia

6. Análisis del componente vegetación

Vegetación	
Importancia ecológica	Vulnerabilidad
<p>Para las unidades de análisis del componente de vegetación se presenta una ponderación que varía entre Alto y Bajo. La ponderación de Alto, se adjudica a la totalidad de las zonas que presentan vegetación (zonal y azonal), mientras que el sector que presenta un valor Bajo, corresponde a la zona de altas cumbres, donde no se presenta vegetación. La importancia ecológica para la componente vegetacional radica en constituir un hábitat para el desarrollo de múltiples especies, ya sean mamíferos, aves, reptiles o anfibios, lo cual es clave para la conservación de la fauna de este tipo de paisaje, el cual se ve enfrentado constantemente a condiciones de vida extrema.</p>	<p>En cuanto a la vulnerabilidad de este componente ambiental, se presenta una variación entre Medio y Bajo, debido mayormente al alto grado de naturalidad que presenta la vegetación dentro del área de estudio, contrastado con una escasa intervención antrópica (mayormente turística) de la zona.</p>

Fuente: Elaboración propia

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

7. Análisis del componente fauna

Fauna	
Importancia ecológica	Vulnerabilidad
<p>En cuanto al valor de importancia ecológica para la componente de fauna, se presenta una ponderación Alta en ambas unidades de análisis. Esto se debe, por una parte, a la existencia de sistemas vegetacionales de alta particularidad (Unidad de vegas), los cuales corresponden a un ambiente de humedal. Esta situación condiciona la existencia de fauna que requiere estas condiciones de hábitat, como los anfibios y avifauna catastrados en la etapa de inventario. Destaca una gran relevancia en la biodiversidad presente, debido a que las condiciones naturales imponen restricciones a los seres vivos, favoreciendo el desarrollo de endemismo. Por otra parte, cabe destacar la existencia de especies en Peligro de extinción, las cuales se emplazan en gran parte del área de estudio.</p>	<p>Destaca la existencia de especies en Peligro de extinción y en la categoría de Vulnerable, las cuales se emplazan en gran parte del área de estudio (Por ejemplo Suris y Vicuñas), confiriendo un grado de vulnerabilidad Media, al igual que en el sector de vegas, producto de la escasa intervención humana.</p>

Fuente: Elaboración propia

8. Análisis componente paisaje escénico

Paisaje escénico	
Importancia ecológica	Vulnerabilidad
<p>La importancia ecológica para las unidades del componente paisaje presentó variaciones entre Alto y Medio. La unidad del Sector turístico presenta una Alta singularidad, debido a que esta zona es definida como el Géiser más grande del hemisferio sur y tercero a nivel mundial. Los cerros a los alrededores presentan riquezas de formas lo que incrementa la calidad visual de la unidad. Por otra parte, se presenta fauna permanentemente, en donde destacan las Vicuñas y los Suris en el área de los geiseres, mientras que las Vizcachas en los cerros. En esta zona la presencia de vegetación es menor, pero destaca las manifestaciones geotermales como el elemento de mayor valor estético. En esta unidad, las manifestaciones humanas presentan una baja incidencia en el paisaje y no reducen su calidad visual.</p> <p>En cuanto a la unidad de asentamientos, esta zona ha perdido cierto grado de naturalidad, debido a que hechos históricos han modificado la estructura original que presentaba el paisaje (Media). Finalmente, la unidad de altas cumbres destaca por presentar una alta diversidad en el relieve, pero con un grado de singularidad menor que el resto de las unidades (Media).</p>	<p>Con respecto a la vulnerabilidad, se presentaron variaciones entre las diferentes unidades de análisis (Medio y Bajo). Esta calificación dependió del nivel de cargas de cada zona y de los usos que se presentan. El sector turístico presenta una vulnerabilidad Media, debido a un fuerte desarrollo de turismo en la zona, el cual se ha ido acrecentando durante los últimos años. La unidad de asentamientos presenta una vulnerabilidad media debido a la existencia de intervención antrópica derivada de exploración geotérmica. Por último, la unidad de altas cumbres representa una vulnerabilidad baja producto de su inaccesibilidad para realizar actividades productivas.</p>

Fuente: Elaboración propia

2. Evaluación de intensidad potencial de efectos por usos de suelo

Considerando las características de los efectos ambientales de usos, actividades u otro tipo de intervenciones humanas sobre las componentes ambientales del área de estudio, se presenta a continuación la evaluación de Intensidad Potencial de efectos en los niveles cualitativos de Alto, Medio y Bajo.

En la siguiente tabla (Tabla 26), se presentan las categorías de uso de suelo a analizar, así como también los potenciales efectos que cada tipología puede provocar sobre las distintas componentes del ambiente consideradas en esta investigación.

Tabla 26: Usos de suelo actual y proyectado, sus características y sus efectos potenciales

Categoría	Usos de suelo	Efectos potenciales
1. Conservación, zona sin intervención.	Conservación de ambientes naturales. Establecimiento de áreas protegidas.	Los efectos ambientales de las áreas de protección son de carácter positivo, ya que promueven la preservación y/o conservación del medioambiente (dependiendo de la categoría). Esto puede visualizarse a partir de los planes de manejo, los cuales tienen como objetivo orientar el uso y control de los recursos de las áreas naturales.
2. Zona de uso mixto (industrial y equipamiento).	Concesiones de explotación geotérmicas, perforación de pozos, construcción y mejoramiento de la red vial, construcción de campamento para el desarrollo geotérmico, líneas de alta tensión.	<p>En términos generales, son múltiples los efectos que este tipo de uso de suelo puede tener sobre el medio ambiente, los cuales dependerán de la actividad que se quiera desarrollar.</p> <p>En cuanto a la actividad de desarrollo geotérmico, los efectos pueden diferenciarse a partir de la etapa del proyecto (Ver Anexo 1)</p> <p>La construcción de caminos de acceso puede ocasionar la destrucción de áreas naturales, mientras que la perforación de pozos y la construcción de la planta geotérmica pueden provocar perturbaciones en el ecosistema: ruido, polvo, humos y posible erosión de suelos.</p> <p>Posible contaminación de aguas superficiales y subterráneas.</p> <p>También, aunque en mucho menor grado, existe la posibilidad de disminuir los niveles de agua subterránea, con las consiguientes pérdidas de presión, hundimiento de terreno, compactación de formaciones rocosas, etc.</p> <p>Por último, hay que señalar que las plantas de aprovechamiento de la energía geotérmica pueden estar sometidas a potenciales sucesos catastróficos.</p>

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

3. Turismo y recreación	Visitas guiadas, establecimiento de señaléticas, instalaciones turísticas, rutas de excursiones.	El desarrollo del turismo y recreación puede presentar un impacto medio en el territorio, dependiendo del tipo de actividades y la cantidad de turistas. Los principales potenciales efectos son la generación de residuos y las huellas de vehículos.
4. Zona de conservación histórica y patrimonial.	Emplazamiento del ex campamento CORFO, el camino y área que conecta a los pozos de reinyección.	No presenta efectos sobre el medio ambiente significativos. Los efectos potenciales que puede presentar este tipo de suelos se asimila a los del uso de suelo con fines turísticos.
5. Zona de uso tecnológico e investigación	Investigación y desarrollo de actividades geotérmicas, estudio de estructuras geológicas de alto interés, considerando las formaciones geológicas, materiales, suelos, escurrimiento de lavas, entre otras actividades de interés científico destinadas a investigación. Asimismo, podrían desarrollarse estudios sobre la flora y fauna de la zona.	Los efectos que podría generar este tipo de actividades sobre el territorio podrían ser de carácter positivo, ya que el desarrollo de estudios en esta zona podría motivar la conservación y/o preservación de áreas naturales a partir de los resultados. Sin embargo, la instalación de campamentos para el desarrollo de estudios podría tener un impacto menor, por la generación de residuos y huella de vehículos.

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente matriz (Tabla 27), se expresan los resultados de la Intensidad de Impacto Potencial en tres niveles (Alto, Medio y Bajo), para las diferentes unidades de análisis de cada componente ambiental.

Propuesta de microzonificación ecológica ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Tabla 27: Matriz de efectos potenciales de usos de suelo

	Conservación	Industrial-equipamiento	Turismo-recreación	Conservación histórico-patrimonial	Uso tecnológico-investigación	Intensidad
Geología						
1. Unidad volcánica Cuaternaria	Baja	Media	Baja	Baja	Bajo	Baja
2. Unidad depósitos morrénicos, sedimentarios y aluviales.	Baja	Media	Baja	Bajo	Bajo	Baja
3.Unidad Géiser del Tatio	Baja	Alta	Media	Bajo	Medio	Alta
Suelos						
4.Cuenca Graben de El Tatio	Baja	Alta	Media	Baja	Media	Alta
5.Unidad Domo La Torta-Volcán Tocorpuri	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
6.Unidad volcán Tatio- Cordón cerros del Tatio	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
7.Unidad Horst de Tucle	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Suelos						
8.Unidad sin erosión	Baja	Media	Baja	Baja	Baja	Baja
9.Unidad erosión ligera	Baja	Media	Baja	Baja	Baja	Baja
10.Unidad erosión moderada	Baja	Alta	Baja	Baja	Baja	Baja
11.Unidad erosión severa	Baja	Alta	Media	Media	Media	Media
12.Unidad erosión muy severa	Baja	Alta	Media	Media	Media	Media
13.Unidad litosoles y regosoles	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Clima						
14.Unidad altas cumbres	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
15.Unidad cerros-cuenca sector sur	Baja	Media	Baja	Baja	Media	Media
16.Unidad cerros-cuenca sector norte	Baja	Media	Baja	Baja	Media	Media
Hidrología						
17.Unidad acuífero	Baja	Alta	Baja	Baja	Media	Media
18.Unidad subcuenca del río Salado	Baja	Media	Baja	Baja	Baja	Media
19.Unidad subcuenca del río San Pedro	Baja	Media	Baja	Baja	Baja	Media

Propuesta de microzonificación ecológica ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Vegetación						
20.Unidad Estepa altiplánica	Baja	Media	Baja	Baja	Baja	Baja
21.Unidad sector de vegas	Baja	Media	Media	Baja	Media	Media
22.Unidad sin vegetación	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Fauna						
23.Sector de vegas	Baja	Media	Media	Bajo	Media	Media
24. Sector en torno al camino-sector de avistamientos.	Baja	Media	Media	Medio	Baja	Media
Paisaje escénico						
25. Sector de asentamientos humanos	Baja	Media	Baja	Bajo	Baja	Baja
26.Sector turístico Géiser del Tatio	Baja	Alta	Media	Bajo	Media	Media
27.Sector de Altas cumbres	Baja	Baja	Baja	Bajo	Baja	Baja

Fuente: Elaboración propia

1.3 Evaluación del Riesgo Ecológico

Considerando los resultados de la evaluación de sensibilidad de los componentes ambientales en relación con la intensidad potencial de efectos, se obtiene el Riesgo Ecológico de las componentes ambientales en cada área homogénea.

En la siguiente matriz (Tabla 28), se presentan los resultados del Riesgo Ecológico, a partir de la integración entre la Sensibilidad e Intensidad Potencial de efectos.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Tabla 28: Riesgo ecológico por componente ambiental

Matriz de importancia sensibilidad	Sensibilidad ambiental	Intensidad de efectos	Riesgo ecológico
Componentes ambientales			
Geología			
1. Unidad volcánica Cuaternaria	Media	Baja	Bajo
2. Unidad depósitos morrénicos, sedimentarios y aluviales.	Baja	Baja	Bajo
3. Unidad Géiser del Tatio	Alta	Alta	Alto
Geomorfología			
1. Unidad Graben del Tatio	Alta	Alta	Alto
2. Unidad Domo La Torta-Volcán Tocarपुरi	Media	Baja	Bajo
3. Unidad volcán Tatio- Cordón cerros del Tatio	Media	Baja	Bajo
4. Unidad Horst de Tucle	Media	Baja	Bajo
Suelos			
1. Unidad sin erosión	Media	Baja	Medio
2. Unidad erosión ligera	Media	Baja	Medio
3. Unidad erosión moderada	Baja	Baja	Bajo
4. Unidad erosión severa	Media	Media	Medio
5. Unidad erosión muy severa	Media	Media	Medio
6. Unidad de litosoles y regosoles	Baja	Baja	Bajo
Clima			
1. Unidad altas cumbres	Alta	Baja	Medio
2. Unidad cerros-cuenca sector sur	Media	Media	Medio
3. Unidad cerros-cuenca sector norte	Media	Media	Medio
Hidrología			
1. Unidad acuífero	Alta	Media	Alto
2. Unidad subcuenca del río Salado	Media	Media	Medio
3. Unidad subcuenca del río San Pedro	Media	Media	Medio
Vegetación			
1. Unidad Estepa altiplánica	Media	Baja	Medio
2. Unidad sector de vegas	Alta	Media	Alto
3. Unidad sin vegetación	Baja	Baja	Bajo
Fauna			
1. Unidad Sector de vegas	Alta	Media	Alto
2. Unidad Sector en torno al camino-sector de avistamientos.	Alta	Media	Alto
Paisaje escénico			
1. Unidad Sector de asentamientos humanos	Media	Baja	Medio
2. Unidad Sector turístico Géiser del Tatio	Alta	Media	Alto
3. Unidad altas cumbres	Media	Media	Medio

Fuente: Elaboración propia

Análisis de la matriz de Riesgo Ecológico

A partir de los resultados de la matriz anterior, se obtiene como resultado más representativo de la Evaluación del Riesgo Ecológico el valor Medio (12), seguido de Bajo (8) y Alto respectivamente (7).

Las unidades que representan un mayor Riesgo Ecológico corresponden a unidades que se localizan en la zona de los Géiser del Tatio, asociado al complejo sistema hidrogeológico que constituye el Campo Geotérmico del mismo nombre, localizado en la depresión volcánico-tectónica conocida como Graben.

El Riesgo Ecológico se debe, por una parte, como resultado de una Alta sensibilidad Ambiental, sustentada en la singularidad que representa la zona de los Géiser, junto a la relevancia ambiental que sustenta la circulación hidrogeológica, la cual permite la existencia de manifestaciones geotermales (gran atractivo turístico), el desarrollo de vegas (con su respectiva vegetación azonal y fauna propia de estas zonas, como aves y reptiles), y de su incidencia en el sistema hidrológico (origen del río Salado).

Por otra parte, el resultado del Riesgo Ecológico en esta zona se debe a un mayor índice de Impacto potencial de actividades humanas, producto a la sensibilidad de este sistema, el cual presenta como antecedente el episodio de erogación de un pozo de exploración geotérmica (2007), representando una paralización de las obras de desarrollo geotérmico, atentando contra el desarrollo turístico de esta zona. El impacto de este tipo de obras (equipamiento direccionado al desarrollo geotérmico), puede modificar el sistema de circulación subterránea que sustenta el campo geotérmico, pudiendo presentar consecuencias en los demás componentes ambientales, debido a la manera integrada en que se desarrolla el sistema en esta zona.

En el próximo apartado, se desarrolla el Concepto Rector del ordenamiento territorial para el sector del Tatio, para la cual se consideró tanto los lineamientos de instituciones de carácter público como privado, con el fin de generar un planeamiento que integre los diferentes actores sociales con injerencia en esta zona.

IV. Concepto Rector

A continuación, con el objetivo de desarrollar los objetivos ambientales zonificados, se presentan las visiones a futuro, ya sea de privados o de instituciones de carácter público, que se tienen sobre el Sector de El Tatio.

Sector público

1. Gobierno Regional de Antofagasta: A través de la Estrategia de Desarrollo Regional 2009-2020 Región de Antofagasta, el Gobierno Regional plantea los siguientes objetivos:

- Proteger el recurso hídrico mediante una eficiente administración, en relación con las condiciones regionales de extrema aridez y atendiendo a las presiones que se ejercen sobre su oferta limitada y poco conocida.
- Asegurar la protección de las aguas subterráneas próximas a las áreas oficialmente protegidas (SNASPE, sitios RAMSAR, acuíferos que alimentan vegas y bofedales, y áreas prioritarias de biodiversidad) y a las Áreas de Desarrollo Indígena, de manera de resguardar su sustentabilidad.
- Asegurar el uso sustentable del recurso hídrico, promoviendo acciones e iniciativas innovadoras que involucren una mayor eficiencia hídrica.
- Promover la protección efectiva de las áreas prioritarias para la biodiversidad regional (diversidad de flora, fauna y ecosistemas), considerando los distintos usos del territorio y la actividad productiva desde un enfoque de sustentabilidad.
- Fomentar la diversificación de la matriz energética mediante el impulso a la investigación y desarrollo de Energías Renovables No Convencionales.

2. Ministerio de Bienes Nacionales: A través de este Ministerio, encargado de reconocer, administrar y gestionar el patrimonio fiscal de todos los chilenos y chilenas, se ha entregado en concesión la “Cuenca geotérmica del Tatio”, para su administración turística, a las comunidades atacameñas de Caspana y Toconce, las cuales mantienen sobre el área de estudio una demanda territorial ancestral como tierras indígenas.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

3. Ministerio del Medio ambiente: A partir de la presentación de la nueva institucionalidad que crea el Ministerio del Medio Ambiente, se plantea que el sector de los Géiser del Tatio debe constituir un áreas de protección, lo que permitirá establecer restricciones a las actividades extractivas o económicas que amenacen la biodiversidad de esta zona.

4. Corporación Nacional Forestal (CONAF): Institución que tiene como principal tarea administrar la política forestal de Chile y fomentar el desarrollo del sector. Existe el proyecto de creación de área protegida para el Sector de El Tatio. En la actualidad, no se ha definido si los Géiser del Tatio tomarán la forma de un parque o monumento nacional, sobre un área que destinará 3000 hectáreas como zona de preservación.

5. Ministerio de Minería: Este ministerio, encargado de la aplicación, control y cumplimiento de la ley de explotación de energía geotérmica en Chile, ha entregado dos concesiones de explotación geotérmica a GDN, filial de ENEL Chile. La entrega de estas concesiones, responde a un interés por parte de esta institución de incentivar el desarrollo de la geotérmica en los distintos puntos del país que presentan potencial geotérmico.

6. Ministerio de Energía: Diversificación de la matriz energética.

7. Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR): Organismo público encargado de promover y difundir el desarrollo de la actividad turística de Chile. A través de la Política Nacional de Turismo (2005), se señala como uno de sus ejes de desarrollo el “posicionar a Chile como un destino turístico, estableciendo como eje de desarrollo el turismo de naturaleza y de intereses especiales, particularmente para los mercados de larga distancia y, al mismo tiempo, ampliando y diversificando la oferta de productos y las oportunidades de acceso al turismo interno”. Considerando el punto de vista a nivel regional, el Plan Maestro de Desarrollo Turístico de la Región de Antofagasta, plantea que se debe potenciar el desarrollo del turismo de intereses especiales, aprovechando los atractivos de jerarquía con que cuenta la Región, lo que se traduce en la posibilidad de desarrollar productos orientados al turismo de naturaleza, el turismo cultural, histórico, arqueológico y también astronómico.

8. Fundación Eurochile: Se plantea la necesidad de generar mayores capacidades en materias turísticas (capacitación de los recursos humanos), así como también a apuntar a la asociatividad

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

de los actores locales que inciden en la actividad turística del territorio, y a mejorar las condiciones del entorno, implementando sistemas de información, mejorando y aumentando la infraestructura y equipamiento turístico.

Sector Privado

1. Geotérmica del Norte (GDN): Empresa subsidiaria de ENEL Chile que presenta como objetivo el desarrollo de la Energía Renovable No Convencional de la geotermia dentro del área de estudio. En la actualidad, GDN mantiene dos concesiones de explotación geotérmica vigentes, “El Tatio” y “La Torta”, las cuales se encuentran en estado de suspensión a raíz del episodio de erogación de un pozo geotérmico en 2007. Sumado al interés de explotación del recurso geotérmico, esta empresa presenta un interés de desarrollo científico e investigación del recurso geotérmico debido a las condiciones únicas que presenta el sector de El Tatio, lo cual se plantea como una oportunidad de generar conocimientos para los actuales y futuros proyectos de esta índole a nivel nacional e internacional.

2. Empresa turística Tatio Mallku: Para realizar la administración conjunta de la zona geotérmica de El Tatio, las comunidades de Toconce y Caspana crearon en marzo de 2006 la empresa turística Tatio Mallku, cuyo principal objetivo es resguardar los recursos naturales, paisajísticos, culturales y patrimoniales del sector del campo geotérmico El Tatio. Asimismo, esta organización tiene la misión de organizar el turismo vinculado a la zona, y que hoy la ubica como el principal atractivo de la Región de Antofagasta y el tercero a nivel país. Sin embargo, principal ingreso que tiene esta empresa en el área, proviene del corte de entradas, lo cual representa una porción muy reducida de la cadena de valor que tiene el producto comercializado por otros actores, localizados en San Pedro de Atacama, Calama, Santiago y en el extranjero.

3. Habitantes de la comuna de San Pedro de Atacama: Los habitantes de esta comuna, mediante la participación de la ciudadanía en la Generación de la Estrategia Regional 2010-2020, han manifestado su voluntad de asegurar la sustentabilidad de sus pueblos, ayllus y el cuidado de la flora y fauna del territorio mediante la protección del recurso hídrico. Esto, porque es la base sobre la cual pueden continuar siendo la comuna turística más importante de la Región

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

y de Chile, y porque es la base de la agricultura y el pastoreo, ocupaciones tradicionales de sus comunidades.

A continuación (Tabla 29) se presenta una síntesis de los potenciales usos de suelo señalados por parte de los actores públicos y privados:

Tabla 29: Potenciales usos de suelo a partir de los actores públicos y privados

Institución	Uso actual	Uso potencial
Ministerio Bienes Nacionales	- Generación de concesiones de uso turístico.	- Otorgamiento de dos nuevas concesiones turísticas.
Ministerio de Medio Ambiente	-Sitios prioritarios para la conservación.	- Creación de un área protegida
CONAF	- Proyecto de creación de área protegida.	- Creación de una nueva categoría de área protegida. -Preservación y conservación.
SERNATUR	- Turismo	-Turismo enfocado a la naturaleza.
GDN	- Concesión de explotación geotérmica (La Torta y El Tatio).	-Desarrollo de energía geotérmica e investigación científica.
Empresa turística Tatio Mallku	-Turismo.	-Turismo y conservación.

Fuente: Elaboración propia

A continuación (Tabla 30), se presenta la carta síntesis de los OAZ.

**Propuesta de microzonificación ecológica ambiental para el sector de El Tatio,
Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del
Territorio.**

2. Carta síntesis Objetivos Ambientales Zonificados

Componente	Tipo de OAZ					
	Protección		Reparación		Desarrollo	
Prioridad						
Geología						
- Conservación de manifestaciones termales.	X					
- Desarrollo del turismo en torno al sector Géiser de Tatio					X	
- Desarrollo de ERNC (Geotermia)					X	
Geomorfología						
- Conservación de geoformas.	X					
Suelos						
- Recuperación de suelos.			X			
-Protección de áreas de vegas.	X					
Clima						
-Conservación de los niveles de emisión de material particulado.		X			X	
Hidrología						
-Protección del recurso hídrico en relación con las condiciones regionales de aridez.	X					
-Asegurar el recurso de aguas subterráneas (acuíferos que alimentan vegas y bofedales)	X					
-Monitoreo del sistema hidrogeológico con objetivo de su conservación.					X	
Vegetación						
- Protección de áreas de vegas.	X					
-Conservación de vegetación de estepa	X				X	
Fauna						
- Recuperación de especies en Peligro de extinción y en estado de Vulnerabilidad.			X			
Paisaje escénico						
-Mejoramiento de rutas de acceso al sector turístico.					X	
- Mejoramiento de señaléticas del sector turístico.					X	
- Protección de la zona de manifestaciones termales.					X	

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta la Matriz de Objetivos Ambientales Zonificados, la cual fue resultado del cruce de las variables de Sensibilidad ambientales e Impacto Potencial de los usos de suelo actuales y planeados.

**Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio,
Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del
Territorio.**

Tabla 30: Matriz de Objetivos Ambientales Zonificados

Matriz de sensibilidad ambiental	Sensibilidad	Riesgo	OAZ
Componentes ambientales			
Geología			
1. Unidad volcánica Cuaternaria	Media	Baja	P2
2. Unidad depósitos morrénicos, sedimentarios y aluviales.	Baja	Baja	D2
3. Unidad Géiser del Tatio	Alta	Alta	R1
Geomorfología			
1. Cuenca Graben del Tatio	Alta	Alta	R1
2. Unidad Domo La Torta-Volcán Tocorpuri	Media	Baja	P2
3. Unidad volcán Tatio- Cordón cerros del Tatio	Media	Baja	P2
4. Unidad Horst de Tucle	Media	Baja	P2
Suelos			
1. Unidad sin erosión	Media	Media	D1
2. Unidad erosión ligera	Media	Media	D1
3. Unidad erosión moderada	Baja	Baja	D2
4. Unidad erosión severa	Media	Media	D1
5. Unidad erosión muy severa	Media	Media	D1
6. Unidad de litosoles y regosoles	Media	Baja	P2
Clima			
1. Unidad altas cumbres	Alta	Alta	R1
2. Unidad cerros-cuenca sector sur	Media	Media	D1
3. Unidad cerros-cuenca sector norte	Media	Media	D1
Hidrología			
1. Unidad acuífero	Alta	Alta	R1
2. Unidad subcuenca del río Salado	Media	Media	D1
3. Unidad subcuenca del río San Pedro	Media	Media	D1
Vegetación			
1. Unidad Estepa altiplánica	Media	Media	D1
2. Unidad sector de vegas	Alta	Alta	R1
3. Unidad sin vegetación	Baja	Baja	D2
Fauna			
1. Unidad Sector de vegas	Alta	Alta	R1
2. Unidad Sector en torno al camino-sector sitios de avistamiento	Alta	Alta	R1
Paisaje escénico			
1. Sector de asentamientos humanos	Media	Media	D1
2. Sector turístico Geiser del Tatio	Alta	Alta	R1
3. Sector altas cumbres	Media	Media	D1

Fuente: Elaboración propia

Objetivos Ambientales Zonificados

R1: Reparación primera prioridad, R2: Reparación segunda prioridad

P1: Protección primera prioridad, P2: Protección segunda prioridad

D1: Desarrollo Primera prioridad, D2: Desarrollo segunda prioridad

Fuente: GORE, 2002

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

A partir de los Objetivos Ambientales Zonificados para cada unidad homogénea del área de estudio, se desprende que el objetivo que se presenta mayormente corresponde a Desarrollo de primera prioridad (11), seguido de Recuperación de primera prioridad (8), Protección de segunda prioridad (5) y Desarrollo de segunda prioridad (3) respectivamente.

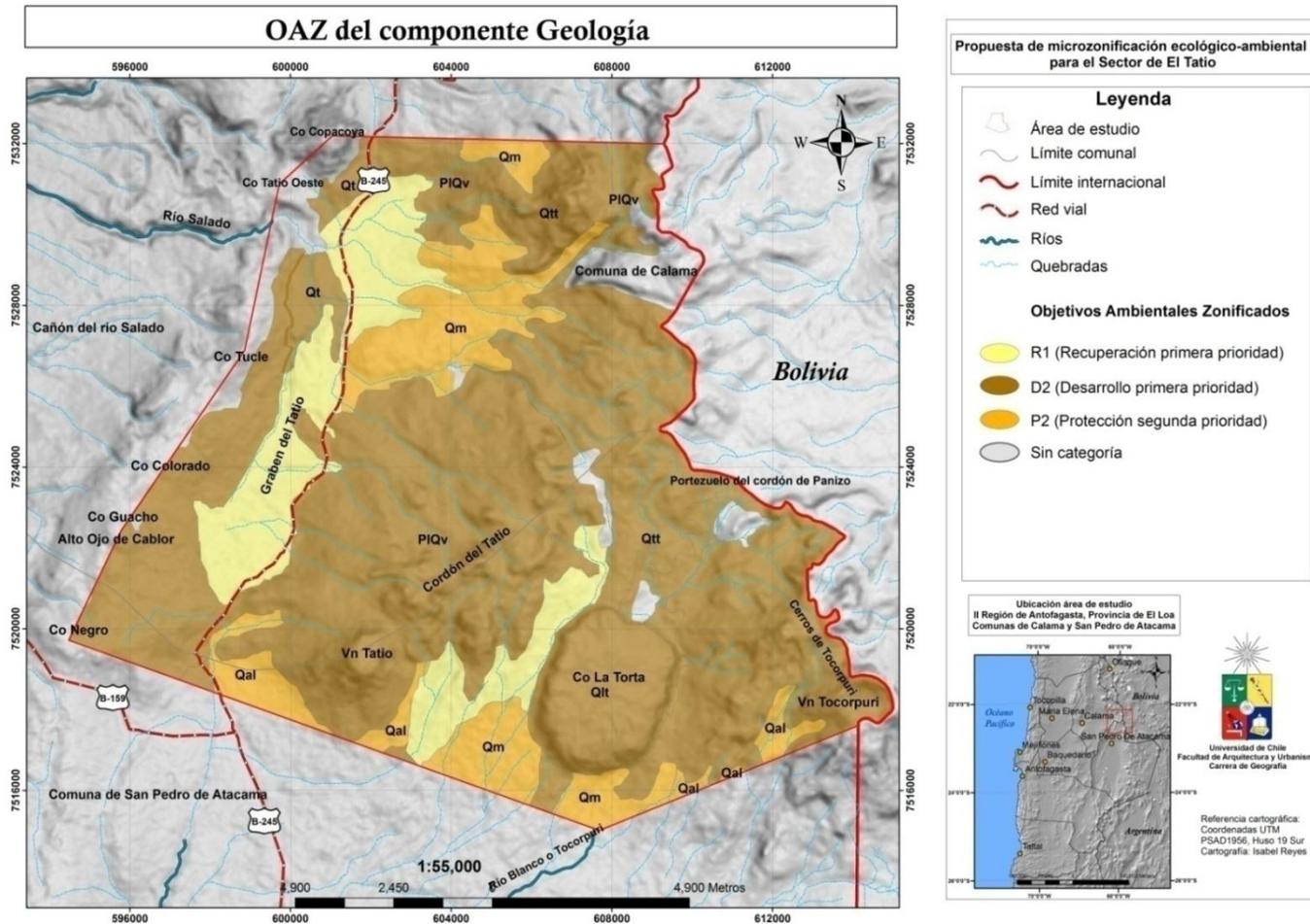
Considerando los resultados de los OAZ, se presenta en las figuras siguientes la zonificación de los valores resultantes del cruce de variables de Sensibilidad ambiental y Riesgo Ecológico. Los resultados que se presentan son:

- Objetivos de Reparación de primera prioridad: Rehabilitación o recuperación, direccionados en mejorar determinada función ambiental en deterioro.
- Objetivos de Desarrollo (de primera y segunda prioridad): Orientados a incrementar determinada calidad o función ambiental, la cual se considera de importancia fomentar.
- Objetivos de Protección (de segunda prioridad): Orientados a mantener o asegurar determinada calidad o función ambiental.

A partir de los OAZ, junto con los resultados del Concepto Rector, se plantea la microzonificación ecológico-ambiental para el Sector del Tatio (Etapa V).

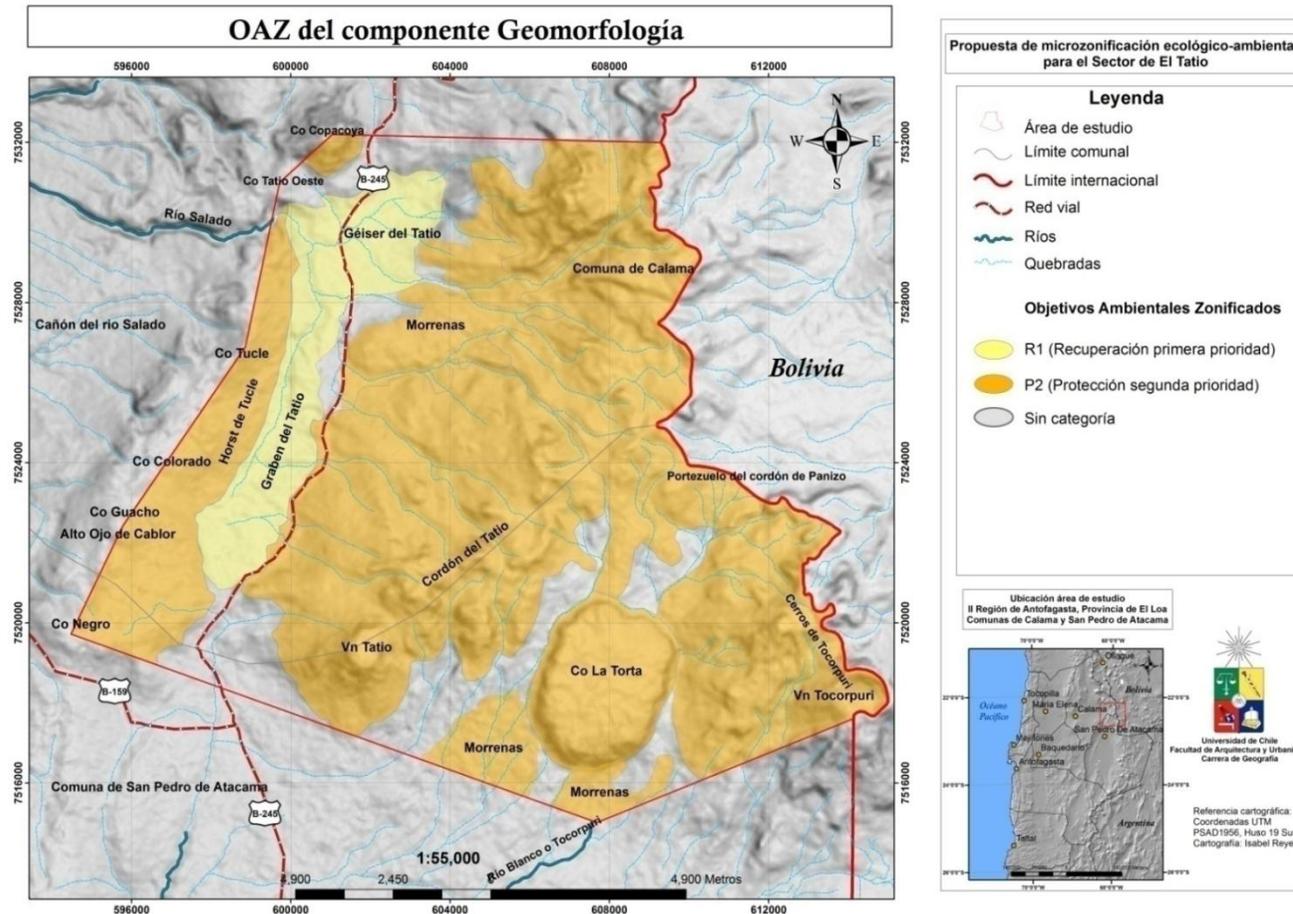
Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 26: Objetivos Ambientales Zonificados del componente Geología



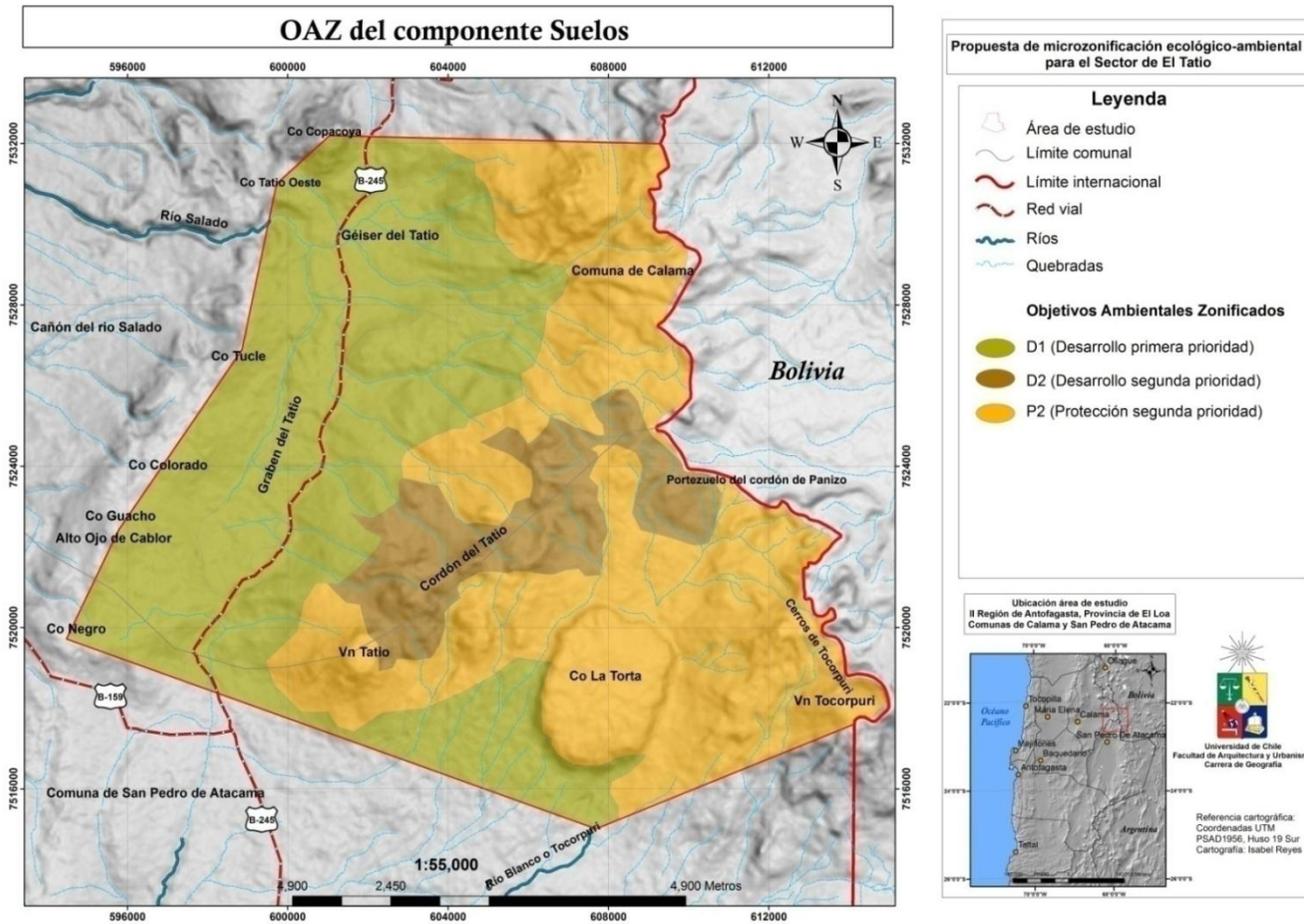
Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 27: Objetivos Ambientales Zonificados del componente Geomorfología.



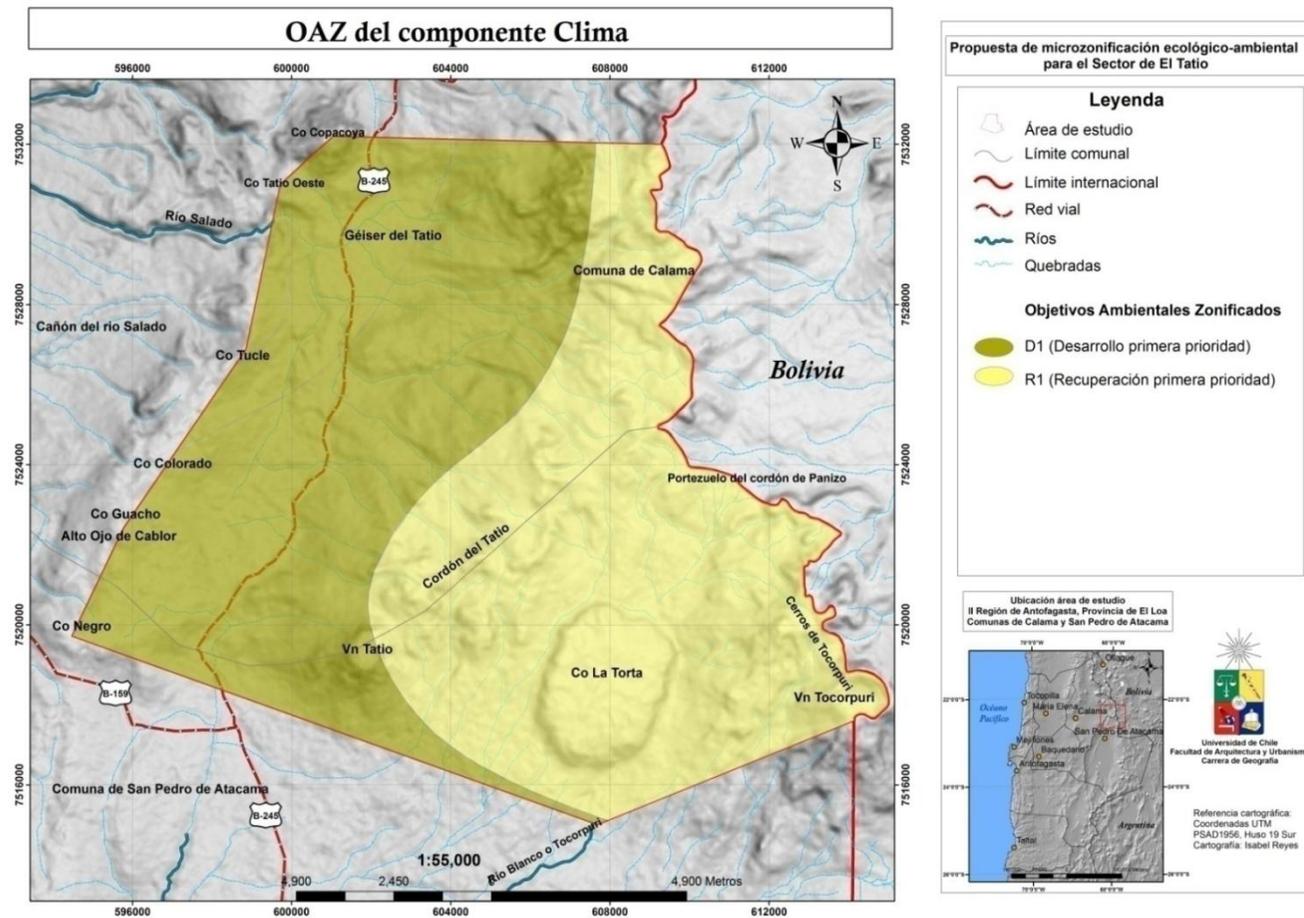
Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 28: Objetivos Ambientales Zonificados del componente Suelos



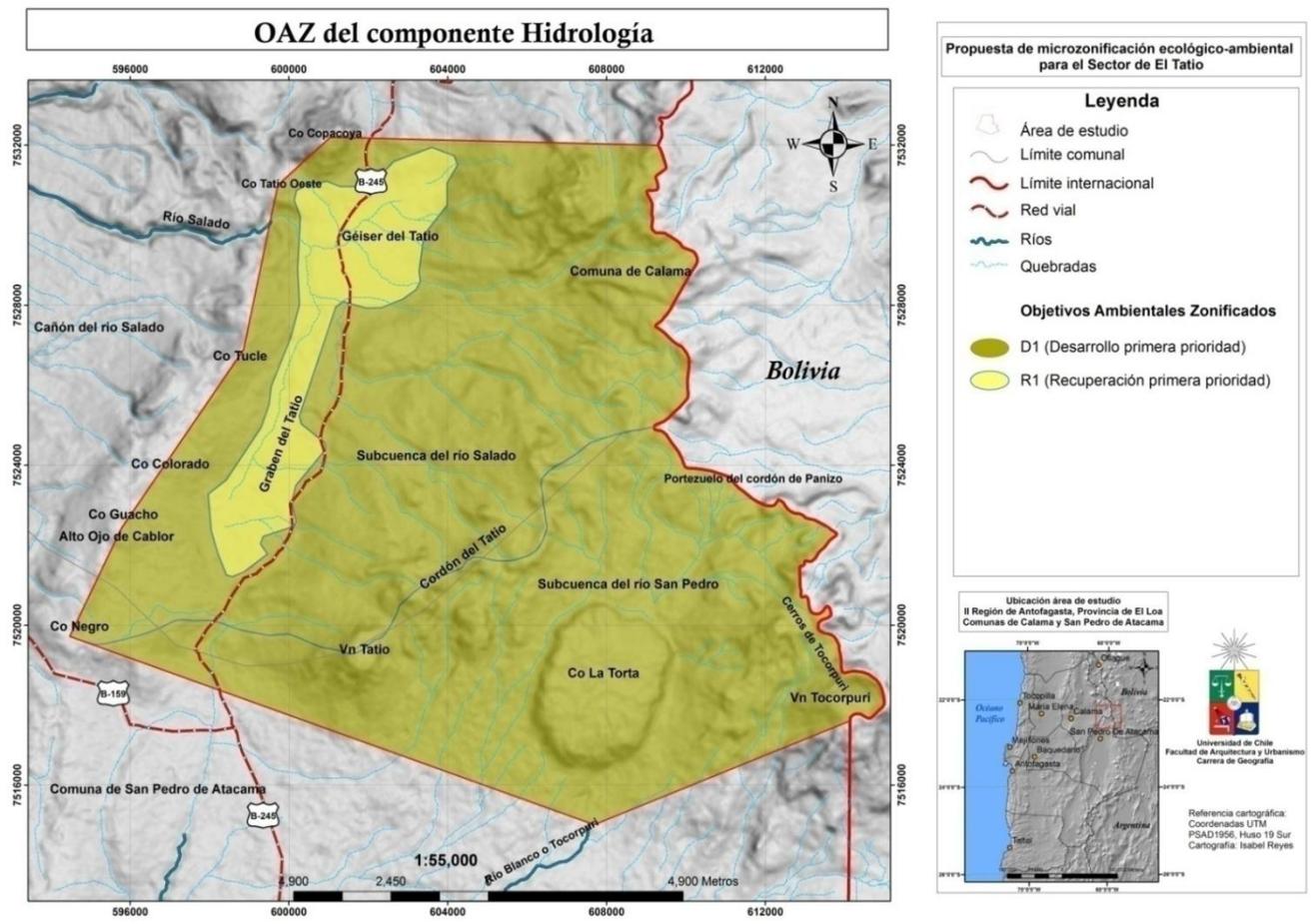
Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 29: Objetivos Ambientales Zonificados del componente Clima



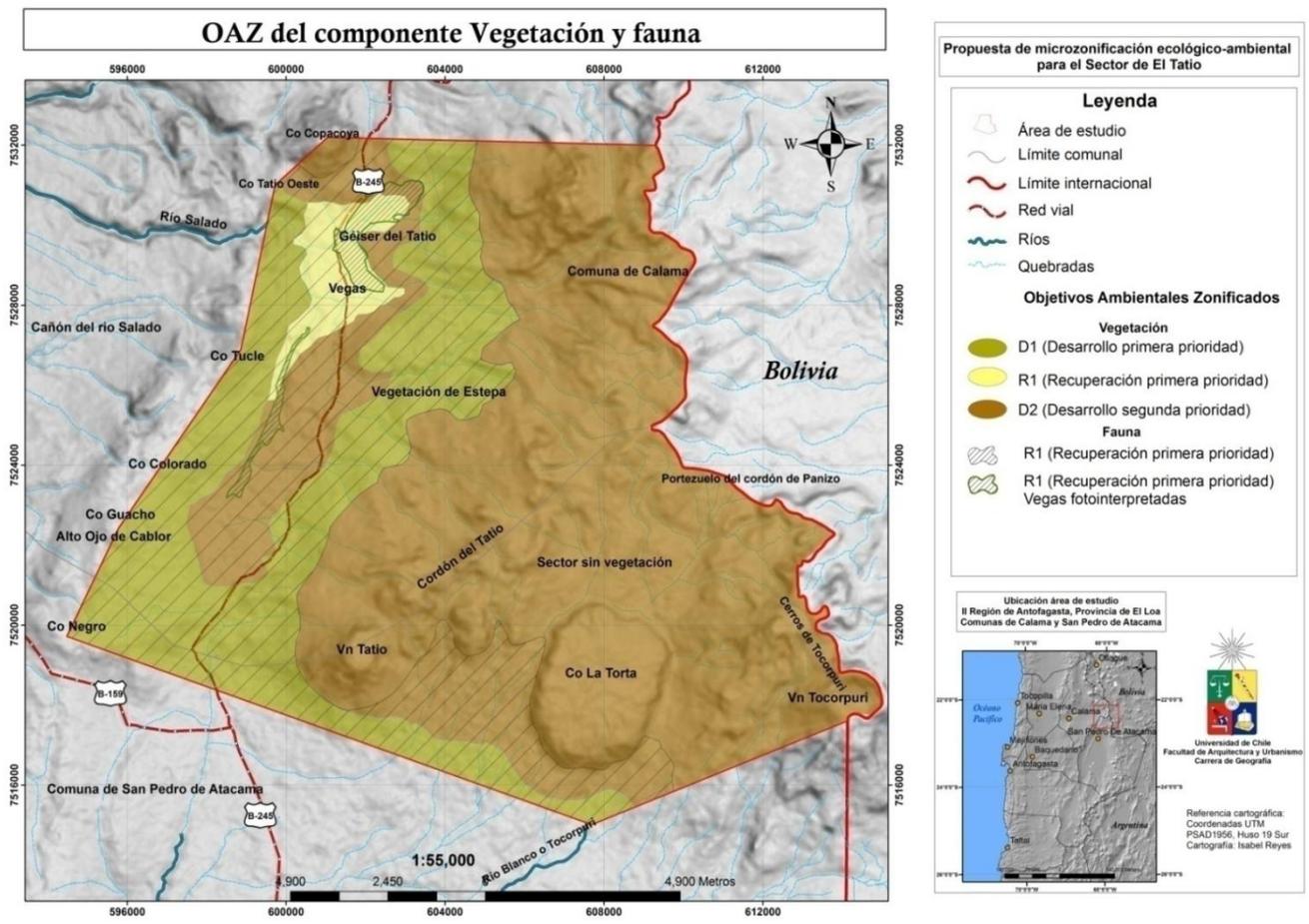
Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 30: Objetivos Ambientales Zonificados del componente Hidrología



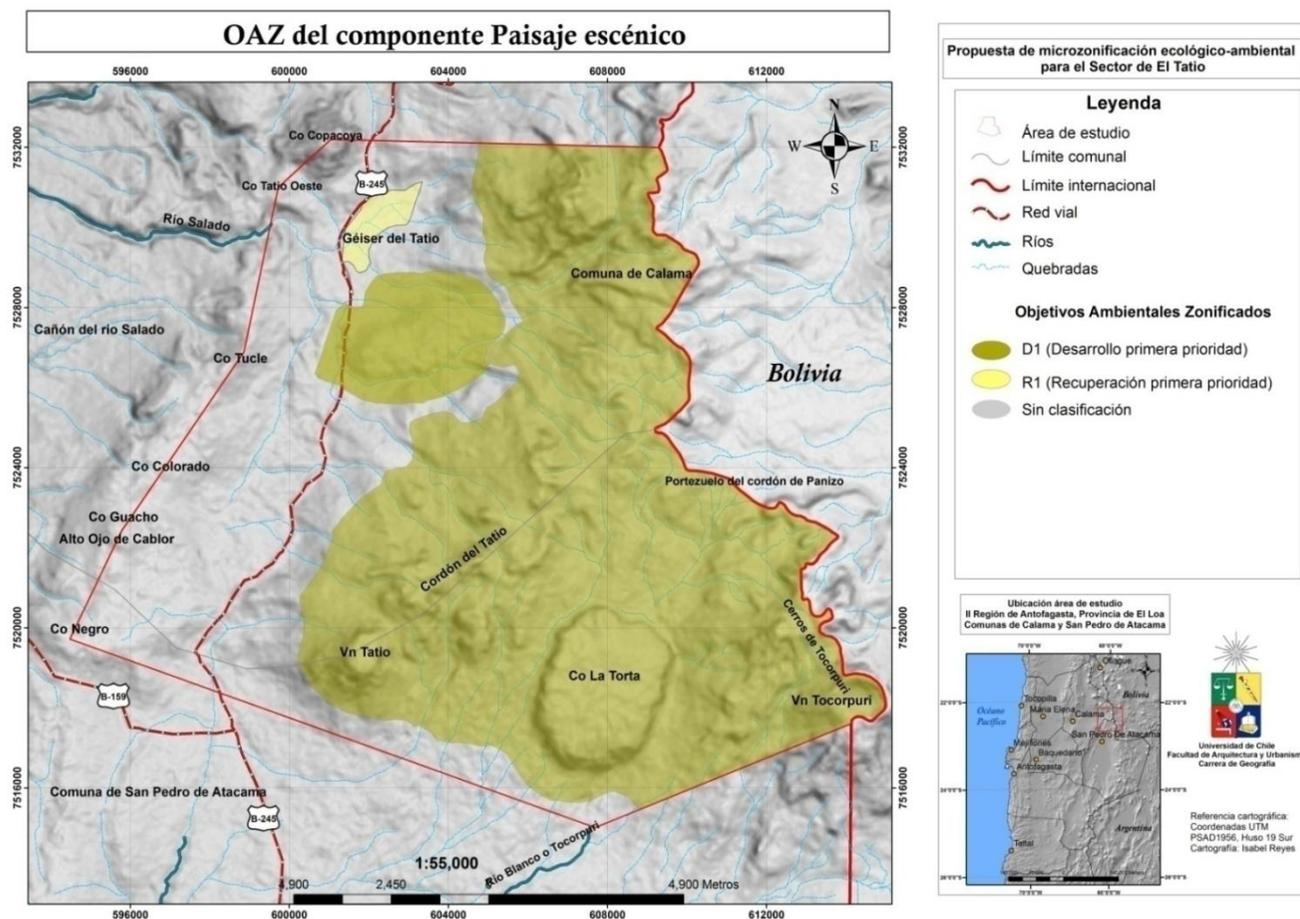
Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 31: Objetivos Ambientales Zonificados del componente Vegetación y fauna



Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 32: Objetivos Ambientales Zonificados del componente Paisaje escénico



Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

V. Propuesta de zonificación

Considerando los resultados de las etapas de inventario territorial, análisis de usos de suelo actual y proyectado, evaluación ambiental del territorio, concepto rector y objetivos ambientales zonificados, se presenta una propuesta de microzonificación ecológico-ambiental, con el fin de brindar una base sustentable para futuros planes de ordenamiento territorial y/o establecimiento de actividades extractivas u otras sobre el sector de El Tatio.

Los tipos de zonas a utilizar provienen de clasificaciones de uso de suelo estandarizadas, utilizadas por CONAF para la zonificación de los planes de manejo de las áreas protegidas (AP), esto considerando las condiciones de alto valor ambiental presentes en el área de estudio, sumado a la existencia de un proyecto de creación de un área protegida en el Sector de El Tatio.

A partir de esto, las zonas a utilizar en la propuesta de microzonificación son:

1. Zonas para la conservación, preservación e investigación del patrimonio ambiental.

1.1 Zona primitiva: Esta zona se utiliza para sectores en estado natural y en adecuado estado de conservación por haber recibido escasa intervención humana. Puede contener porciones únicas o elementos representativos de un ecosistema, especie de flora y fauna u otros fenómenos naturales que resisten un cierto grado de uso público sin que causen impacto.

1.1.1 Caracterización: La zona que obtiene esta denominación corresponde al sector del Acuífero, el cual se encuentra actualmente en la categoría de Acuífero Protegido, mediante la Resolución DGA N°529 de 2003. Este sector se caracteriza por representar un complejo sistema hidrogeológico que permite el desarrollo de vegas y manifestaciones geotermales sobre el sector de Géiser del Tatio. Cabe destacar que esta zona obtuvo como resultado de los OAZ “Recuperación de primera prioridad”, debido a su alta importancia ecológica para el desarrollo de vegas con su correspondiente vegetación azonal y fauna, junto con un Riesgo ecológico medio, producto de las condiciones de aridez en que se presenta este sistema, por lo cual se aconseja realizar un estudio que determine la reserva del acuífero y llevar a cabo un constante monitoreo de este.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

1.1.3 Objetivo de manejo: preservar el ambiente natural inalterado o poco intervenido y al mismo tiempo, posibilitar la investigación científica, la educación ambiental y el ecoturismo en condiciones rústicas.

1.1.4 Posibles usos y restricciones: Actividades de ecoturismo en condiciones rústicas, actividades de investigación científica. Se restringe el uso a cualquier actividad que atente contra la biodiversidad biológica presente en esta zona.

1.2 Zona intangible: Corresponde a los sectores menos alterados que incluyen ambientes frágiles, únicos o representativos de la biodiversidad regional, en buen estado de conservación.

1.2.1 Caracterización: Esta zona corresponde al Sector de Altas cumbres, constituido por los volcanes del Tatio y Tocarपुरi, domo la Torta y cerros del Tatio. Se adjudica esta categoría a esta zona por constituir un elemento de gran relevancia en el sistema físico-ambiental en este sector. Por una parte, conforma el principal reservorio de agua que posteriormente se infiltra y da sustento al acuífero, actúa como biombo climático ante los vientos del este y en general condiciona la variable climática del sector. Ante las condiciones de aridez naturales de este sector, junto con la problemática de cambio climático que reduce el mantenimiento de hielo en las cumbres, esta zona se adjudica para protección sin actividades extractivas.

1.2.2 Objetivos de manejo: El objetivo básico es mantener la pristinidad del ambiente natural, sin uso público, donde la evolución de los procesos biológicos y físicos se mantenga sin alteración humana.

1.2.3 Posibles usos y restricciones: Protección de esta zona por su importancia sobre el recurso hídrico de la zona, contemplación del paisaje.

1.3 Zona de recuperación: Se considera transitoria en el tiempo y se utiliza en aquellos sectores donde la vegetación natural, la fauna nativa o los suelos han sido alterados, o bien, donde existen concentraciones importantes de especies de flora y fauna exóticas que requieren ser reemplazadas por elementos naturales. Una vez que esta zona sea rehabilitada se le podrá adjudicar otra categoría en forma permanente. El objetivo general de manejo es detener la degradación de los recursos naturales, o bien restaurar las condiciones naturales del sector.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

1.3.1 Caracterización: Esta zona se constituye por el sector en torno al camino que conduce a los Geiser de Tatio (Ruta B-245), que resultó principalmente del cruce de las variables de suelos, vegetación y fauna. Este sector, se caracteriza por presentar la mayor parte de la fauna de la zona, especialmente las especies que se encuentran en categoría de “Vulnerable” y “En peligro de extinción”, por lo cual es de gran relevancia asegurar que las condiciones de su hábitat se mantengan o incrementen su función ecológica.

1.3.2 Posibles usos y restricciones: Actividades recreativas y de educación ambiental. Impulso de la investigación en relación a la biodiversidad. Planes de recuperación de especies en Peligro de extinción.

2. Zonas para la recreación, ecoturismo y educación ambiental.

2.1 Zona de uso extensivo: Se aplica para sectores con reducida alteración de los recursos naturales, representativos de un área protegida, que requieren una protección compatible con un uso público moderado y extensivo, evitando concentraciones del uso en superficies reducidas.

2.2 Caracterización: Esta sector, especialmente protegido por su interés turístico, corresponde al área de los Géiser del Tatio. Esta zona estará especialmente destinada para desarrollar la actividad recreacional, como puede ser la contemplación del paisaje y el recorrido del área, que facilite el acceso y estadía a un número de visitantes restringido. Esta zona, conocida como uno de los paisajes más relevantes a nivel nacional, destaca por la existencia de manifestaciones termales (geisers, manantiales, pozos de barro, piscinas, entre otros), elementos de gran singularidad tanto a nivel nacional como internacional.

2.3 Objetivo de manejo: Preservar la diversidad biológica y otros componentes naturales, posibilitando el acceso de visitantes en forma controlada y para actividades debidamente planificadas, acorde a la capacidad de carga de los terrenos. Conservación de las manifestaciones termales.

2.4 Posibles usos y restricciones: Turismo, actividades de investigación científica y educación ambiental debidamente programados y bajo la observación de los administradores del área, en este caso la empresa Tatio Mallku.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Cabe destacar, que esta zona, considerando los resultados de los OAZ, se encuentra catalogada como de “Recuperación de primera prioridad”, producto de la vulnerabilidad del complejo sistema hidrogeológico, que permite las manifestaciones termales, ante el desarrollo potencial de proyectos energéticos geotérmicos en la zona. A partir de esto, para mantener y poder continuar con el desarrollo de un turismo sustentable, se hace necesario restringir el desarrollo de otro tipo de actividades extractivas hasta que la tecnología utilizada en los procesos garantice que los impactos potenciales sobre esta zona sean bajos o nulos.

Por otra parte, los resultados nos indican que es de gran necesidad un mejoramiento de la señaléticas de seguridad en el lugar de los geiseres y de las rutas de acceso.

3. Zona para la conservación de valores históricos-culturales

3.1 Zona histórico-cultural: Este tipo de zonas se utiliza en donde existan rasgos o evidencias históricas, paleontológicas u otras manifestaciones culturales que necesitan ser preservadas, restauradas e interpretadas para los visitantes. El uso público se establece solo cuando las características de estos valores lo permitan, y se encuentren debidamente restauradas y protegidas.

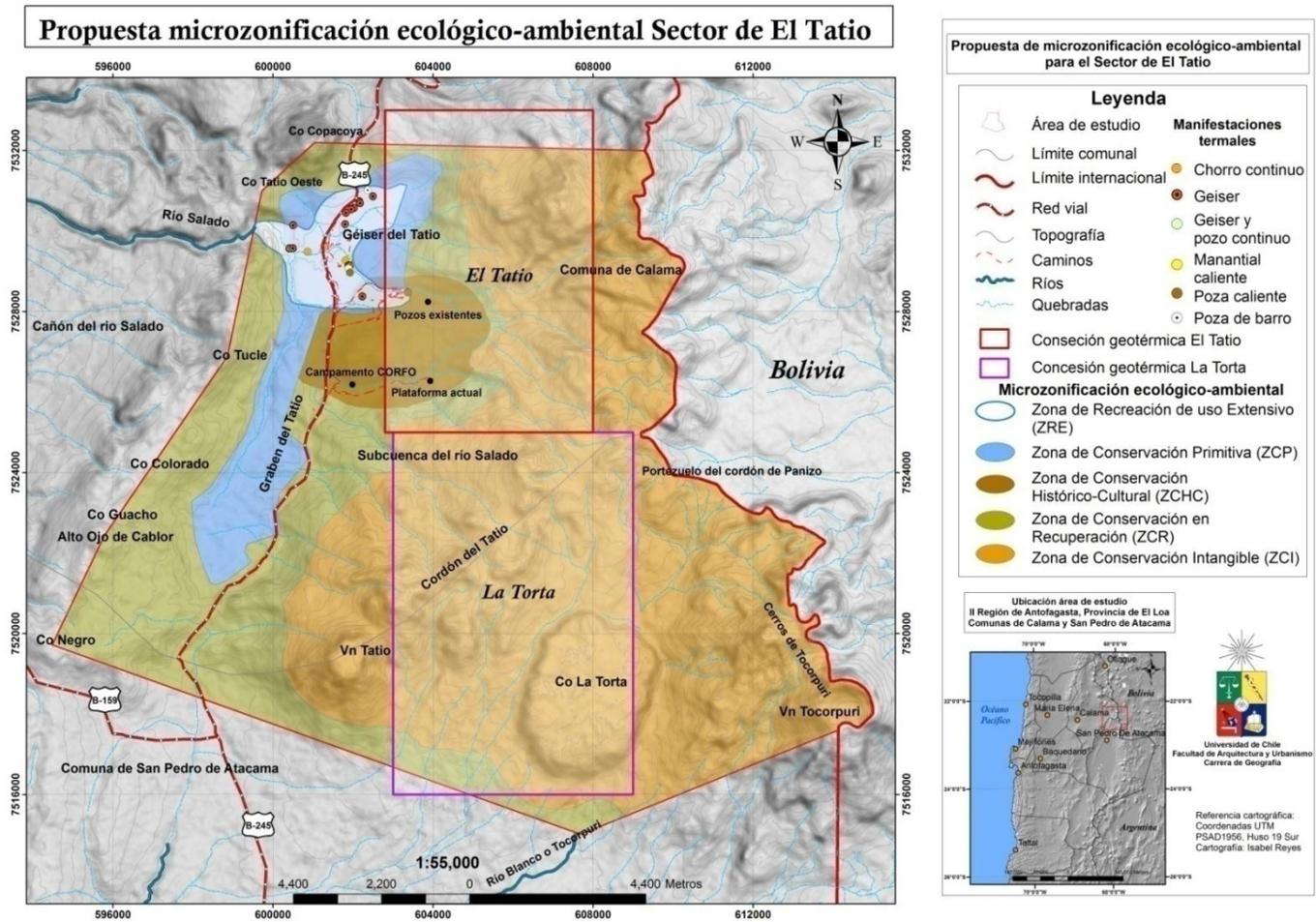
3.2 Caracterización: Esta zona corresponde a las instalaciones del ex campamento CORFO, el camino y el área que conecta a los pozos de reinyección, todas ellas instalaciones que se construyeron en el marco del desarrollo y estudio del potencial geotérmico de la zona de El Tatio en los años 70. Dicha zona, corresponde a registro antropoarqueológicos de las actividades desarrolladas en este periodo de la industria, la cual hoy sirve como un referente histórico de interés patrimonial.

3.3 Objetivo de manejo: Proteger y preservar los sitios histórico-culturales asociados a los ambientes naturales y enriquecer la experiencia recreativa y turística de los visitantes a través de actividades de educación e interpretación.

3.3 Usos y restricciones: Uso turístico relacionado a la conservación de los valores históricos-culturales en torno al desarrollo de exploración geotérmica desarrollado en los años 70. Se restringe el desarrollo de actividades extractivas de desarrollo geotérmico, hasta que las tecnologías garanticen un menor impacto en esta zona.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Figura 33: Mapa final microzonificación ecológico-ambiental



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

Considerando los resultados de la presente investigación, que tuvo como objetivo generar una propuesta de microzonificación ecológico-ambiental para el sector de El Tatio, es posible señalar que se han cumplido los objetivos planteados.

En primer lugar, al desarrollar el inventario de las componentes ambientales para el área de estudio, fue posible constatar las condiciones de alto valor ambiental presentes en el sector de El Tatio. Esta área, contiene por una parte, sectores donde no se ha producido una mayor intervención humana, por lo cual las componentes ambientales mantienen sus condiciones naturales. Esto puede verse representado mayormente por las zonas de altas cumbres, como los volcanes El Tatio y Tocopuri, domo La Torta y cerros del Tatio. Estas geoformas no presentan intervención antrópica debido a las condiciones climáticas extremas que se presentan, lo cual dificulta su acceso.

La importancia ecológica que constituye esta zona se debe a que en este sector es donde se captan e infiltran las precipitaciones, que posteriormente dan sustento al desarrollo del acuífero presente en el Graben del Tatio. En cuanto a su importancia para el desarrollo de actividades humanas, representa un elemento de gran relevancia para el turismo, producto de su valor escénico.

Otro elemento que destaca dentro del sector de El Tatio, corresponde a la vegetación y fauna presente. Considerando la componente vegetacional, importante es el desarrollo de vegetación azonal sobre las vegas, las cuales corresponden a un ambiente de humedal, que pueden desarrollarse gracias al complejo sistema hidrogeológico que permite la captación y acumulación de agua en esta zona caracterizada por la escasez de agua. Asimismo, representa un elemento de valor estético, debido a la singularidad de sus especies de vegetación y fauna, esta última representadas por avifauna y reptiles propios de estos ambientes de humedal.

En cuanto a la fauna que se distribuye en el área de estudio, destacan especies como los Suris (*Pterocnemia pennata*), las Vicuñas (*Lama vicugna*) y las Vizcachas (*Lagidium viscacia*), todas ellas declaradas en Peligro de extinción, por lo cual se encuentra estrictamente prohibida su caza.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Al considerar la componente hídrica en El Tatio, se detecta el escenario más complejo en cuanto a estado de las componentes ambientales. La escasez de agua producto de los reducidos montos anuales de precipitaciones en el sector andino, conlleva, en términos generales, un reducido nivel de escorrentía, lo cual produce que muchos de los drenes se activen exclusivamente durante el periodo estival. Esta situación tiene como resultado la problemática latente de la escasez del recurso hídrico, por lo cual a la hora de desarrollar proyectos de intervención antrópica (como el turismo o extracción de recursos geotérmicos), debe considerarse la sustentabilidad de los planes con respecto al sistema hídrico.

En segundo lugar, considerando los usos de suelos actuales y proyectados, se aprecia la existencia de planes y proyectos que pueden representar un impacto mayor sobre el medio ambiente, lo cual se condice con el actual conflicto de intereses sobre el territorio por parte de los diferentes actores sociales. Por una parte, existe un desarrollo turístico en torno al campo de Géiser de El Tatio, el cual requiere de infraestructura y equipamiento para resguardar la sustentabilidad de las manifestaciones termales y el sector de vegas, mientras que por otra parte, existen intenciones por parte de ENG S.A. de desarrollar proyectos de explotación e investigación del recurso geotérmico, lo cual presenta como antecedente el episodio de erogación del Pozo 10 en 2007, por lo que se restringió temporalmente el acceso de los turistas a la zona de manifestaciones termales. A partir de estos antecedentes cobra relevancia el desarrollo del Análisis del Riesgo Ecológico de las componentes ambientales.

En este contexto, considerando los resultados del Análisis de Riesgo Ecológico desarrollado en la presente investigación, se obtiene que la ponderación que mayormente se presenta corresponde a Medio (12 unidades), seguido de Bajo (8 unidades) y Alto (7 unidades) respectivamente. Las zonas que representan un riesgo ecológico Alto corresponden a unidades que se localizan en la zona de los Géiser del Tatio, asociado al complejo sistema hidrogeológico que constituye el campo geotérmico del mismo nombre, localizado sobre el Graben del Tatio. En este caso, el Riesgo se explica por un Impacto potencial mayor de actividades humanas, producto de la sensibilidad de este sistema y de la problemática de escasez que caracteriza a esta región. El impacto de este tipo de obras (en este caso de explotación geotérmica), puede modificar el sistema de circulación de agua subterránea que sustenta el campo geotérmico, lo que implica consecuencias sobre los demás componentes ambientales.

Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio, Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del Territorio.

Al considerar la etapa del Concepto Rector, en cuanto a lo planteado por los diversos actores con intereses en el territorio, cobra relevancia la idea de proteger el recurso hídrico y asegurar la protección de las aguas subterráneas, mediante un uso sustentable del recurso, esto, debido al latente problema de escasez de agua, que se agravaría aun más ante el escenario de calentamiento global en que se encuentra el planeta. Destaca asimismo, la importancia de seguir desarrollando el turismo sustentable en esta zona, interés que se manifiesta a través de la opinión tanto del sector público como privado. Sumado a esto, destaca el interés de generar una categoría de área protegida para esta zona, a partir de lo cual, considerando los resultados de esta investigación, el sector de El Tatio podría catalogarse como Monumento Natural, el cual se define según CONAF (2012) como: *“un área generalmente reducida, caracterizada por la presencia de especies nativas de flora y fauna o por la existencia de sitios geológicos relevantes desde el punto de vista escénico, cultural o científico. Su objetivo es preservar el ambiente natural, cultural y escénico, y en la medida que sea compatible con ello, desarrollar actividades educativas recreativas, recreacionales o de investigación”*.

Contemplando los resultados de la etapa de los Objetivos Ambientales Zonificados, se desprende que los objetivos que se presentan mayormente corresponden a Desarrollo de primera prioridad (11 unidades), seguido de Recuperación de primera prioridad (8). A partir de esto, se obtiene que es necesario llevar a cabo una intervención (ya sea de recuperación para las zonas que presenten el objetivo de Reparación o incrementar determinada función ambiental, en el caso de los objetivos de Desarrollo) para asegurar la sustentabilidad de las componentes ambientales. Esta situación se condice a las condiciones físicas extremas presentes en este sector de montaña, en donde problemáticas como la escasez de agua, presencia de fauna en Peligro de extinción y/o en estado de Vulnerabilidad, erosión por condiciones naturales del suelo, entre otros, deben ser incluidos como elementos de mayor relevancia dentro del planeamiento del uso del suelo.

Como resultado de la propuesta de microzonificación ecológico-ambiental, proveniente del cruce de resultados de los objetivos previos de la investigación, se definieron tres grandes zonas: Zona para la conservación, preservación e investigación del patrimonio ambiental (subdividida en zona primitiva, zona intangible y zona de recuperación), Zona para la recreación, ecoturismo y educación ambiental (sub-catalogada como zona de uso extensivo) y Zona para la conservación de valores histórico-culturales (sub-catalogada como

**Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio,
Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del
Territorio.**

zona histórico-cultural). Se excluye de los resultados la Zona para el manejo sustentable del recurso, lo cual se relaciona directamente con el desarrollo de la energía geotérmica, producto de que este tipo de actividad no ha demostrado contar con la tecnología que permita no causar un impacto significativo sobre el complejo sistema hidrogeológico que sustenta el campo geotérmica del Tatio, por lo cual, sin la intención de denegar el desarrollo de este tipo de actividades de manera absoluta en este tipo de ambientes, se plantea que se integre esta categoría una vez que se haya desarrollado en nuestro país la primera central de generación eléctrica en base a la geotermia, previsto para el proyecto Cerro Pabellón en la comuna de Ollagüe, para que de esta manera, se puede prever como este tipo de actividad interviene en el sistema de circulación de agua subterránea, y no se atente contra el recurso de tan alta singularidad que constituye el Campo Geotérmico del Tatio.

Por último, se aconseja integrar los resultados de las Amenazas Naturales para planes, programas y proyectos en esta zona, fundamentalmente los relacionados a la dinámica de tectónica de placas y movimientos de remoción en masa.

CAPÍTULO VI: DISCUSIONES

A partir de los resultados del presente estudio, se desprende que la utilización de la metodología de Planificación Ecológica resultó un gran aporte a la hora de realizar una micro-zonificación ecológico-ambiental en un sector de alta montaña. Considerando las herramientas de esta metodología, fue posible detectar las condiciones de valor ambiental de las componentes naturales presenten en el sector de El Tatio, lo cual, junto con el establecimiento de la vulnerabilidad de estas componentes frente a actuales y potenciales usos de suelo, ayuda a visualizar los futuros desafíos ambientales a enfrentar ante el desarrollo de un escenario de intervención humana, en este caso asociado al desarrollo de proyectos de energía geotérmica. A partir de esto, es posible anticiparse a los hechos, y manejar los conflictos ambientales y de uso del territorio de mejor manera, con mayor información acerca de los posibles impactos que diferentes tipos de uso de suelo puede representar en esta zona de alta montaña.

Como punto de relevancia a considerar, destaca además, el aporte que se puede realizar desde el ámbito profesional de la geografía y la importancia de desarrollar trabajos multidisciplinarios dentro de la planificación del territorio. Por una parte, la geografía demuestra su aporte desde el análisis espacial, a partir de la utilización de plataformas GIS, lo cual facilita la localización de las problemáticas de análisis dentro del área de estudio, pudiendo detectar áreas sensibles para la planificación del territorio. Por otro lado, destaca el desarrollar un análisis multicriterio a partir de la utilización de bibliografía desde diversos ámbitos de la investigación científica, además de considerar la opinión de expertos con conocimientos en el área de estudio.

A partir de esto, resalta la importancia de desarrollar estudios de planificación en sectores de alta montaña, considerando las condiciones físicas extremas y de valor ambiental que se presentan en este tipo de territorios, con el fin de determinar los usos de suelo a partir de las problemáticas que se presentan en particular en este tipo de ambientes.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

Como recomendaciones para futuras investigación en torno al ordenamiento del territorio en sectores de alta montaña destaca la incorporación de profesionales de múltiples áreas del conocimiento en la realización de la investigación. Esto puede representar un gran aporte al ordenamiento territorial, ya que de esta manera se podrán identificar de mejor manera las problemáticas de las diferentes componentes que componen el sistema físico natural.

Por otra parte, un elemento de gran relevancia que no fue considerado dentro de la presente investigación, constituye la incorporación de los habitantes de la zona de estudio o aquellos actores sociales que representan intereses dentro de los sectores de análisis. Si bien dentro de esta investigación se consideró las opiniones en cuanto a los objetivos ambientales a partir de un análisis bibliográfico, podría ser de gran relevancia la incorporación de las comunidades a través de metodologías participativas, como la metodología del Marco Lógico, a partir de la cual podrían detectarse las problemáticas y necesidades más relevantes para las comunidades que habitan en o en torno al área que se esté desarrollando la investigación.

Otro elemento que podría representar una gran relevancia en el desarrollo de este tipo de investigaciones radica en la utilización de herramientas GIS, tales como el análisis de imágenes satelitales, espacialización de la información entre otros. De esta manera, estas herramientas pueden ser de gran relevancia a la hora de localizar las unidades que representen puntos de interés para la ordenación del territorio.

En cuanto a futuros estudios de planificación del territorio de áreas de alta montaña, se recomienda dar un mayor énfasis al tema de amenazas naturales, ya que a lo largo de nuestro país nos vemos expuestos constantemente a múltiples amenazas, como lo es el tectonismo, volcanes, remoción en masa, entre otros, por lo cual es de suma importancia realizar estudios de detalle de estas amenazas para cada zona en particular, lo cual ayudara a tomar las medidas necesarias y evitar situaciones de desastres naturales en áreas de alta montaña.

**Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio,
Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del
Territorio.**

BIBLIOGRAFIA

AHUMADA M., FAÚNDEZ, L. Guía descriptiva de los sistemas vegetacionales azonales hídricos terrestres de la ecorregión altiplánica. (SVAHT). Santiago de Chile, 2001.

AMEND, T. La zonificación, elemento clave de los planes de manejo.

BARRICK, k. Geysir decline and extinction in New Zealand-Energy development impacts and implications for environmental management. 2007.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE-CIPMA. Manual para guardaparques Parte I. Las áreas silvestres protegidas y la conservación de espacios naturales. Valdivia, Enero 2003.

CIREN. Caracterización base de vegas y bofedales altoandinos para una gestión sostenible de los recursos hídricos. Primera Parte: Región de Antofagasta. Noviembre 2010.

CIREN. Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos en Chile. Región de Antofagasta. Diciembre de 2010.

DGA. Actualización delimitación de acuíferos que alimentan vegas y bofedales, Región de Antofagasta. Volumen 1. Informe Final. Santiago, Diciembre de 2001.

GAJARDO, R. La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Santiago de Chile, Editorial Universitaria, 1995.

GOMEZ, D. Ordenación Territorial. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa, 2002.

GOBIERNO REGIONAL METROPOLITANO, UNIVERSIDAD DE CHILE & GTZ. Planificación Ecológica del Territorio. Guía Metodológica. Santiago de Chile, 2002.

GOBIERNO DE CHILE, MINISTERIO DE AGRICULTURAL. Informe Técnico justificativo proyecto de creación Monumento Natural El Tatio. Santiago de Chile, Agosto de 2010.

GOBIERNO DE CHILE. Estrategia Regional de Desarrollo 2009-2020. Región de Antofagasta.

**Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio,
Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del
Territorio.**

MINISTERIO DEL INTERIOR, SUBSECRETARIA DE DESARROLLO REGIONAL Y ADMINISTRATIVO SERIE DESCENTRALIZACIÓN. Ley Orgánica sobre Gobierno y Administración Regional. Texto refundido de la Ley N°19.175, Orgánica Constitución sobre Gobierno y Administración Regional, publicada en el Diario Oficial el día Sábado 20 de Marzo de 1993.

LAHSEN, A. La energía geotérmica: Posibilidades de desarrollo en Chile.

PUJADAS, R. Ordenación y Planificación Territorial. Madrid: Síntesis, 1998.

SGA & GEOTERMICA DE NORTE (GDN). EIA Proyecto Perforación Geotérmica Profunda El Tatio, Fase I. Capítulo 4 Línea Base Proyecto, 2007.

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO, ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE SAN PEDRO DE ATACAMA. Declaración de Impacto Ambiental: Actualización Plan Regulador San Pedro de Atacama. Abril, 2010.

IUSS Grupo de Trabajo WRB. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No.103. FAO, Roma, 2007. Pág. 90.

RUIZ, C. Propuesta de Planificación Ecológica para el sector Laguna del Maule y el corredor Pehuenche en relación a la ruta internacional 115-CH. Comuna de San Clemente. Región del Maule. Santiago de Chile, 2010.

SERNATUR. Turismo y paisaje. Una aproximación al sistema de evaluación de impacto ambiental. 2007.

SERNAGEOMIN. Mapa geológico de Chile: Versión digital. Publicación geológica digital, No 4, 2003. CD-ROM versión 1.0, 2003. Base geológica 1:1.000.000.

SITIO WEB OFICIAL CONAF (en línea) < <http://www.conaf.cl/>> (Consulta: 06 de junio, 2012).

GLENNON, A., PFAFF. R. The extraordinary thermal activity of El Tatio Geysir Field, Antofagasta Region, Chile. 2003

LUZIO, W. Clasificación de suelos. Universidad de Chile, Santiago de Chile, 1997.

**Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio,
Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del
Territorio.**

IREN, SERPLAC. Inventario de recursos naturales por método de percepción del satélite Landsat. Región de Antofagasta. Informe 38. Santiago de Chile, 1976.

VARNES, D. Landslide hazard zonation: a review of principles and practices. Natural Hazard, 3. UNESCO, 1984.

PUNGETTI, G. Diseño ecológico del paisaje. Planificación y conectividad en el mediterráneo y en Italia. Andalucía, 2003.

ANEXOS

**Propuesta de microzonificación ecológico ambiental para el sector de El Tatio,
Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del
Territorio.**

1. Impactos ambientales de la actividad geotérmica

A continuación se presenta una identificación de impactos ambientales a partir de las diferentes acciones a seguir para el desarrollo de un proyecto geotérmico. Para estos fines se considera un Estudio de Impacto Ambiental llevado a cabo por ENG (2007) sobre la línea de base realizada en la etapa de evaluación ambiental.

Actividades generadoras de impacto ambiental

Etapas de construcción: Instalación de faenas, transporte de personal, materiales, equipos e insumos, mejoramiento de caminos de acceso, construcción de pozos, plataformas y tuberías, habilitación de pileras, entre otros.

Tabla n°1: Potenciales impactos ambientales en la etapa de construcción, operación y cierre de un proyecto geotérmico.

Etapas de Construcción		
Medio	Componente	Impacto
Físico	Calidad del aire	Incremento de emisiones de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO _x), óxidos de azufre (SO _x) e hidrocarburos/compuestos orgánicos volátiles (HC/COV).
		Incremento de emisiones de material particulado.
	Ruido	Aumento del nivel de presión sonora.
	Geología y geomorfología	Alteración de geoformas, que en el área del proyecto corresponden a unidades de tipo juvenil volcánico con evidencias claras de la acción erosiva y depositacional de tipo hídrico.
	Hidrología	Disminución de caudales en los cursos superficiales de agua en el área del proyecto, los cuales corresponden a afluentes de la cuenca superior del río Salado.
Biótico	Suelos	Pérdida de suelos.
	Flora	Riesgo de pérdida de ejemplares de Llarreta (Azorella compacta).
	Vegetación	Pérdida de cobertura vegetal de tipo zonal siendo la primera la que presenta mayor cobertura espacial (pajonal, pajonal-tolar y tolar-pajonal).
Humano	Fauna	Alteración de hábitat y comportamientos.
	Socio economía	Aumento del empleo local. Aporte al conocimiento científico-técnico de la región. Aporte al desarrollo de ERNC.
Perceptual	Infraestructura vial	Aumento del flujo vehicular.
	Paisaje y estética	Alteración de la calidad del paisaje visual.

**Propuesta de microzonificación ecológica ambiental para el sector de El Tatio,
Comunas de Calama-San Pedro de Atacama, a partir de la Planificación Ecológica del
Territorio.**

Etapa de Operación: Pruebas de pozos, reinyección de fluido geotérmico, generación eléctrica con diesel, transporte a faenas.

Etapa de Operación		
Medio	Componente	Impacto
Físico	Calidad del aire	Aumento de emisiones de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO _x) y óxido de azufre (SO _x).
		Aumento de emisiones de material particulado.
	Ruido	Aumento del nivel de presión sonora.
	Hidrología e hidrogeología	Eventual cambio en el ciclo hidrológico local y en la calidad de las aguas.
Biótico	Fauna	Alteración de hábitat y comportamientos
Perceptual	Paisaje y estética	Alteración de la calidad visual del paisaje

Etapa de cierre: Abandono definitivo de pozos (eventual), cierre y limpieza de áreas de instalación de faenas, obstrucción de accesos (eventual), cierre y limpieza de plataformas (eventual), desmantelamiento de campamento.

Etapa de cierre		
Medio	Componente	Impacto
Físico	Calidad del aire	Aumento de emisiones de material particulado.
	Ruido	Aumento del nivel de presión sonora.
Biótico	Fauna	Alteración de hábitat y comportamientos.
Perceptual	Paisaje y estética	Alteración de la calidad visual del paisaje.

Fuente: ENG, 2007