



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA DE GEOGRAFÍA

**ANÁLISIS ESPACIAL PARA LA DEFINICIÓN DEL TRAZADO ELÉCTRICO
ENTRE UNA PLANTA GEOTERMOELÉCTRICA Y EL SISTEMA
INTERCONECTADO DEL NORTE GRANDE
COMUNA DE CALAMA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA**

Memoria para optar al Título de
GEÓGRAFO

ALUMNO
PABLO GABRIEL PÉREZ LEIVA

PROFESOR GUÍA
FRANCISCO FERRANDO ACUÑA

Santiago de Chile
2008



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA DE GEOGRAFÍA

**ANÁLISIS ESPACIAL PARA LA DEFINICIÓN DEL TRAZADO ELÉCTRICO
ENTRE UNA PLANTA GEOTERMOELÉCTRICA Y EL SISTEMA
INTERCONECTADO DEL NORTE GRANDE
COMUNA DE CALAMA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA.**

ALUMNO

PABLO GABRIEL PÉREZ LEIVA

PROFESOR GUÍA

FRANCISCO FERRANDO ACUÑA



A MIS PADRES



AGRADECIMIENTOS

*“Si al franquear una montaña en la dirección de una estrella, el viajero se
deja absorber demasiado por los problemas de la escalada,
se arriesga a olvidar cual es la estrella que lo guía”*

ANTOINE DE SAINT EXUPÉRY

A todos aquellos familiares, amigos y compañeros sin cuyo concurso la obtención de este importante objetivo personal y profesional no habría sido posible. A las palabras de aliento, a las esperanzas, a la confianza y al cariño incondicional de todos ellos mi agradecimiento sincero y la plena convicción de que siempre estará depositada en mí la gratitud eterna, aquella que dignifica el vínculo irrenunciable de la sangre y el sublime compromiso de la Amistad.

A mi mujer, Valeria.

A Javiera, con amor de Padre.

A Mariela, Belén y Gabriela, mis amadas hermanas.

A don Hernán y doña Raquel, por el cariño depositado.

A mi Profesor Guía, Francisco Ferrando.

A Christian Brunner, Cristian Espinoza, Wilfredo Pincheira y Martino Pasti, por creer en mí.

A Carlos Ramírez, Germaín Rivera, Ljubomir Tomasevic, Fernando Lepori, Luciano González, Álvaro Gutiérrez, Ganni Volpi, Francisco Díaz, Gonzalo Salamanca, Ariel Vidal, Sandro Bruni, Eduardo Del Piano y Hernán Torres, por la confianza y desinteresada ayuda.

A Alejandro Bustos, Cristian Hernández, Rodrigo Quilaqueo, Carmen Gloria Ortiz, Enrique Astorga, Rodrigo Soto, Rodrigo Padilla y David Videla, compañeros en los buenos y malos momentos de nuestra vida universitaria,

A Gonzalo Downey, amigo de años.

A mi amigo Oscar Rementería, con quien compartí el sueño de tener una carrera y una universidad mejor, aún conociendo los riesgos y dificultades asumidas.

Y a mis profesores de la carrera de Geografía, por haberme entregado herramientas y enseñanzas que no hacen otra cosa que generar un gran sentimiento de agradecimiento hacia ellos y me hacen sentir un hijo honrado y pleno de la filosofía que inspira y ha inspirado siempre a la primera Universidad de Chile.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
ÍNDICE GENERAL.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
RESUMEN.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
1. Área de estudio.....	13
2. Planteamiento del problema.....	15
3. Hipótesis.....	16
4. Objetivos del estudio.....	17
4.1.- Objetivo general.....	17
4.2.- Objetivos específicos.....	17
I. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	18
1. Análisis espacial.....	18
2. Sustentabilidad.....	19
3. Energías renovables no convencionales.....	22
4. Geotermia.....	25
5. Líneas de Alta Tensión.....	32
6. Análisis multicriterio.....	33
II. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	36
1. Pasos Metodológicos.....	36
1.1 Planteamientos Metodológicos Objetivo Específico nº1...	36
1.2 Planteamientos Metodológicos Objetivo Específico nº2...	37
1.3 Planteamientos Metodológicos Objetivo Específico nº3...	41
1.4 Materiales y Herramientas.....	41
2. Análisis de imágenes satelitales.....	42



III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
1. Criterio Socioeconómico.....	52
1.1 Subcriterio Aptitud Turística.....	54
1.2 Subcriterio Aptitud Paisajística.....	63
1.3 Subcriterio Aptitud Histórico Social.....	67
2. Criterio Ambiental.....	72
2.1 Subcriterio Áreas Protegidas.....	73
2.2 Subcriterio Áreas Sensitivas Ambientales.....	77
2.2.1 Valoración Aporte NDVI.....	78
2.2.2 Valoración Sitios Húmedos.....	79
2.3 Subcriterio Aptitud Faunística.....	83
3. Criterio Morfoestructural.....	87
3.1 Subcriterio Pendientes.....	88
3.2 Subcriterio Aptitud Geológica.....	93
4. Criterio Empresarial.....	97
4.1 Subcriterio Aptitud Constructiva.....	98
4.2 Subcriterio Aptitud de Conexión.....	102
Resultado general del análisis multicriterio.....	106
IV. CONCLUSIONES.....	110
V. RECOMENDACIONES.....	113
BIBLIOGRAFÍA.....	115
ANEXOS.....	119



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	Escala de Saaty.....	39
TABLA 2	Ejemplo de valoración de aptitud.....	40
TABLA 3	Ejemplo de comparación entre opciones de Trazado.....	40
TABLA 4	Clasificación NDVI.....	45
TABLA 5	Criterios de valorización.....	49
TABLA 6	Calificación de criterios.....	51
TABLA 7	Criterios Análisis Socioeconómico.....	53
TABLA 8	Aptitud al trazado utilizando Desarrollo Turístico.....	60
TABLA 9	Aptitud al trazado utilizando Aptitud al Paisaje.....	64
TABLA 10	Aptitud al trazado utilizando Valoración Histórico Social.....	69
TABLA 11	Criterio Análisis Ambiental.....	73
TABLA 12	Aptitud al trazado Subcriterio de Áreas Protegidas.....	74
TABLA 13	Aptitud al trazado respecto a Áreas Sensitivas Ambientales.....	80
TABLA 14	Aptitud al trazado utilizando Aptitud Faunística.....	84
TABLA 15	Criterios Análisis Morfoestructurales.....	88
TABLA 16	Comparativo de rangos de pendientes.....	89
TABLA 17	Aptitud Geológica.....	93
TABLA 18	Análisis Criterio Empresarial.....	98
TABLA 19	Aptitud al trazado Subcriterio Aptitud Constructiva.....	99
TABLA 20	Aptitud al trazado Subcriterio Aptitud Conexión.....	103
TABLA 21	Grado de relevancia final.....	109



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	Mapa área de estudio.....	14
FIGURA 2	Matriz ERNC en el Mundo y Chile.....	24
FIGURA 3	Esquema conceptual de un sistema geotérmico.....	26
FIGURA 4	Principales regiones geotermales del Mundo.....	27
FIGURA 5	Estimación Potencial geotérmico en Chile.....	28
FIGURA 6	Concesión de explotación de Energía Geotérmica El Tatio.....	31
FIGURA 7	Árbol de decisiones multicriterio.....	37
FIGURA 8	Espectro Electromagnético.....	43
FIGURA 9	Sector Turístico Géisers del Tatio.....	56
FIGURA 10	Paisaje Típico ZOIT Alto Loa.....	58
FIGURA 11	Mapa de Aptitud de Trazado respecto Desarrollo turístico.....	62
FIGURA 12	Mapa de Aptitud de Trazado respecto al Paisaje.....	66
FIGURA 13	Mapa de Aptitud de Trazado respecto a Valoración histórico social.....	71
FIGURA 14	Mapa de Aptitud de Trazado respecto a áreas protegidas.....	76
FIGURA 15	Mapa de Aptitud de Trazado respecto a ASA.....	82
FIGURA 16	Mapa de Aptitud de Trazado respecto a Aptitud faunística.....	86
FIGURA 17	Mapa de Aptitud de Trazado respecto a Pendientes.....	92
FIGURA 18	Mapa de Aptitud de Trazado respecto a Aptitud geológica.....	96
FIGURA 19	Mapa de Aptitud de Trazado respecto a Aptitud constructiva.....	101
FIGURA 20	Mapa de Aptitud de Trazado respecto a Aptitud de Conexión.....	105
FIGURA 21	Mapa Análisis al interior del software Expert Choice.....	107
FIGURA 22	Mapa de resultados de Criterios.....	108



RESUMEN

El objeto de la presente Memoria de Título, “**Análisis espacial para la definición del Trazado eléctrico entre una Planta Geotermoeléctrica y el Sistema Interconectado del Norte Grande**”, es el estudio y demostración de cómo dicho análisis importa una mejor elección para un trazado de transmisión eléctrica con un resultado amigable para el medioambiente y la comunidad en que se encuentra inserto. Para ello se utilizan herramientas propias del análisis espacial y conceptos del autor que permitan sopesar distintas variables económicas, técnico-constructivas, de Ingeniería, territoriales, socioeconómicas o medioambientales de orígenes diversos pero de común concurrencia a la elaboración de este tipo de proyectos en el seno de una organización pública o privada.

La línea de transmisión eléctrica transportará la energía generada desde una central Geotermoeléctrica ubicada en la Quebrada del Zoquete, en las inmediaciones del sector turístico de los Géiser del Tatio, en la comuna de Calama, hasta el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING). Su trayecto comenzará en una Subestación eléctrica allí ubicada para, atravesando el desierto de Atacama, llegar a la Subestación eléctrica de Chuquicamata o Calama, localizadas ambas en la comuna de Calama.

El estudio ha empleado una metodología de análisis multicriterio (AMC) que se apoya tanto en lo realizado por Saaty (1996) -cruce de alternativas mediante una tabla de comparación y el otorgamiento de pesos de importancia- como en el uso de una plataforma GIS (*Geographic Information System*) para la generación de mapas temáticos de análisis y al procesamiento de imágenes satelitales que permiten la discriminación de variables ambientales. Con ello se procedió a la realización del análisis final que permitió discriminar entre tres diferentes opciones dadas de Trazados hasta conseguir la elección de aquel que tuviese, en su ponderación, un menor impacto respecto a las otras dos alternativas, analizando tanto el espacio geográfico que hipotéticamente sería intervenido por este proyecto de ingeniería como uno de corte sistémico-espacial.



INTRODUCCIÓN

Desde que se produjo el fin definitivo de la industria salitrera como fuente primordial de ingresos para el país y cesara su condición de motor casi exclusivo de la economía nacional, Chile debió enfrentar un proceso de diversificación de su aparato productivo que le permitiera desarrollar una industria más amplia, independiente y capaz de responder en forma oportuna a los requerimientos del mercado mundial. Ya en el Mensaje Presidencial de 1922 el Presidente Arturo Alessandri Palma exponía respecto a la necesidad de ampliar las fuentes de riquezas nacionales en torno a la agricultura y la fruticultura (que requería y requiere menos esfuerzos energéticos) hasta avanzar paulatinamente hacia una industrialización mayor de la economía nacional, proceso que tiene su punto de partida con la creación de empresas por parte del Estado como CORFO o ENAP que, a la par de los beneficios indudables que trajeron a la modernización del país y su economía, impusieron una serie de desafíos mayores a los que se fue respondiendo paulatinamente, tradicionalmente a medida que estos fueron apareciendo en el horizonte. Sin embargo, cincuenta años después y tras la consolidación del ideal de diversificación fabril y producida la apertura definitiva de Chile al comercio mundial, se plantea un problema mayor al proyecto nacional de desarrollo, ineludible y de imposible respuesta improvisada, que pronto se constituye en uno de los ejes de nuestras preocupaciones geopolíticas: la independencia energética. Y es que, producido el fin de la era carbonífera, la dependencia de nuestro aparato productivo de fuentes importadas de energía tradicional, como petróleo y gas, se hace más evidente ante las crisis de suministro del primero que eleva sus precios encareciendo todo el proceso productivo o ante cortes en el suministro regular de gas proveniente de Argentina y el rechazo del Gobierno boliviano por venderlo a Chile sin una revisión previa al Tratado de límites de 1904. Además existe necesariamente una dependencia absoluta de factores climáticos, esencialmente volátiles, para el funcionamiento de fuentes como las hidroeléctricas, pese a que nuestro país es una tierra rica en recursos hídricos. Por ello, por su impacto en la economía nacional y por la vulnerabilidad final que manifestamos, es que diversificar la matriz energética de Chile se transforma en una de las necesidades estratégicas primarias de la República, no pudiendo añadir



a la escasez de fuentes energéticas tradicionales –como el Gas y el Petróleo- una dependencia excesiva de los vaivenes de la política interna de terceros países a los que no nos resulta posible hacer frente.

Es enfrentado este escenario que surge la viabilidad de las llamadas Energías Renovables No Convencionales (ERNC) como la eólica, la solar, la geotérmica y la mareomotriz, que cumplen con el objetivo primordial de aprovechar nuestras propias fuentes para generar electricidad (CNE, 2006), dándole la necesaria autonomía energética a nuestra capacidad industrial instalada a la vez que generan en el medio ambiente consecuencias significativamente menores que las energías convencionales (VASQUEZ, 2004).

Dado que el problema de la dependencia energética no es exclusivo de la economía chilena, no son pocos los países tanto del mundo desarrollado como en desarrollo que ya han volcado sus esfuerzos hacia la diversificación de su matriz energética y dentro del contexto de la utilización de las ERNC hay algunos como Dinamarca, El Salvador, Filipinas e Islandia que producen más del 20% de la energía de su matriz y otros como Italia, Alemania, Francia, México, Nueva Zelanda, el Reino Unido, Nicaragua o Canadá que ocupan significativamente esta energía (VALENCIA, 2004). Sin embargo Chile aún no posee planta geotérmica alguna pese a existir en el territorio nacional las condiciones necesarias, de acuerdo con diversos estudios que indican múltiples áreas para la explotación geotérmica y sistemas geotérmicos asociados a sistemas volcánicos, por encontrarse Chile inmerso en zonas asociadas a la franja volcánica del Plioceno - Holoceno que se extiende a lo largo de la Cordillera de Los Andes (LAHSEN, 2003), comúnmente llamado Cinturón de fuego del Pacífico.

Es por ello que se hace necesario considerar la viabilidad de utilizar este tipo de energía no tradicional, dada la necesidad estratégica de la Nación de diversificar su matriz energética y las condiciones naturales que le da su territorio, considerando que además se trata de una alternativa amigable con el medioambiente, asumido incluso por la Presidenta Michelle Bachelet quien presentó como plataforma de Gobierno en su programa el desafío de aumentar en un 15% la



generación eléctrica con energías no convencionales en el cuatrienio 2006-2010 (BACHELET, 2005).

En esa línea establecida por la actual administración, el Ministerio de Minería ha otorgado concesiones de exploración y explotación de energía geotérmica a distintos actores privados para conseguir que en el corto y mediano plazo se instalen en Chile plantas de generación eléctrica provenientes de este tipo de energías. Con esa base y en ese contexto nace en Abril de 2005 la Empresa Nacional de Geotermia (ENG) compuesta por capitales públicos y privados, teniendo el Estado de Chile una participación del 49% a través de la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) y la iniciativa privada un 51%, que es propiedad de la compañía eléctrica italiana *Ente Nazionale per l' Energia Elettrica*, ENEL.

Dentro de su cartera de proyectos, ENG, a través de su empresa subsidiaria Geotérmica del Norte, sociedad conformada por ENAP con un 45%, ENEL con un 50% y CODELCO con un 5%, plantea desarrollar el Proyecto Geotérmico Quebrada del Zoquete, el que contempla una planta geotermoeléctrica con una capacidad de generación de 40 MW, en la Quebrada del Zoquete, en las inmediaciones del sector turístico de los Géiser del Tatio, en la comuna de Calama, para fines del año 2011. Mientras se encuentra pronto a desarrollar -fines de 2008- la fase de exploración profunda del Proyecto y, una vez culminada esa primera etapa, seguir con la construcción de la planta, las subestaciones eléctricas y el trazado de la línea de alta tensión, línea que esta siendo considerada con un nivel de tensión de 100 Kv, de doble circuito y que constituye el proyecto principal para este estudio. Este proyecto en particular ha demandado un análisis académico patrocinado por ENG, en cuanto la empresa desea conocer de nuevas metodologías para el desarrollo de su Ingeniería conceptual y la discriminación entre tres alternativas preliminares de trazados para escoger aquel que sea el más beneficioso con el medioambiente y la comunidad¹.

¹ Se entiende como beneficioso con el medio ambiente y la comunidad a una situación de responsabilidad de los humanos para el mundo en donde vive y en donde se acepte esta responsabilidad y se proteja la vida del medio natural y las personas que habitan el planeta, tal como lo plantea David Korten en *Globalización y sustentabilidad: Escenario mundial y alternativas después del 11 de Septiembre*, en Septiembre de 2002.



1

ÁREA DE ESTUDIO

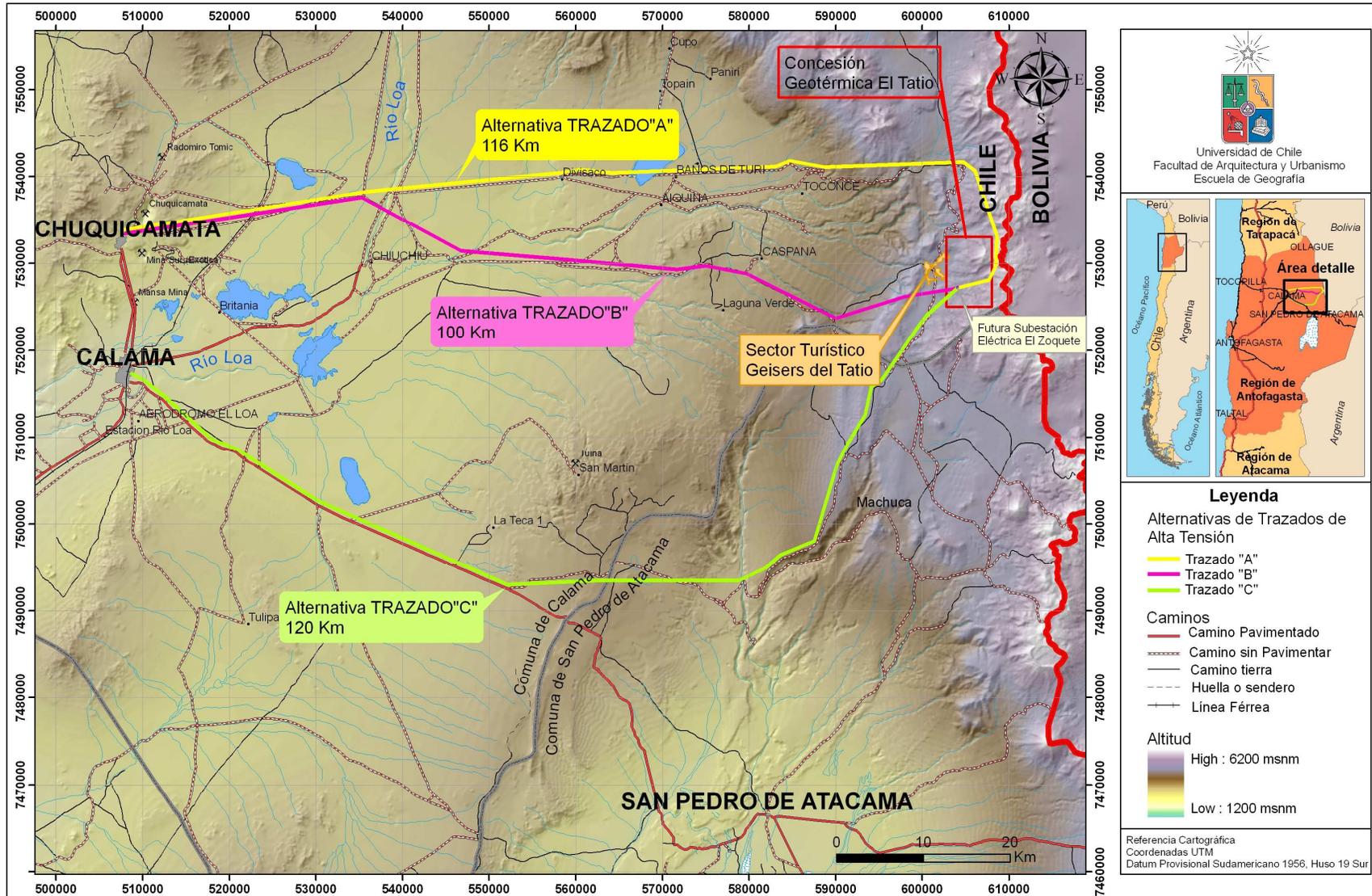
El presente estudio abarca un espacio geográfico de la región de Antofagasta comprendido entre el sector de los Géiser del Tatio en la comuna de Calama (a 120 kilómetros de su centro urbano, a 90 kilómetros de San Pedro de Atacama y a 4.200 metros sobre el nivel del mar), pasando por el Desierto de Atacama hasta llegar al Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) en el campamento de Chuquicamata o en la Subestación Eléctrica de Calama, en la misma comuna (Figura N° 1).

Quintanilla (1988) señala en la “*Carta vegetal de las zonas Áridas y Semiáridas de Chile Septentrional*”, al área de estudio con cuatro categorías vegetales al interior de dos grandes Ecosistemas, el primero de tipo Cordillerano Andino y del cual se aprecian dos subsistemas: el “Desierto de altura” y el “Desierto montañoso de la cuenca superior del río Loa” y el segundo de carácter Alto Andino, dentro del cual se observan los subsistemas; “Comunidades de tipo tolar de la prepuna” y “Estepa arbustiva altiplánica”.

Otros autores como Ferrando (1975; 2002) identifican al área de estudio como desértica, “modelada por el escurrimiento de las aguas lluvias y morfologías volcánicas a partir de los 4.000 m.s.n.m, con abundantes conos volcánicos, calderas, coladas de lavas y campos de piroclastos que jalonan y cubren parcialmente las mesetas riolíticas terciarias”.



FIGURA Nº 1. ÁREA DE ESTUDIO





2

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Así como asegurar el abastecimiento energético es primordial para el desarrollo económico del país y una necesidad estratégica fundamental, también lo es conseguir dicha meta en forma armónica con la sociedad y con el máximo de respeto pleno al medioambiente. En esa línea, conseguir que la planta geotermoeléctrica y su trazado de línea de alta tensión sea un proyecto de desarrollo sustentable² importa la utilización de criterios técnicos-ambientales apropiados que determinen el mejor lugar para su instalación y funcionamiento.

Si bien la energía geotérmica constituye una significativa opción energética para el desarrollo sustentable³, ya que es una de las fuentes energéticas que se pueden considerar amigables con el medioambiente -al ser una actividad que no agota los recursos naturales, es poco invasiva y contaminante⁴- para nuestro caso de estudio la instalación de una planta geotermoeléctrica en las inmediaciones de los Géiser del Tatio constituye un problema que alcanza a otros aspectos de la vida económica nacional, ya que el Proyecto se encuentra inmerso en uno de los puntos de atracción turística más importantes de Chile (SERNATUR, 2002), fuente importante de ingresos para la Región de Antofagasta. Y es que, obligatoriamente, el trazado de su línea de Alta Tensión atraviesa sistemas ecológicos sensibles al interior del Desierto de Atacama hasta conectarse con el SING, sumado a que gran parte del Proyecto en cuestión se encuentra en terrenos que aún son reclamados por comunidades originarias, elementos que reunidos hacen de este Proyecto una iniciativa sensible para la realidad regional en cuanto a que la elección del lugar de instalación del trazado de la línea de Alta Tensión debe considerar necesariamente la presencia de todas estas variables, junto a otras que permitan considerarlo

² El autor se adscribe al significado de Desarrollo Sustentable, como a aquel planteado en 1987 por la Comisión Mundial sobre el Medioambiente y Desarrollo, conocida también como la comisión Brundtland en la cual se plantea que el Desarrollo Sustentable "Es aquel que puede lograr satisfacer las necesidades y las aspiraciones del presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades y aspiraciones."

³ Naciones Unidas - Unión Europea. Proyecto: Desarrollo de los Recursos Geotérmicos en América Latina y el Caribe, ONU, 2007.

⁴ Se estima que la producción de energía geotérmica en el mundo ahorra unos 20 millones de TPE/AÑO (Toneladas de Petróleo equivalente al año) y evita alrededor de 70 millones T_{CO2}/AÑO (toneladas de CO2 al año). Según Paolo Bona, Gerente Técnico de GEONICA S.A en 2007.



finalmente sustentable, es decir, capaz de sostenerse con pleno respeto y sin perjuicios al medio natural y social.

Por lo tanto, el presente estudio está orientado en primer término a resolver una problemática de toma de decisiones, específicamente sobre la elección de la alternativa que reúna la mayor cantidad de elementos que permitan considerarla “sustentable” para un trazado de línea de transmisión eléctrica entre una planta geotermoeléctrica en El Tatio y el SING y en segundo término, para lograrlo, se plantea que el análisis espacial y la discriminación mediante una visión sistémica-geográfica son fundamentales para obtener dichos resultados, ya que la conjugación de tan disímiles variables (dada la complejidad de análisis, cuantificación y expresión territorial) es imposible dentro de un mismo rango de evaluación o tomarlas en consideración por separado o en forma tangencial al análisis espacial.

3

HIPÓTESIS

La óptima alternativa para la instalación de una línea eléctrica de alta tensión -considerando como óptima a aquella que reúna la mayor cantidad de características que permitan llamarla “sustentable”- puede determinarse con el apoyo de técnicas de análisis multicriterios y un análisis de corte espacial del espacio geográfico que lo acoge.

En el transcurso de este trabajo se buscará aportar evidencia que permita verificar esta hipótesis, ya sea a favor o en contra, principalmente apoyándose en técnicas de análisis espacial aprehendidas en el transcurso de la carrera de Geografía y además apoyado en herramientas de discriminación como el análisis multicriterio.



4

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

4.1 OBJETIVO GENERAL

Encontrar el mejor espacio geográfico para la instalación de una línea de Alta Tensión entre una planta geotermoeléctrica en las inmediaciones de los Géiser del Tatio y el Sistema Interconectado del Norte Grande, utilizando técnicas y metodologías de análisis espacial.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Establecer variables relevantes de discriminación espacial, desde el punto de vista estructural, ambiental y socio-económico que permitan identificar áreas homogéneas que sirvan para identificar el más óptimo trazado de línea de Alta Tensión entre el sector del Tatio y el SING.
2. Dilucidar cuál, entre tres alternativas de trazado, es aquella que presenta los mejores índices para calificar como un trazado ambientalmente responsable con el medio natural y social.
3. Desarrollar un modelo esquemático que sirva de guía a la resolución de problemáticas de proyectos de Ingeniería de similar complejidad y/o intervención espacial.



I

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

*“El geógrafo, a su manera, con los medios que disponía
y con su técnica, procede científicamente según
su tiempo; pero con mucho de personal puesto que era
la realidad misma del ambiente vivido
lo que interpretaba”*

Pablo Vila

1. ANÁLISIS ESPACIAL

Para efectos del presente estudio resulta importante en primer lugar determinar qué entendemos por espacio geográfico, acaso como *“la epidermis de la tierra”* según Jean Tricart o como un espacio *“accesible a la sociedad”* como plantea Max Sorre. Para esta presente memoria entenderemos al espacio geográfico como aquella porción de paisaje en la cual interactúan distintos fenómenos naturales y humanos desde la concepción del “paisaje”, ya que su estudio encuentra en la disciplina geográfica una visión “holística” de los acontecimientos espaciales y que busca colaborar con otras disciplinas en la comprensión y en el estudio de los complejos fenómenos espaciales⁵.

Comprendiendo la naturaleza y esencia de ese espacio, sus características y descripciones. En un concepto amplio del idioma espacio es la extensión que contiene toda la materia existente o la parte que ocupa un objeto sensible⁶ y específicamente en nuestra área de interés y para efectos de nuestro estudio espacio geográfico define la extensión organizada por la sociedad en su relación con el paisaje –natural, humano, urbano, etc.- siendo una construcción de naturaleza social acumulativo, es decir, importa la presencia de huellas históricas de diferentes generaciones que allí han interrelacionado, que van marcando y

⁵ Bertrand, G, en Maino, V. 2000. El paisaje en geografía, Revista Terra Australis, 45: 25-30.

⁶ Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, 22^o Edición.



definiendo esa extensión o espacio geográfico como suma de lo que es una Sociedad determinada respecto a su medio. Señalamos esto en cuanto el presente estudio, en la consideración de los criterios que permitieron establecer las alternativas de trazado, hubo de tener en cuenta, como se verá, la presencia de todos estos factores que interactúan y definen el espacio geográfico.

Por otro lado el espacio geográfico, es la suma interactiva de un grupo social con su medio, posee diferentes escalas de análisis que van desde lo más amplio, lo global y que considera el espacio-planeta hasta lo más pequeño, lo local como espacio de las identidades particulares que allí se desarrollan. Para interpretarlo son necesarias tres visiones: biótica, abiótica y antrópica. Es decir, considerar la presencia e interacción de los seres vivos con el espacio en estudio (Flora y Fauna), la presencia de elementos no vivos pero que definen esa extensión (por ejemplo la geología) y una visión antrópica elemental que considere la presencia humana en el territorio, cómo condiciona y cómo es condicionada por él. Así podemos establecer desde ya que si bien el espacio geográfico es objeto de estudio de la Geografía, su comprensión cabal exige una visión interdisciplinaria que incorpore aspectos históricos, sociológicos, geopolíticos o económicos, todos los cuales han sido considerados por el presente estudio para la obtención del Objetivo General de trabajo.

Es lo que entendemos como Análisis espacial o territorial, es decir el estudio, análisis y comprensión del Territorio como expresión del sistema constituido por las características y factores del medio natural y de los procesos económicos, sociales y culturales que tienen su repercusión determinante en la realidad de esa extensión a que hacemos referencia, todos ellos elementos que han de considerarse para establecer un estudio de estas características y que importa un fuerte impacto en su emplazamiento físico y social.

2. SUSTENTABILIDAD

Gracias al vertiginoso avance de la industria de post guerra, la mayor demanda energética consecuente y el mayor impacto en el medio natural que ello



produjo comenzó a establecerse en la segunda mitad del siglo pasado y específicamente en sus últimas décadas la necesidad de que dicho proceso de desarrollo industrial y esa explotación necesaria de los recursos disponibles se efectuara de manera “sustentable”, llevando incluso a legislar a los Estados nacionales y al establecimiento de Cartas y Tratados por parte de los organismos internacionales. Esa sustentabilidad hace referencia al mantenimiento del equilibrio de las relaciones de los seres humanos con el medio, logrando un desarrollo económico mediante el avance de la ciencia y la aplicación de la tecnología pero sin dañar la dinámica del medio ambiente. En suma y en el espíritu del término, que dicho proceso se pueda sostener a lo largo del tiempo y por varias generaciones.

Concepto empleado por primera vez en el año 1987 por la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo en "*Nuestro Futuro Común*", donde se caracteriza el concepto de desarrollo sustentable como la síntesis de tres objetivos: crecimiento económico, equidad social y conservación ambiental, la amplitud de la idea de sustentabilidad hace de su aplicación un proceso de sumo subjetivo, que puede estar sujeto a los intereses de una comunidad local, de un Gobierno, de una empresa o de un grupo determinado digno de ser empleado para favorecer la actividad propia y entorpecer la ajena, ideas que fueron ratificadas por 108 presidentes y jefes de estado en la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD) o también conocida como Cumbre de la Tierra, en Río de Janeiro –Brasil- en 1992, en donde estos líderes suscriben que “Los estados deberán cooperar con espíritu de solidaridad mundial para conservar, proteger y restablecer la salud y la integridad del ecosistema de la tierra”. Para ello es que, como se ha dicho, se ha legislado en orden a establecer criterios de convergencia nacional e internacionalmente, definiendo bajo el amparo del Derecho aquello que es y no sustentable o respetuoso con el espacio geográfico, entendido este en la línea establecida por este estudio, la suma de las realidades naturales, sociales, históricas, económicas o culturales de un territorio dado.

En el caso de nuestra República se dictó en 1994 la Ley N° 19.300 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente que, junto con establecer las políticas del Estado chileno y asegurar a los habitantes de la Nación el derecho a vivir en un



Medioambiente sano y libre de contaminación⁷, crea la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) encargada de velar por la sustentabilidad de los proyectos de inversión en el territorio nacional, visando que dichas iniciativas responden a la necesidad de preservar, cuidar y respetar el medio natural y social. Dicha labor la efectúa como ente público responsable del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), instrumento que permite “introducir la dimensión ambiental en el diseño y la ejecución de los proyectos o las actividades que se realicen en el país. A través de él se trata de asegurar que las iniciativas, tanto del sector público como del sector privado, sean ambientalmente sustentables y de certificar que ellas cumplan con todos los requisitos ambientales que le sean aplicables”⁸.

El procedimiento establecido por la Ley N° 19.300 para calificar la sustentabilidad de un proyecto de inversión, a través del SEIA es:

- 1) El titular del proyecto que se desea llevar a cabo debe presentar una **Declaración** de Impacto Ambiental al SEIA donde se establezca el impacto que dicha iniciativa a de tener en el espacio geográfico determinado, considerando todas las variables. Pero si dicho Proyecto implica una alteración mayor, un impacto de más envergadura o un eventual riesgo para la población y su entorno natural y social, debe presentar al mismo organismo pública un **Estudio** de Impacto Ambiental.
- 2) La CONAMA, a través de su Dirección Ejecutiva o las Comisiones Regionales del Medio Ambiente (COREMA) dirige y coordina el proceso de evaluación ambiental de los proyectos que han sido así presentados al SEIA. Para ello son convocados todos los organismos del Estado con competencia legal para pronunciarse sobre materias ambientales en el ámbito de sus facultades y si la existencia de dicho proyecto requiere de su concurso (Gobiernos Regionales, Gobernaciones, Municipalidades o Seremías).

⁷ El Artículo 1 de la Ley N° 19.300 señala que: “El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental se regularán por las disposiciones de esta ley, sin perjuicio de lo que otras normas legales establezcan sobre la materia”.

⁸ Definición del SEIA establecida por la Comisión Nacional de Medioambiente, CONAMA.



3) Una vez sometido a su conocimiento se dispone de 60 días hábiles para resolver si se trata de una Declaración de Impacto Ambiental y de 120 si se trata de un Estudio de Impacto Ambiental (en el primer caso se puede prorrogar por única vez el plazo por 30 días más y en el segundo por 60).

4) Si las obras e instalaciones y el área de influencia del proyecto abarcan más de una región, dicho proyecto lo califica ambientalmente la Dirección Ejecutiva de CONAMA, de lo contrario, el proyecto es calificado ambientalmente por la respectiva Comisión Regional del Medio Ambiente. Dicha calificación se expresa en un documento que se denomina Resolución de Calificación Ambiental, que autoriza o rechaza la ejecución del Proyecto en cuestión.

Para efectos de nuestro estudio y guiados por la Hipótesis que lo sustenta, la necesidad de establecer el Trazado que resulte más amigable con el medio natural y social, han de considerarse en los Criterios y Subcriterios a analizar todas las variables exigidas por la Ley y la doctrina a fin de considerar que, finalmente, estamos en presencia de una alternativa sustentable para la Región de Antofagasta y la Provincia de El Loa.

3. ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES

Una de las materias que va de la mano con la idea de sustentabilidad es la utilización de energías renovables, aquellas cuya capacidad no se agote en el inmediato o mediano plazo y permita su uso y goce a las generaciones venideras, al mismo tiempo que resulte amigable con la preservación del medio ambiente sano y libre de contaminantes, tal como señala el espíritu del Derecho chileno y de la doctrina internacional. Sin embargo es amplio el abanico de energías renovables, que varían en su disposición de un territorio a otro y, naturalmente, poseen diferentes niveles de costos o viabilidad económica. Al decir del Profesor Leonardo Valencia, Energías Renovables No Convencionales (ERNC) son todas aquellas energías renovables con excepción de la Hidráulica a gran escala (potencia superior a 50 MW) y que no son exclusivas a la generación eléctrica, sino que las abarcan a través de las turbinas eólica, paneles fotovoltaicos o generación



mareomotriz junto con el Transporte (biodiesel o gasohol) y calefacción (paneles solares, calentamiento de agua vía solar o biomasa).

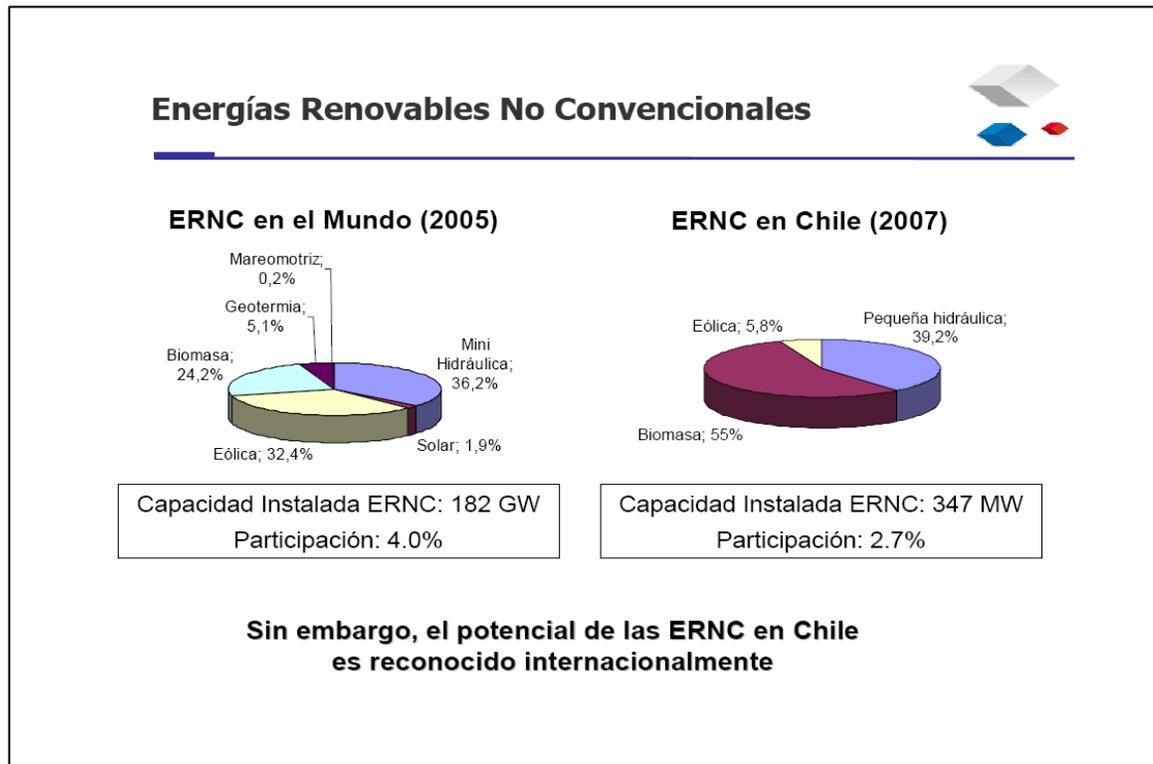
A la luz de esos antecedentes resulta del todo evidente o lógico la necesidad de invertir en ERNC, tanto de un aspecto de proyectos de desarrollo a largo plazo como de una consideración ética que se auto impone el cuerpo social a través de su Estado. Sin embargo y aún cuando se trata de mecanismos utilizados hace más de 80 años (por ejemplo la energía eólica data de la década de 1930) se trata de fuentes de alto costo de inversión inicial, en especial para naciones que contando con los recursos del medio se encuentran en vías de desarrollo y manifiestan necesidades sociales más apremiantes (Por ejemplo Nicaragua tiene una de las mejores condiciones climáticas del corazón centroamericano para el desarrollo de una capacidad energética eólica de envergadura, pero el Estado tiene necesidades de mucha mayor premura y una limitación considerable de recursos) además de exigir un alto grado de investigación y estudios que, de preferencia, deben emanar de las Universidades. Por otro lado dependen de condiciones climáticas difíciles de preveer (VALENCIA, 2004) en comparación con la energía hidráulica, de mucho mejor proyección.

En la actualidad las naciones líderes en la diversificación de su matriz energética en base a las ERNC son todas del mundo económicamente desarrollado y las tres primeras europeas: Dinamarca, con un 20% de ERNC en su matriz energética, Alemania, con un 9,4% y el Reino Unido, con un 3%. Si pensamos que los británicos ocupan el tercer puesto sólo con un 3% la realidad mundial es francamente desalentadora.

Llevado a cifras las ERNC en el mundo representan un 4% de la participación energética global con 182 GW y para el caso chileno representa un 2,7% con 347 MW para el año 2007, siendo hasta hoy las únicas fuentes de energía de este tipo en el país las centrales de Biomasa, Hidroeléctricas de Pasada y Eólicas, según la siguiente figura (ver Figura N°2).



FIGURA Nº 2. MATRIZ ERNC EN EL MUNDO Y CHILE



FUENTE: COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA.

Para revertirlo y especialmente para impulsar la diversificación en las naciones en vías de desarrollo, con potencialidades naturales y tradicionalmente sobreexplotadas en sus recursos naturales, se requiere de políticas públicas ya no que financien directamente la investigación e inversión (mecanismos activos) en ERNC –habida cuenta su incapacidad financiera real- sino por medio de acciones indirectas o pasivas como el subsidio, exenciones tributarias, convenios con Universidades extranjeras, beneficios de inversión, promoción a la contratación, etc. Ello es especialmente necesario en el caso de los chilenos, aún cuando el Gobierno central ha asumido en sus compromisos para la conmemoración del Bicentenario republicano llegar al 10% de ERNC en la matriz energética patria en el marco del Protocolo de Kyoto, suscrito y ratificado por Chile. Si bien el Estado puede asumir un rol más activo, lo cierto es que paralelamente se puede desarrollar una política de incentivo a la instalación y desarrollo de este tipo de energía considerando la extrema dependencia de nuestro aparato productivo de fuentes importadas, sometidas a vaivenes no siempre de la naturaleza y que mantienen nuestra apuesta



de desarrollo futuro hipotecada a hechos que escapan de nuestros manos. Sin duda que el cumplimiento de la meta en el marco de la conmemoración bicentenaria sería un gesto simbólico de la República en orden a conquistar también, doscientos años después, su Independencia energética, sobrepasando en el futuro la meta de generación por sobre el 15%, permitiendo la elección del usuario de su proveedor de energía eléctrica por ejemplo que fomente la competencia en la inversión o la posibilidad de que las empresas puedan cobrar un 3% o 4% más por el hecho de suministrar ERNC, que permitiría financiar dicha inversión en forma indirecta y que representarían un aumento marginal de los costos en energía si se considera la actual situación tarifaria.

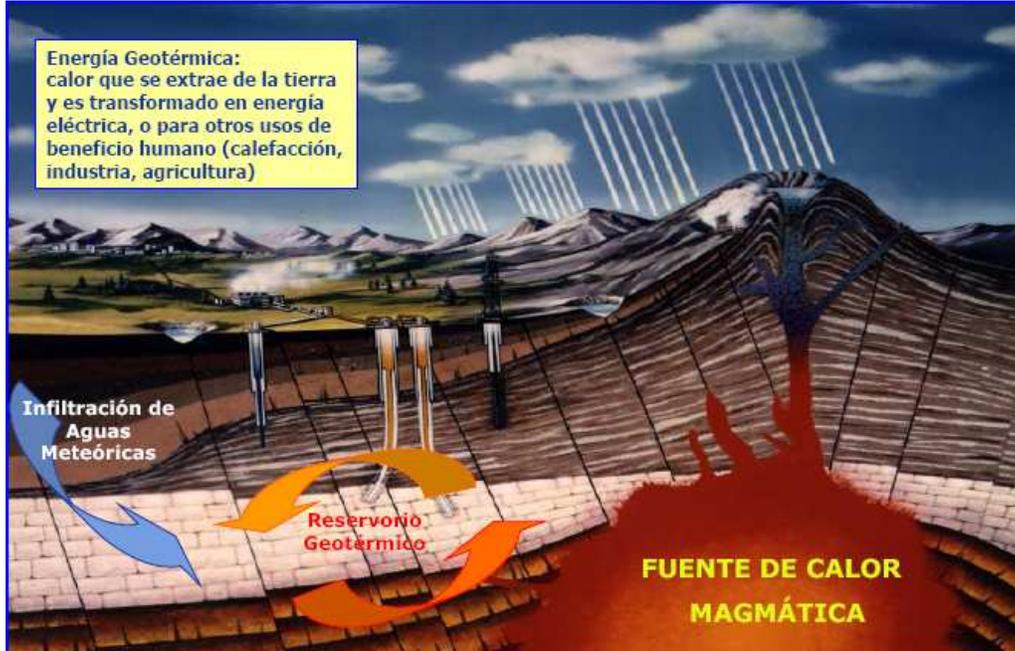
Con ello y en la línea de este estudio, todos los proyectos nacionales de inversión en energía se han de encontrar en plena armonía con el medio natural y social del país.

4. GEOTERMIA

A diferencia de la mayoría las ERNC la Geotérmica no proviene del Sol sino de la diferencia de temperatura que existe entre el interior de la Tierra y su superficie. Etimológicamente la palabra nos habla precisamente de “*Calor de la Tierra*” y se emplea tanto para describir a la ciencia responsable de su estudio como a la capacidad de generación energética en base a ella, acepción que importa para los efectos del presente estudio. Si bien presenta una serie de ventajas (como el otorgamiento de independencia energética, producción marginal de residuos y menor impacto ambiental) al mismo tiempo es de alto costo inicial, es imposible de transportar y no es de fácil disposición, como otras fuentes (CNE, 2006). Según el geólogo Arturo Hauser “la energía geotérmica es aquella que se obtiene del calor natural interno de la Tierra y que puede ser extraída y utilizada a partir del agua, gases y vapores calientes (excluidos los hidrocarburos) o a través de fluidos inyectados artificialmente para este fin (ver figura N° 3).



FIGURA N° 3: ESQUEMA CONCEPTUAL DE UN SISTEMA GEOTÉRMICO.

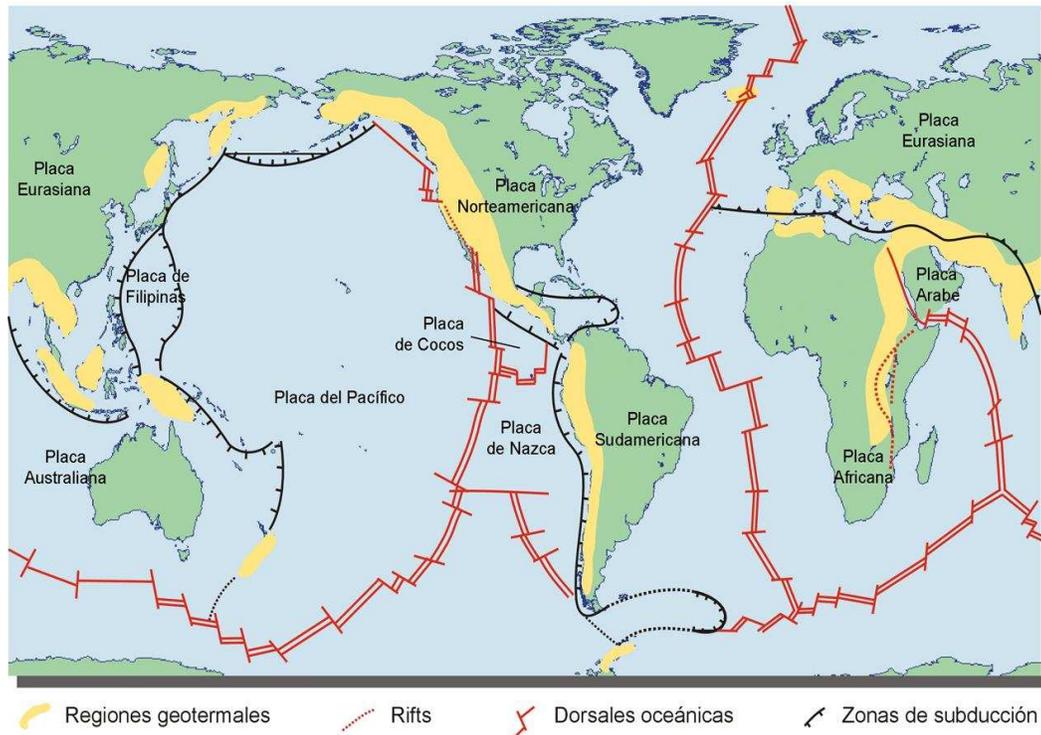


FUENTE: ENG

El calor proveniente del interior de la tierra se propaga hacia la corteza terrestre donde existen amplias zonas tectónicamente estables con determinadas gradientes geotérmicas, entendido esto como el aumento sostenido de la temperatura con la profundidad, con un promedio de 1°C por cada 33 metros. En torno a las zonas volcánicas, debido a fenómenos geológicos relacionados con la tectónica de placas, el flujo calórico alcanza valores muy superiores, esto es gradientes geotérmicas que superan los 20° a 30°C p or 100 m de profundidad (BONA, 2007), para el caso de Chile esta situación se replica para casi todo el territorio nacional por encontrarse en el llamado cinturón de fuego del pacífico (ver Figura N°4).



FIGURA Nº 4. PRINCIPALES REGIONES GEOTERMALES DEL MUNDO.



FUENTE: ENAP – SIPETROL.

En determinados lugares el calor acumulado en el interior de la tierra puede alcanzar terrenos permeables de la corteza terrestre que albergan gran contenido hídrico. Ello crea ambientes muy favorables para producir transferencias calóricas hacia la masa de agua, dando origen a reservorios naturales o yacimientos geotérmicos de vapor o agua caliente”⁹.

Para el año 2004, se estimaba que la capacidad geotérmica mundial instalada ascendía a aproximadamente 9.000 MW distribuidos en 24 países, produciendo para ese año 57.000 GWh (BONA, 2007).

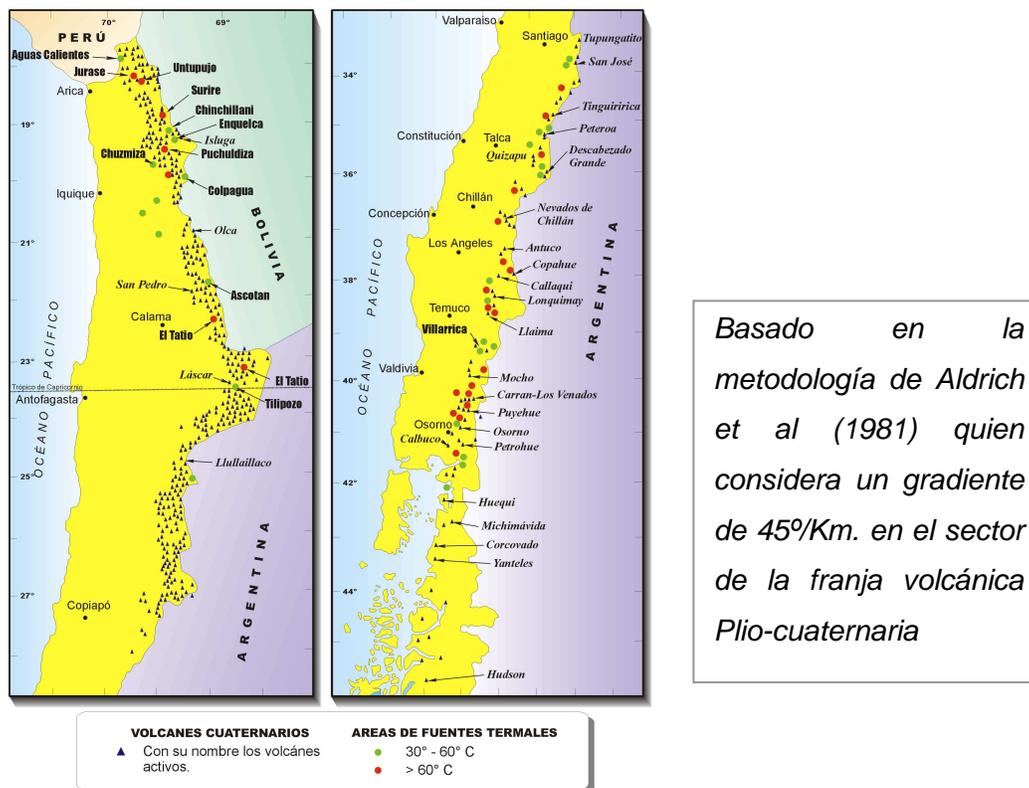
En Chile el territorio, estrechamente vinculado tanto a una activa zona tectónica en todo su borde litoral como a la actividad volcánica en la zona andina, constituye un ambiente particularmente favorable para el desarrollo y presencia de

⁹ Citado en “Aprovechando el calor de la Tierra”, artículo de la División Minera de EDITEC.



atractivos recursos geotérmicos, algunos estudios optimistas como los del Profesor Alfredo Lahsen, de la escuela de Geología de la Universidad de Chile, los cuantifican en cerca de 16.000. MW (ver Figura N°5), otros menos optimistas como los estudios de la Comisión Nacional de Energía (CNE) los cuantifican entre 1235 a 3350 MW (CNE, 2008).

FIGURA N° 5. ESTIMACIÓN POTENCIAL GEOTÉRMICO EN CHILE (LAHSEN, 1981)



Basado en la metodología de Aldrich et al (1981) quien considera un gradiente de 45°/Km. en el sector de la franja volcánica Plio-cuaternaria

FUENTE: ENG.

Sin embargo Hauser explica que una serie de factores, como la carencia por muchos años de una efectiva legislación, unido a consideraciones propias de la complejidad y riesgo de las actividades de exploración, la disponibilidad de fuentes alternativas de energía y el costo final del recurso, frenaron las inversiones en este campo.



Pero en los últimos años los importantes avances tecnológicos para el aprovechamiento de la energía geotérmica a nivel mundial tienden a revertir esta situación. Así, el Estado chileno se ha encargado de generar y aprobar las necesarias bases legales, técnicas y administrativas (leyes, decretos y reglamentos) destinadas a otorgar respaldo a las diversas modalidades involucradas en el derecho de propiedad, concesiones de exploración y explotación. Un importante hito en el desarrollo de este tipo de energía en Chile lo constituye la publicación de la Ley N° 19.657 de 2000 sobre concesiones de energía geotérmica que establece un marco apropiado para regular e incentivar la participación privada en la exploración y explotación de la energía geotérmica. Se define a la concesión geotérmica como un derecho real inmueble, distinto e independiente del dominio del predio superficial, transferible, transmisible y susceptible de todo contrato. No se pueden superponer concesiones de energía geotérmica. Además la concesión puede ser de exploración o explotación y se otorga por decreto del Ministerio de Minería. Dicha concesión de exploración tiene como límite 100 hectáreas y es bienal prorrogable. Y en explotación el límite es de 20 hectáreas, pero indefinida con un pago de patente anual de 1 a 10 UTM por Ha.

Paralelamente la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) y Codelco Chile formaron la Empresa Geotérmica del Norte, con una participación del 49% y 51% respectivamente a la que más tarde ingresaría el consorcio ENEL adquiriendo el 50% de la propiedad, dejando a ENAP con un 45% y CODELCO con sólo un 5%. La primera alianza buscaba aprovechar las experiencias que ambas compañías tienen en sus respectivos campos, producto de su labor permanente de exploración y explotación de hidrocarburos a lo largo del país gracias a lo cual ENAP tiene un conocimiento general de las áreas o localidades donde existen fuentes potenciales de energía geotérmica. Además, la tecnología aplicada en el caso de los hidrocarburos es similar a la requerida en la exploración e ingeniería de yacimiento de vapor y agua caliente y en el aprovechamiento industrial de la energía geotérmica. A su vez, Codelco tiene una vasta experiencia en la exploración y explotación minera, actividades que también son complementarias en el desarrollo de la geotermia y tiene corporativamente interés en continuar diversificando las

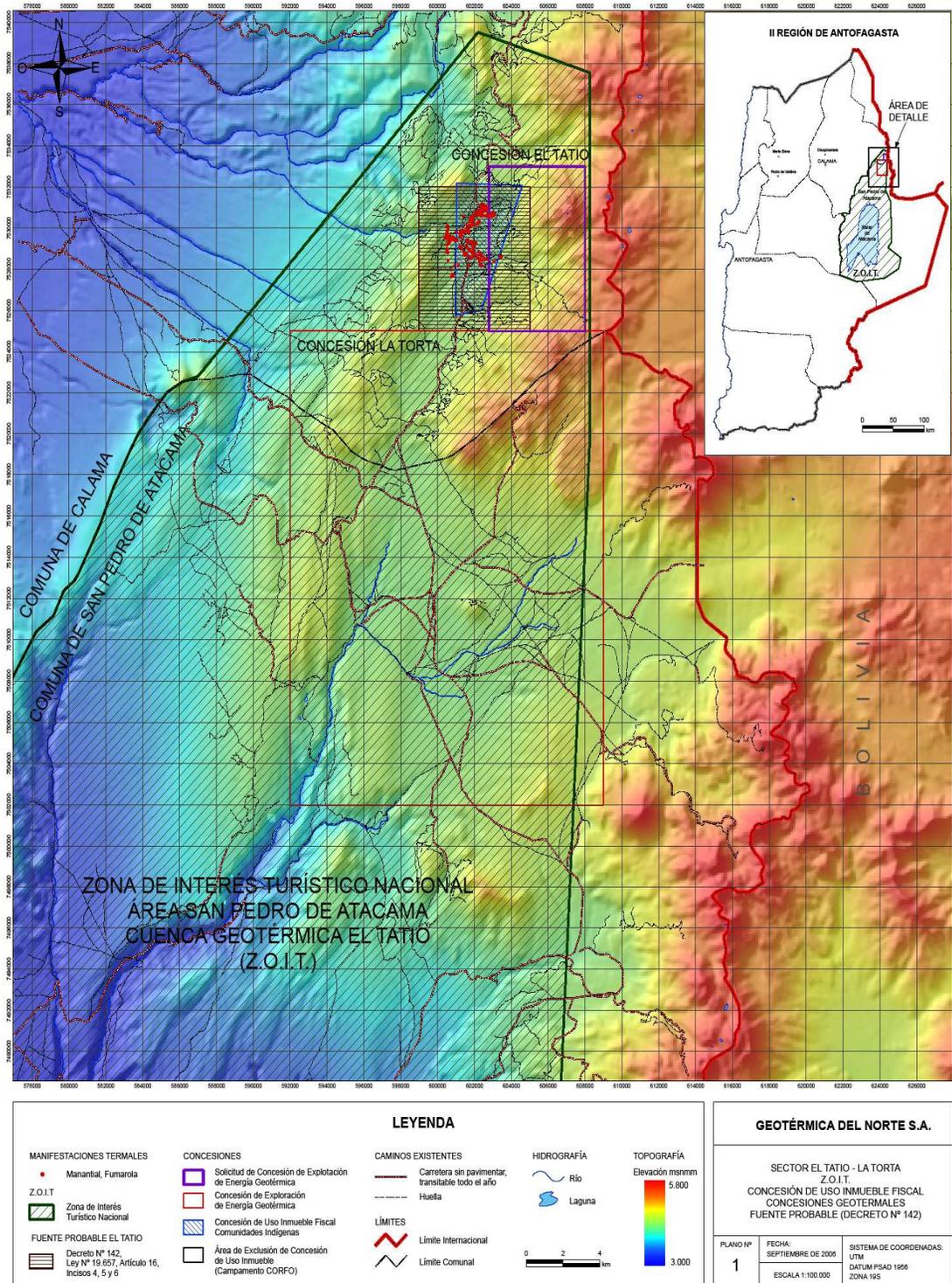


fuentes energéticas y de vapor para sus centros productivos, lo cual es susceptible de obtener a partir del aprovechamiento de los yacimientos geotermales.

Así, la Sociedad Geotérmica del Norte presentó en enero de 2005 ante el Ministerio de Minería la solicitud de concesión de explotación “El Tatio”, solicitud que fue otorgada en Noviembre de dicho año y que comprende a una porción del territorio de 4160 Has en la comuna de Calama y en las inmediaciones del sector de los Géiser del Tatio, como se ilustra en la página siguiente (ver Figura N°6).



FIGURA Nº 6. CONCESIÓN DE EXPLOTACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA EL TATIO.





5. LÍNEAS DE ALTA TENSIÓN

Respecto más directamente al objeto de estudio, el trazado de líneas de alta tensión entre la Planta Geotermoeléctrica en el sector de El Tatio y el SING, dicha transmisión se efectúa a través de un conjunto de líneas, subestaciones y equipos destinados exclusivamente al transporte de electricidad desde los puntos de su generación hasta los centros de distribución y consumo. En nuestro país se considera como línea de **transmisión** a toda aquella con un voltaje o tensión superior a los 23.000 voltios y las menores a esa cantidad son consideradas como de **distribución**, según los parámetros que al efecto establece la Ley¹⁰. Al respecto la Comisión Nacional de Energía (CNE) establece que *“La transmisión es de libre acceso para los generadores, es decir, estos pueden imponer servidumbre de paso sobre la capacidad disponible de transmisión mediante el pago de peajes”*.

“El transporte de electricidad por sistemas de transmisión troncal y sistemas de subtransmisión es **servicio público eléctrico**, por tanto el transmisor tiene obligación de servicio, siendo responsabilidad de éste el invertir en nuevas líneas o en ampliaciones de las mismas. En el sistema de transmisión se puede distinguir el sistema troncal (conjunto de líneas y subestaciones que configuran el mercado común) y los sistemas de subtransmisión (que son aquellos que permiten retirar la energía desde el sistema troncal hacia los distintos puntos de consumo locales). La coordinación de la operación de las centrales generadoras y las líneas de transmisión, es efectuada en cada sistema eléctrico por los Centros de Despacho Económico de Carga (CDEC). Estos organismos no poseen personalidad jurídica y están constituidos por las principales empresas generadoras y transmisoras de cada sistema eléctrico”¹¹.

¹⁰ Ley N° 19.940 General de Servicios Eléctricos.

¹¹ Comisión Nacional de Energía de la República de Chile.



6. ANÁLISIS MULTICRITERIO

Establecidos los criterios anteriores como definiciones previas necesarias para el abordaje del presente estudio, importa el conocimiento del método de Análisis empleado para su ulterior desarrollo y que ha permitido, como se verá, establecer con certeza el Trazado más apropiado de acuerdo a los objetivos de este Informe entre las tres alternativas presentadas.

Y precisamente la existencia de esas alternativas nos mueve a la necesidad de adoptar una decisión que discrimine diferentes factores relaciones con el espacio geográfico en que se desarrolla el proyecto, elementos que han de evaluarse en base a más de un criterio, en algunos casos contradictorios. Para ello el Método de Análisis Multicriterio constituye una herramienta matemática elemental para este tipo de estudios a la hora de conjugar dichos criterios divergentes y resolver el dilema central, la elección del mejor Trazado. Las alternativas analizadas por el Análisis Multicriterio pueden ser infinitas, cuando se definen por medio de un conjunto de soluciones factibles de carácter matemáticamente continuo (métodos multicriterio continuos) o finitas, con un número normalmente no muy elevado (métodos multicriterio discretos). O como establece Flament, constituye una forma de tomar una decisión ante la existencia de diversas variables o factores (FLAMENT, 1999).

Los métodos multicriterio más utilizados y conocidos en materias que incluyen el tema ambiental son:

1) Opinión de expertos: Las personas expertas identifican la información más apropiada y elaboran modelos cualitativos/cuantitativos para la toma de decisión. En muchos casos éste método es el único disponible para la toma de decisiones y predicciones futuras por no existir información cuantitativa disponible.

2) Cálculos de balance de masas: Este método se basa en inventario de condiciones existentes para compararlos con los cambios que resultarán de



una acción propuesta. Requieren la descripción del área de estudio para conocer las condiciones iniciales.

3) Matrices: Son un tipo ampliamente utilizado en los procesos de evaluación de impacto ambiental, corresponden a un arreglo bidireccional de datos. Dentro de este grupo se encuentran la Matriz de Leopold y la Matriz de Klee, entre otras.

a) Matriz de Leopold: Compuesta en el eje horizontal por las acciones derivadas de las actividades, los procesos o los proyectos que ocasionan algún tipo de impacto ambiental y/o ecológico y en el eje vertical por las condiciones, los procesos, los factores naturales, sociales, culturales y económicos afectados por las acciones indicadas. Estos ejes se relacionan a través de la magnitud y la importancia que tiene la acción bajo los factores, procesos o condiciones tomados en cuenta. El resultado final es un número que indica el impacto global generado por la actividad el que puede ser negativo o positivo.

b) Matriz de Klee: Compuesta en ambos ejes, vertical y horizontal, por los criterios que se quiere tomar en cuenta para la evaluación. La forma de relacionar ambos ejes es a través de una escala de importancia que va de 0 a 1, según una mayor o menor importancia de un criterio u otro. El resultado final de esta matriz es un número que permite asignar importancias relativas al análisis comparativo de los diferentes criterios. Ambas matrices se complementan con la ayuda de expertos, ya que la información entregada por ellos es la que las completa.

4) Diagramas de flujo: son representaciones bidimensionales que esquematizan las relaciones de causa efecto y/o de dependencia entre criterios, facilitando el reconocimientos de impactos directos o indirectos.



5) Lista de Chequeos: Este tipo de listas contiene una serie de puntos, asuntos o cuestiones que el usuario contestará como parte del estudio de los criterios. Son útiles, más que para evaluar criterios, para identificarlos.

6) Métodos cuantitativos (matemáticos): Son un grupo muy extenso, pueden variar desde versiones simplificadas a muy complicadas simulaciones tridimensionales que requieren gran cantidad de datos. Un ejemplo de ellos son los modelos de dispersión.



II

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

*No basta decir solamente la verdad,
mas conviene mostrar la causa de la falsedad.
Aristóteles*

1. PASOS METODOLÓGICOS

1.1 Planteamiento metodológico Objetivo específico n°1:

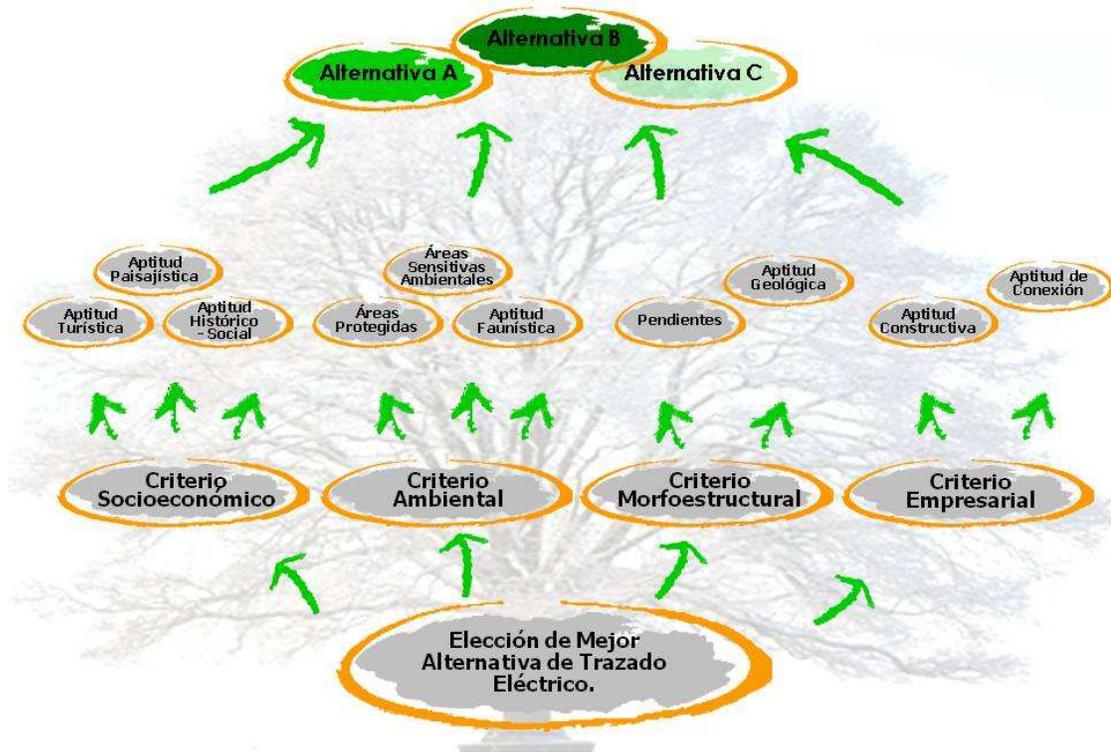
Para lograr establecer variables relevantes de discriminación espacial, desde el punto de vista estructural, ambiental y socio-económico que permitan ir en búsqueda del más óptimo trazado de línea de Alta Tensión entre el sector del Tatio y el SING, en un comienzo, se determinó que la problemática se iba desglosar desde la concepción de criterios o variables guías¹², las que luego contendrían variables o subcriterios, los cuales, tras ser discutidos al interior de un equipo de trabajo iban a ser a ser contrastadas con las tres alternativas de trazados, de esta forma se lograría que quedasen representados los tres grandes ámbitos de este estudio (ambiental, social y empresarial) y diferenciados según la ponderación que más se consensuara.

Para enfrentar este análisis multicriterio se utiliza un esquema similar a la forma que poseen los árboles, es decir, se comienza por un *Tronco* que representa la formulación principal del problema o razón de estudio, para continuar con las *ramas gruesas* o principales que simbolizan los criterios principales de la investigación, de los que a su vez se desprenden ramas más delgadas o subcriterios a tomar en consideración, para llegar finalmente a la copa de este árbol que representa a las tres alternativas de trazado, con una diferenciación en orden de preponderancia (Figura N° 7)

¹² Ver Anexo N°4



FIGURA Nº 7. ÁRBOL DE DECISIONES MULTICRITERIOS.



FUENTE: ELABORACIÓN DEL AUTOR.

1.2 Planteamiento metodológico Objetivo específico nº2:

Para lograr dilucidar cuál, entre las tres alternativas de trazado, es aquella que presenta los mejores índices para calificar como un trazado ambientalmente responsable con el medio natural y social, se utilizó un análisis multicriterio, específicamente el Método Analítico Jerárquico (*Analytical Hyerarchy Process, AHP*)¹³, desarrollado por Thomas Saaty en 1996¹⁴ y que consiste en discriminar, mediante ponderaciones de los criterios o variables seleccionadas, una alternativa dentro de un abanico amplio de posibilidades, en este caso las tres opciones entregadas por ENG.

¹³ Ver Anexo Nº 1.

¹⁴ Ver Anexo Nº 2.



De esta manera la elección de aquel trazado que reúna en conjunto las mejores condiciones para ser considerado ambientalmente sustentable se realizó considerando las variables morfoestructurales, ambientales, socio-económicas y empresariales del área de estudio, analizadas y discriminadas mediante el análisis multicriterio señalado, las tres alternativas que pasaron a cruzar esta información fueron:

- 1) Alternativa “A”: Un trazado de 116 kilómetros entre la futura Subestación Eléctrica Quebrada del Zoquete y la Subestación eléctrica Chuquicamata, en la comuna de Calama, región de Antofagasta.;
- 2) Alternativa “B”: Un trazado de 100 kilómetros entre la futura Subestación Eléctrica Quebrada del Zoquete y la Subestación eléctrica Chuquicamata, en la comuna de Calama, región de Antofagasta;
- 3) Alternativa “C”: Un trazado de 120 kilómetros entre la futura Subestación Eléctrica Quebrada del Zoquete y la Subestación eléctrica Calama, en la comuna de Calama, región de Antofagasta.

Este método permitió establecer los pesos de preponderancia para las distintas alternativas en función de las prioridades que se establecieron para cada uno de ellos. Mientras que **para la calificación de los valores otorgados a los criterios** se tomaron en consideración algunas de las observaciones hechas por los servicios ambientales involucrados en el Sistema de Impacto Ambiental (SEIA) dependiente de la Corporación Nacional de Medioambiente (CONAMA) y que efectúa consultas o reparos frente a un proyecto que entra en dicho sistema, en cuyo proceso participa el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y las municipalidades involucradas o en cuyo territorio pretende insertarse el proyecto sometido a evaluación¹⁵. Finalmente la metodología multicriterio utilizada para la discriminación y ponderación de variables fue la del Análisis Analítico Jerárquico (AHP), analizando cada subcriterio escogido y

¹⁵ Ver Anexo Nº 3.



comparando las tres alternativas ya señaladas (A, B y C) de la forma que se indica y según la Tabla de Comparación de Saaty (ver Tabla N°1).

TABLA N° 1
ESCALA DE SAATY¹⁶

ESCALA NUMERICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACION
1	Ambos elementos son de igual importancia.	Ambos elementos contribuyen con la propiedad en igual forma.
3	Moderada importancia de un elemento sobre otro	La experiencia y el juicio favorece a un elemento sobre el otro
5	Fuerte importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es fuertemente favorecido.
7	Muy fuerte importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es muy fuertemente dominante.
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es favorecido, por lo menos con un orden de magnitud de diferencia.
2-4-6-8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.	Usados como valores de consenso entre dos juicios.
Incrementos de 0.1	Valores intermedios en la graduación más fina de 0.1	Usados para graduaciones más finas de los juicios.

FUENTE: THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS.

Siguiendo este modelo de análisis multicriterio y basado en la Tabla de Saaty, veamos un ejemplo de la forma en que se califican las aptitudes al Trazado (ver Tabla N°2).

¹⁶ La Escala de Saaty consiste en una escala mediante la cual se contrastan distintas situaciones.



TABLA Nº 2
EJEMPLO DE VALORACIÓN DE APTITUD¹⁷

CONDICIÓN	PORCENTAJE	VALORACIÓN
Caminos con pendiente suave	Mayor al 65% del trazado	Alta aptitud al trazado
Caminos con pendientes de moderadas a alta	Mayor al 65% del trazado	Media aptitud al trazado
Caminos con altas pendientes	Mayor al 65% del trazado	Baja aptitud al trazado

FUENTE: ELABORACIÓN DEL AUTOR.

Una vez que se han identificado los diferentes niveles de aptitud de los distintos subcriterios para cada trazado propuesto, se procedió a la comparación con el esquema propuesto por Saaty en la Tabla Nº 1 que arroja **un resultado local** en porcentajes finales de aptitud para cada alternativa respecto al subcriterio analizado **y un resultado global** respecto al problema en su globalidad (ver Tabla Nº3).

TABLA Nº 3
**EJEMPLO DE COMPARACIÓN ENTRE OPCIONES
DE TRAZADOS¹⁸**

TRAZADO	RESPECTO A...	VALORACIÓN	ESCALA DE SAATY
Trazado A (que posee una alta aptitud al trazado)	Trazado B (que posee una media aptitud al trazado)	Moderadamente importante	3
Trazado A (que posee una alta aptitud al trazado)	Trazado C (que posee una baja aptitud al trazado)	Fuertemente importante	5

FUENTE: ELABORACIÓN DEL AUTOR.

¹⁷ Tabla del autor en base a entrevista con el Profesor Francisco Ferrando Acuña.

¹⁸ Tabla del autor en base a entrevista con el Profesor Francisco Ferrando Acuña.



1.3 Planteamiento metodológico Objetivo nº3:

Para el objetivo de desarrollar un modelo esquemático que sirva de guía a la resolución de problemáticas de proyectos de Ingeniería de similar complejidad y/o intervención espacial, primero se tendría que validar que la metodología utilizada para encontrar criterios y luego para ponderarlos es válida y luego de ver sus falencias si acaso se podría replicar este mismo modelo en otros proyectos similares, o sea, debería probarse primero para luego ver la factibilidad de replicar este mismo ejercicio académico, así que, dejo para los cometarios finales si se cumplió con este objetivo.

1.4 Materiales y herramientas.

Una vez que quedaron identificados los criterios guías y los subcriterios, se procedió a analizar cada uno de ellos en forma particular, así que, cada uno de ellos tiene sus propias variables o indicadores que nos permiten determinar la “sustentabilidad” del estudio en su conjunto.

No obstante a ser criterios y subcriterios distintos, la metodología de recolección de línea de base cartográfica y de consulta a expertos, se replicó en algunos casos, los principales materiales de apoyo metodológicos y herramientas utilizadas son los siguientes ítems.

- .- Cartografía Base IGM, en formato raster y shape, a escala 1:50.000 y 1:250.000 para el área de estudio, utilizando principalmente las hojas B43, B53, B54, B55, B65, B66, B76 a escala 1:50.000 y la Carta 10 Calama 1:250.000.
- .- Carta Geológica 1:250.000 Hoja Calama, SERNAGEOMIN.
- .- Estudio Capítulo IV, Línea de base ambiental “Proyecto perforación geotérmica profunda El Tatio- Fase 1”, Elaborado por SGA para GDN.
- .- Revisión bibliográfica de estudios de Geoterminia, ERNC, estudios de impactos ambientales, líneas eléctricas y otros.
- .- Entrevistas con expertos en los temas de Avifauna, Análisis Multicriterios, Estudios Ambientales, Proyectos de Ingeniería, Negocio Geotérmico y Geología.



.- Herramientas de Sistemas de Información Geográfica, como los programas ArcGis 9,2, módulos 3D Analyst, Spatial Analyst, Programas ENVI 4,2, IDRISI ANDES, ERDAS.

2. ANÁLISIS DE IMÁGENES SATELITALES

Para este ítem se analizaron imágenes satelitales *Landsat TM+* de la primavera de 2000 propiedad de la Universidad de Maryland (Estados Unidos), procesándolas y reclasificándolas para una mejor interpretación, logrando identificar los índices NDVI (*Normalized Differentiation Vegetation Index*) y el índice *Tasseled Cap*. Para el caso del primero identificar la valoración de calidad de la vegetación de toda el área en estudio del Proyecto en cuestión y para el segundo el valor de humedad presente en el área¹⁹, ambos índices sirvieron para clasificar el subcriterio ambiental.

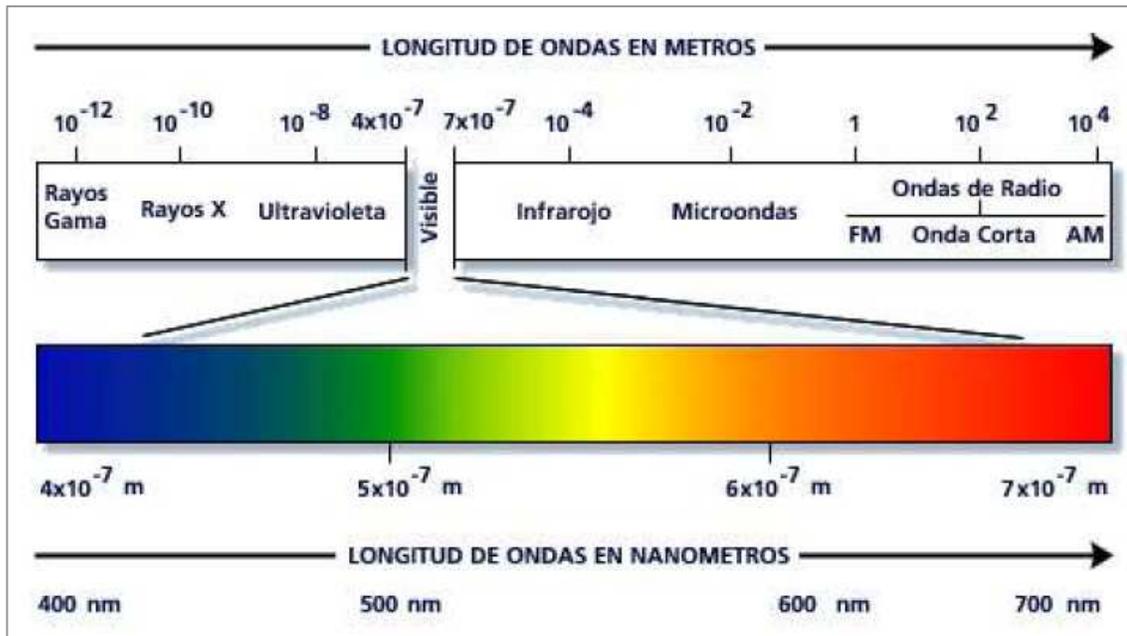
El índice NDVI es un algoritmo ampliamente validado por diversos autores para establecer rangos de calidad de la vegetación que son observables gracias a la teledetección y al análisis de imágenes satelitales. Por su parte la teledetección, tal como lo describe su nombre, es la observación a distancia de los objetos, específicamente el comportamiento de la radiación electromagnética como respuesta a la radiación solar. Esto es posible gracias a que cada cuerpo capaz de reflejar la energía proveniente del sol lo hace emitiendo radiación electromagnética siguiendo un patrón de longitudes de ondas electromagnéticas, longitudes que van desde las frecuencias cortas y altas longitudes de ondas muy largas y de baja frecuencia (CHUVIECO, 2002). Este comportamiento de longitudes de onda y su sucesión creciente de longitudes de onda, se denomina “espectro electromagnético”.

En la figura siguiente observamos el espectro electromagnético en donde una serie de bandas en donde la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar (Figura N° 8)

¹⁹ Para un mayor conocimiento de la metodología utilizada en el procesamiento de las imágenes satelitales, ver Anexo N° 11.



FIGURA Nº 8. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO



FUENTE: TELEDETECCIÓN AMBIENTAL.

Los intervalos de longitud de onda más utilizados en teledetección son los correspondientes a las regiones del espectro que van desde el visible hasta las microondas, atravesando los siguientes tipos de radiación:

A) Espectro visible (de 0.4 a 0.7 μm). Se denomina así por tratarse de la única radiación electromagnética que pueden percibir nuestros ojos aunque no es más que una minúscula parte del espectro electromagnético. Coincidiendo con las longitudes de onda, donde es máxima la radiación solar, suelen distinguirse tres bandas elementales, que se denominan: **azul** (0.4 a 0.5 μm), **verde** (0.5 a 0.6 μm), y **rojo** (0.6 a 0.7 μm) en razón de los colores elementales asociados a esas longitudes de onda.

B) Infrarrojo próximo o cercano (0.7 a 1.3 μm). A veces se denomina también infrarrojo reflejado y fotográfico YA que puede ser captado mediante emulsiones fotográficas especiales. Resulta de especial importancia por su capacidad para discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.



C) Infrarrojo medio (1.3 a 8 μm). Aquí se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre.

D) Infrarrojo lejano o térmico (8 a 14 μm). En esta banda se manifiesta con mayor claridad la emitancia¹ espectral de la superficie terrestre que nos permite detectar el calor procedente de las distintas cubiertas. Una de las características es que la radiancia espectral que recibe el sensor no es el resultado de la reflexión terrestre, sino de la propia emitancia de ésta en función de la temperatura que, a su vez, está relacionada con la capacidad de absorber la radiación solar que le incide.

E) Microondas (a partir de mm). Es de gran interés por ser un tipo de energía bastante transparente a la cubierta nubosa. Esta cualidad hace que sea muy empleada para cartografiar áreas ecuatoriales, frecuentemente cubiertas de nubes. Permite detectar recursos minerales e hídricos. La exploración de esta región se realiza por medio de radiómetros de microondas y de los sistemas radar.

Cualquier objeto emite y/o refleja una radiación electromagnética como consecuencia de su interacción con las fuentes de energía propia o externa. Así cada objeto o sistema tendrá una respuesta espectral propia en términos de energía reflejada y energía emitida, lo que se conoce como su **signatura espectral**. La teledetección tiene por objeto la identificación de los materiales y los fenómenos que tienen lugar en la superficie terrestre a través de esta signatura espectral. En definitiva se puede decir que la teledetección *estudia las variaciones espectrales, espaciales y temporales de la superficie terrestre*.

De esta forma se puede analizar como los cuerpos vegetales responden a la emisión de radiación electromagnética, específicamente la clorofila y estudiar además el índice diferencial de vegetación normalizado o NDVI, que es un algoritmo que sopesa la radiación reflejada, respecto de la entrante y dado que es una relación, sus niveles se encuentran entre los rangos -1 para los niveles bajos de concentración de biomasa vegetal y cercanos a 1 para aquellos valores de alta concentración de aporte de biomasa vegetal.



$$NDVI = \frac{IRC - IR}{IRC + IR}$$

IRC: Banda Infrarroja Cercana

IR: Banda Infrarroja

Una vez obtenidos los valores del NDVI para las escenas que comprenden el área de estudio, se procedió a reclasificarlas mediante la metodología propuesta por YOKENS en 2001), quien identifica 7 categorías en función de una diferenciación de actividad de biomasa vegetal, siendo los valores cercanos a -1 los menores y los cercanos a 1 los más altos. Esta clasificación se puede observar en la siguiente tabla (ver tabla N°4)

TABLA N° 4
CLASIFICACIÓN NDVI, YOKENS 2001

CATEGORÍA	CLASE	CARACTERÍSTICAS
1. Vegetación muy baja	< (-0,75)	Suelo Desnudo
2. Vegetación Baja	(-0,75) – (-0,45)	Vegetación herbácea, suelo desnudo
3. Vegetación media baja	(-0,45) – (-0,15)	Vegetación arbustiva, suelo desnudo
4. Vegetación media	(-0,15) – 0,15	Vegetación arbórea, arbustiva, suelo desnudo
5. Vegetación media alta	0,15 – 0,45	Vegetación arbórea, arbustiva
6. Vegetación alta	0,45 – 0,75	Vegetación arbórea
7. Vegetación muy alta	> 0,75	Vegetación arbórea densa



Otro índice de utilidad de potencial interés para la gestión ambiental y la variable biodiversidad, corresponde al índice **Tasseled cap**. El objetivo de esta transformación es obtener nuevas bandas por combinación lineal de las originales para realzar determinadas características (CHUVIECO, 2002). Supone pasar de las 6 bandas de *Landsat* (todas excepto la del infrarrojo térmico) a 3 bandas con orientación física que representan el brillo de la imagen (albedo), el verdor y la humedad. Esta combinación lineal implica una rotación de los ejes definidos por las bandas de forma que los ejes resultantes se corresponden con la línea de suelo (humedad), la perpendicular a esta o sea la línea de vegetación (verdor) y un tercer eje relacionado con el albedo de la imagen (brillo).

El **brillo** refleja los cambios en la reflectividad total de la escena (se trata de una suma ponderada de la reflectividad de todas las bandas excepto el térmico) y un mayor nivel indica áreas de escasa vegetación y alta reflectancia solar. Las zonas de menor albedo están relacionadas a espejos de agua.

El **verdor** muestra el contraste entre las bandas del visible y el infrarrojo próximo, el resultado es similar a un índice de vegetación, permite llevar a cabo análisis de la densidad y estado de salud de la vegetación.

La **humedad** se relaciona con el contenido de agua de la vegetación y el suelo. Se obtiene contrastando la reflectividad en las bandas 5 y 7 en las que el agua absorbe la radiación (con coeficientes de ponderación negativos) respecto al resto de las bandas menos afectadas por la humedad (coeficiente bajo y positivo). También se ha encontrado una relación entre este componente y la madurez de la vegetación (VIDELA, 2008).

Para el presente estudio se utilizará solamente el índice de humedad y se utilizará una discriminación del quintil con mayor presencia de humedad, solamente para identificar al 20% más húmedo de la imagen satelital.



III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

"El que tiene imaginación, con qué facilidad saca de la nada un mundo"

Gustavo Adolfo Bécquer

En primer lugar corresponde señalar que para el tipo de análisis que se efectuó a fin de determinar la ponderación utilizada en el análisis multicriterio para la valorización de los criterios principales y secundarios, hay que tener en consideración que si bien el modelo de análisis AHP (*Analytical Hyerarchy Process*, Análisis Analítico Jerárquico) considera la selección de grandes criterios guías que contienen subcriterios o “ramificaciones” en este árbol de decisiones antes citado²⁰, la elección y ponderación de pesos entre cada uno de los criterios guías y subcriterios seleccionados es por sí solo un análisis aparte.

Desde los años 1970 en adelante se puede encontrar metodologías de análisis de impacto ambiental ampliamente desarrolladas y consensuadas (GÓMEZ Y BURQUEZ) que para el caso chileno han sido estandarizadas sistemáticamente por documentos de la CONAMA, aunque para efectos del presente estudio se tomará la metodología planteada por Gómez y Burquez respecto a dichos criterios. En un principio esta metodología parte de la premisa que el medio de estudio principal es aquel considerado en la etapa de vida de un proyecto determinado, dejando de lado las etapas de construcción o de abandono. Esto porque la vida útil de un proyecto tiene una valorización importante a la afectación temporal de un impacto espacial dado y por lo tanto se excluyen las etapas de construcción o de abandono en cuanto representan etapas de corta expresión temporal.

Por otro lado la valorización se centra en aquellos impactos que sean más preponderantes según su supuesta manifestación negativa o positiva, ya que mientras más relevantes sean al proyecto pueden advertir o aconsejar de mejor manera la orientación de corte sustentable que se pretende dar al trabajo. Mientras

²⁰ Véase Capítulo 1 *Marco Teórico y conceptual – “Planteamiento metodológico”*, Página 37.



que para determinar los criterios guías y subcriterios que orientarán de una manera sustentable el análisis en la definición del trazado eléctrico entre una planta geotermoeléctrica y el SING, se procedió de dos formas: tomar distintos elementos y discutirlos dentro de un equipo de trabajo y además recolectar opiniones al interior de un sistema formal de calificación ambiental.

En la primera fórmula se utilizó principalmente el método de *Brainstorm* dentro del equipo de Medioambiente y Responsabilidad Social de ENAP SIPETROL y otras desarrolladas con el equipo de Medioambiente y *Permiting* de la Empresa Nacional de Geotermia. Luego estos elementos fueron ponderados en una tabla de valorización de impactos para finalmente quedarse con aquellos que se consensaron como los más representativos y relevantes para el análisis.

La segunda fórmula fue investigar un número importante de observaciones hechas por distintos servicios ambientales a distintos proyectos de tendidos eléctricos de alta tensión sometidos al SEIA (Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental), dependiente de la CONAMA, como ente que califica las Declaraciones y los Estudios de Impactos Ambientales. Este análisis, además de tomar las observaciones más reiteradas para este tipo de proyectos, sirvió para comprender la dimensión del impacto para las características propias de nuestro país²¹.

Luego de obtener los posibles criterios que marcarían el esqueleto de esta Memoria se analizaron con los distintos criterios de valorización propuestos por Gómez y Burquez para seleccionar entonces a aquellos que fuesen los criterios guías mencionados y los subcriterios desprendidos de estos, para tal motivo se consideraron los siguientes tópicos:

- ❖ Duración
- ❖ Reversibilidad
- ❖ Probabilidad
- ❖ Plazo
- ❖ Área

²¹ Ver Anexo N° 3.



Para seleccionar aquellos más representativos, cada expresión de una determinada manifestación (sacada del análisis grupal o del estudio de las observaciones del SEIA) se clasificó como positiva o negativa de tal manera que fuese altamente representativa para cada uno de estos cinco criterios de valorización (ver Tabla N°5).

TABLA N° 5
CRITERIOS DE VALORIZACIÓN

CRITERIOS	DURACIÓN	REVERSIBILIDAD	PROBABILIDAD	PLAZO	ÁREA
Expresión del Criterio	<ul style="list-style-type: none">• Permanente• Temporal	<ul style="list-style-type: none">• Irreversible• Reversible	<ul style="list-style-type: none">• Alta• Media• Baja	<ul style="list-style-type: none">• Corto• Mediano• Largo	<ul style="list-style-type: none">• Trasciende área de proyecto• Generalizada en área de proyecto• Inmediata a intervención

FUENTE: GÓMEZ Y BÚRQUEZ.

Al realizar el ejercicio de contrastar las distintas problemáticas o expresiones de manifestaciones, se procedió entonces a enfrentarlas con los cinco criterios de valorización ambiental planteados por Gómez y Burquez y del resultado de este ejercicio se seleccionó a las cuatro grandes problemáticas que definen globalmente, a criterio de este autor, la forma de tratar la problemática de un proyecto de inversión contrastada con la sustentabilidad de este y los demás subcriterios desprendidos de estos cuatro criterios guías: Criterio **Socioeconómico**, Criterio **Ambiental**, Criterio **Morfoestructural** y Criterio **Empresarial**. Es decir, estas cuatro grandes parcelas del trabajo pasaron a conformar los criterios guías o criterios madres de los cuales se desprenden los doce subcriterios o criterios hijos que representan las características más específicas y particulares que se definieron para enfrentar un análisis multicriterio para un trazado de transmisión eléctrica



sustentable con el medioambiente y la sociedad. Entonces el primer resultado obtenido es la **identificación final de los cuatro principales criterios de análisis**, que permite y da validez al estudio posterior de las variables que de allí se desprenden y que representan la forma en que el autor y quienes participaron de la elección de estos grandes criterios valoran el ejercicio de desarrollo empresarial en armonía con el medioambiente, que se corresponde además con la visión de la Empresa Nacional de Geotermia (ENG) que, dentro de sus políticas de compromiso con la Sociedad en la que está inserta, mantiene como uno de sus grandes idearios la conservación del medioambiente con pleno respeto a las características propias del medio social. Entonces son estos cuatro criterios aquellos que dan el carácter de sostenible a la presente memoria, por cuanto conjuga elementos de significancia ambiental, social, empresarial y del territorio. Y si bien el proyecto de línea de Alta Tensión para unir el SING con la futura central geotérmica Quebrada del Zoquete es de inversión privada, el presente estudio tiene la misión de encontrar entre las tres alternativas planteadas aquel trazado que sea de menor impacto al medioambiente, la sociedad y al territorio en concordancia con el compromiso asumido por la Hipótesis principal de esta Memoria, sin dejar de lado su viabilidad económica en la construcción de la misma, siendo claro y consecuente a la hora de conjugar valores, pesos y criterios de selección para encontrar el mejor lugar en el espacio entre las tres alternativas dadas. Es así como finalmente apoyándose en la Escala de Saaty y en el Programa *Expert Choice*, el resultado obtenido en la calificación es el siguiente (ver Tabla N°6):



TABLA Nº 6
CALIFICACIÓN DE CRITERIOS²²

CRITERIO	PESOS DE PREPONDERANCIA GLOBALES
Socioeconómico	28,6 %
Ambiental	28,6 %
Morfoestructural	14,3 %
Empresarial	28,6 %

El resultado de la valoración para cada criterio significa que existen tres grandes que representan el mismo valor de importancia para un proyecto de inversión respetuoso con las personas y el medioambiente, pero sin dejar de ser atractivo a las inversiones privadas. Y existe un cuarto criterio por debajo de los otros, no en consideración de su menor importancia sino por tratarse de una mixtura entre dos elementos que toma tanto variables naturales como la degradación del ambiente natural, pero aplicándolas a factores que afectan la viabilidad económica del proyecto, como la aptitud de construcción del mismo. Finalmente, una vez propuestos los pesos de preponderancia globales para cada uno de los grandes criterios, el paso siguiente fue recurrir a bibliografía especializada de cada subcriterio y en aquellos casos que poseen menos evidencias o estudios de rigor que permitan calificarlos debidamente se procedió a valorarlos mediante un proceso de entrevistas con expertos en distintas áreas atingentes a fin de cuantificarlos y enfrentarlos de mejor manera con los otros subcriterios y proseguir el análisis multicriterio entre todos ellos, en igualdad de condiciones académicas y solidez de fuentes para este estudio. Así se llegó a tener los resultados para cada subcriterio presentado a continuación.

²² Elaboración del Autor.



1

CRITERIO SOCIOECONÓMICO

Establecido con un 28,6% de las preferencias globales, del criterio Socioeconómico, se desprenden cuatro subcriterios de análisis que importan una visión particular respecto a la instalación de una línea de Alta Tensión en la región del Norte Grande, cuyo impacto en la comunidad local es muy diferente al que un proyecto similar puede tener en el centro o sur del territorio nacional, donde dada una menor disposición de espacios existen escasas alternativas de trazados que, mayoritariamente, requieren de un extenso proceso de expropiaciones y negociaciones que permitan finalmente su instalación.

Sin embargo en el Norte Grande chileno el trazado de líneas de esta naturaleza no presenta los mismos escollos respecto a un posible atropello a derechos privados y, en el caso del Proyecto que fundamenta este estudio, al atravesar en su mayor parte el Desierto de Atacama cruza un territorio que pertenece –por Ley- al Estado nacional a través del Ministerio de Bienes Nacionales. Con esos antecedentes, el hecho de ser una línea de Alta Tensión en el Norte Grande con sus particularidades geográficas y sociales nos permite establecer una perspectiva más amplia de cómo enfrentar y desarrollar los proyectos de inversión en toda esa zona del país.

Estos proyectos están mayoritariamente asociados al sector primario de la economía y la extracción de recursos naturales, aunque con una importante presencia de inversiones con fines académicos (Observatorios astronómicos y centros de investigación científica) y de carácter estratégico, como acueductos y gasoductos, pudiendo a la vez considerar una base comparativa respecto al impacto de este tipo de proyectos con esta Memoria, por cuanto su grado de impacto en el medio social y económico de mencionada parte del país, es similar.

Del estudio del impacto socioeconómico, aplicando la escala de Saaty, los conflictos o subcriterios destacados y sus respectivas ponderaciones son (ver Tabla N°7).



TABLA Nº 7
CRITERIOS ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO

CRITERIO	SUBCRITERIO	PONDERACIÓN
SOCIOECONÓMICO	Aptitud Turística	54% preponderancia
	Aptitud Paisajística	16,3% preponderancia
	Aptitud Histórico-Social	29,7% preponderancia

FUENTE: ELABORACIÓN DEL AUTOR.

Al momento de observar la ponderación entre los subcriterios se observa que **Turismo** posee mayor relevancia en la calificación de este criterio global (54%) debido fundamentalmente al grado de importancia económica que asigna el Gobierno de la Región de Antofagasta y los municipios de Calama y de San Pedro de Atacama a la zona donde se instalará la Planta Geotermoeléctrica, y a gran parte del trazado de las alternativas que atraviesan sitios turísticos, además de la clara cercanía a las localidades de San Pedro de Atacama a 95 Km, de los principales centros productores de CODELCO Chile y a los Géiser del Tatio, todos puntos turísticos consolidados a nivel nacional e internacional.

Mientras que el subcriterio **Histórico Social** queda establecido en un segundo lugar con un 29,7% de preponderancia debido a la importancia que posee en Antofagasta la presencia de asentamientos y vestigios prehispánicos, tanto de pueblos originarios como de las expediciones incaicas a Chile, del período colonial –habida cuenta que fue testigo de las primeras incursiones hispanas en nuestras latitudes- y del período republicano (por ejemplo el alto número de tesoros patrios que se presume existen aún en sus tierras desde las campañas militares de la Guerra del Pacífico) para el estudio de la Historia y la Arqueología nacional.



En lo social aún siguen manifestándose actividades económicas elementales, como el pastoreo, de larga data y costumbres en zonas empobrecidas de la región, hecho sumado a las demandas que aún subsisten de comunidades indígenas, reducidas pero de gran trascendencia, que reivindican determinadas extensiones territoriales como propias.

Finalmente y en tercer lugar, con un 16,3% de preponderancia se ha clasificado al Subcriterio Aptitud **Paisajística**, especialmente por las potencialidades de la región estudiada para el desarrollo del Turismo no se encuentra aún dentro de una categoría formal de protección turística.

1.1. SUBCRITERIO APTITUD TURÍSTICA

Para el estudio de este subcriterio y dado su impacto en la ponderación en el Criterio Socioeconómico se analizaron áreas formalmente identificadas como **Zonas con Vocación Turística**, como aquella de la concesión turística de El Tatio (de mayor confluencia de visitantes) y la Zona de Interés Turístico del Alto Loa (ZOIT), que representa gran parte de la Comuna de San Pedro de Atacama y una menor extensión territorial de la Comuna de Calama.

Junto a la protección oficial dada por el Estado de Chile a estas dos áreas y el fundamento de dicho estatus (a través por ejemplo del Consejo de Monumentos Nacionales en el caso de San Pedro de Atacama y de la declaratoria de Área de Interés Turístico para El Tatio), se sumaron análisis para sitios turísticos cercanos al área del proyecto que nos ocupa, caminos que sirven como rutas de acceso y la relación entre sectores de prestaciones de servicios y los sitios turísticos mismos.

Una vez compiladas y caracterizadas las distintas áreas de análisis las tres alternativas de trazado eléctrico se ponderaron mediante el método de Saaty, estos resultados se considerando tomando en cuenta la opinión de expertos en temas turísticos, se concordaron con las orientaciones planteadas en la Estrategia de Desarrollo Regional de la Región de Antofagasta y la Comisión de Desarrollo Turístico de la Municipalidad de San Pedro de Atacama.



- **GÉISER DEL TATIO**

El sector conocido como Los Géiser del Tatio, ubicado en la jurisdicción de la comuna de Calama, a 4200 msnm y la más grande concentración de géiser del hemisferio sur con un 8% del total mundial, es uno de los mayores atractivos turísticos del País y de Antofagasta en particular y, según datos del Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR) constituye uno de los lugares mayormente visitados por turistas nacionales y extranjeros con cerca de 60.000 personas al año (SERNATUR, 2008), situándolo en el tercer destino turístico nacional, después de las Torres del Paine (Magallanes) e Isla de Pascua (Valparaíso).

El campo de Géiser del Tatio está compuesto por más de 360 manifestaciones geotérmicas (TRUJILLO, 1969) principalmente fumarolas y fosas calientes que sirven como puntos de atracción para los turistas (Figura N° 9) y que han sido estudiadas científicamente por varios autores nacionales y extranjeros, destacando Cusicanqui et al (1976), Trujillo (1969), Lahsen (1976), Glennon & Pfaff (2003), quienes han investigado principalmente los componentes químicos, las temperaturas y las expresiones de las manifestaciones termales. Por otro lado, este campo Geotérmico también ha sido estudiado para el desarrollo industrial de la energía geotermoeléctrica, destacando estudios de Naciones Unidas, CORFO-ENAP desde 1968 hasta 1974, los que concluyeron la existencia de un reservorio en las cercanías, el cual está compuesto por un fluido benigno (pH neutro) con una temperatura mayor de 250 °C (TRUJILLO, 1969).

Existen estudios más recientes como los de CFG, un consorcio franco-chileno y los de ENG, Empresa Nacional de Geotermia, estos últimos sin interrupción desde el año 2005 hasta la fecha.



FIGURA Nº 9. SECTOR TURÍSTICO GÉISER DEL TATIO.



Fotografía Pablo Pérez

La concesión turística de los Géiser del Tatio cubre un área cercana a los 42 Km² y es administrado en forma pionera por comunidades indígenas del lugar -las atacameñas de Caspana y Toconce- que recibieron en 2005 del Consejo Regional del Gobierno de Antofagasta la concesión gratuita por cinco años de 1.533 hectáreas aledañas según indicaciones al respecto del Ministerio de Bienes Nacionales. Según este mandato tienen la potestad para cobrar un valor por entrada, administrar y proporcionar el cuidado y la infraestructura para la correcta y segura visita de los turistas a este sector. Dicha concesión nace como respuesta a la necesidad de otorgar mayor seguridad a las más de 60.000 visitas anuales (SERNATUR, 2002) a los Géiser del Tatio en conjunto con una política social inclusiva con comunidades indígenas locales en la administración de sus recursos naturales. Para lograrlo se han creado circuitos turísticos y miradores que encaucen el trayecto hacia los sectores donde se ubican los Géiser que,



aunque no dan plena seguridad y son precarios e insuficientes, al menos constituyen un primer paso en la preocupación por la zona más allá de las declaratorias oficiales meramente nominales. En esa misma línea y con los mismos fundamentos es que el presente estudio parte de la premisa que la instalación de un tendido eléctrico de Alta Tensión en la zona inmediata, aledaña al sector de observación turística, representa necesariamente un fuerte impacto negativo al sector del Tatio.

- **ZOIT – SAN PEDRO DE ATACAMA**

Aparte del Tatio existe una Zona de Interés Turístico (ZOIT) en la misma Región que abarca desde el Salar de San Pedro de Atacama hasta la frontera con Bolivia (figura N° 10), cuya declaratoria como tal el año 2002 exige que **cualquier evento o proyecto** que se desarrolle al interior de ella deba someterse al Sistema de Evaluación Ambiental, según el Decreto Ley N° 1.224 de 1975 que crea el SERNATUR, organismo que debe proceder a la declaración y al análisis de los proyectos y el Decreto Supremo N° 515 de 1977 que fija el Reglamento del Servicio Nacional de Turismo y el procedimiento antes, durante y después de establecerse la ZOIT.



FIGURA Nº 10. PAISAJE TÍPICO ZOIT ALTO LOA.



Fotografía Pablo Pérez

- **ANÁLISIS DE RUTAS Y OTROS CENTROS TURÍSTICOS**

Además de analizar los lugares delimitados legalmente como Zonas Turísticas se asociaron aquellos puntos que actualmente se identifican como sitios consolidados turísticamente, otros que presentan -por el momento- sólo potencialidades para llegar a serlo (como Las Vegas de Turi o las Termas de Purificar) y aquellos que son conocidos sólo localmente como puntos turísticos o circuitos, pero que no están o no se pueden considerar consolidados, como la Quebrada de Ayquina, el Volcán Toconce y las Terrazas de Caspana.

Para identificarlos se atendió a su comportamiento respecto al movimiento de turistas visitantes por año e infraestructura dispuesta para recibirlos, de



acuerdo a una categorización hecha por Araya en 2004²³, tomando sólo dos puntos de los seis considerados por esta investigadora.

Para identificar lugares de preponderancia turística, se tomaron aquellos lugares identificados como circuitos ecoturísticos en la definición hecha por Valdebenito en 2002²⁴. Con todo ello, se discriminó mediante anillos concéntricos el grado de interferencia que un proyecto como las torres de Alta Tensión puede tener en un punto o circuito turístico, de acuerdo a lo discutido y concordado con informantes claves, expertos en Evaluación Ambiental de Proyectos de Ingeniería, llegándose a la formulación de cuatro sectores de influencia a un lugar turístico:

A) Zona inmediata de interferencia: aledaña en un radio de mil metros al punto turístico, es decir, inmediata al sector.

B) Zona cercana de interferencia: de mil a dos mil metros del punto turístico.

C) Zona distante de interferencia: entre los dos mil y tres mil metros de distancia del sector.

D) Zona lejana de interferencia: entre tres y cinco mil metros del punto turístico en cuestión.

Esta diferenciación concéntrica, además, sirve de base para cuantificar de mejor manera las diferencias entre un sector turístico de preponderancia internacional como los Géiser del Tatio y otros de preponderancia nacional o local como Las Vegas de Puritama, estableciendo que la menor aptitud para instalar un trazado de línea de Alta Tensión como la involucrada en el proyecto de estudio está dada en los sitios de preponderancia mundial y, por el contrario, una zona con un nulo desarrollo turístico o muy bajo o instalada

²³ Ver Anexo N° 8.

²⁴ Ver Anexo N° 8.



en las zonas distante y lejana de interferencia, sería aquella que reuniría las mejores condiciones.

Finalmente, el área de la concesión turística El Tatio fue clasificada en su totalidad como un área de **alto** desarrollo turístico y el área de la ZOIT, también en su totalidad, como una de desarrollo turístico **medio**. El criterio para identificar la aptitud al trazado respecto al desarrollo turístico fue el expresado en la siguiente Tabla (ver Tabla N°8).

TABLA N° 8
APTITUD AL TRAZADO UTILIZANDO DESARROLLO TURÍSTICO²⁵

DESARROLLO TURÍSTICO	APTITUD AL TRAZADO
Alto desarrollo turístico	Baja Aptitud
Medio desarrollo turístico	Media Aptitud
Bajo desarrollo turístico o potencial	Alta Aptitud

Los resultados del análisis de todo el trazado para cada una de las opciones, fueron los siguientes:

- **Trazado A:**
Se caracteriza por tener 4 Km. (3,4% de su trazado) por zonas de Baja Aptitud.
- **Trazado B:**

²⁵ Elaboración del Autor.



Se caracteriza por tener 8 Km. (8% de su trazado) por zonas de Baja Aptitud.

- **Trazado C:**

Se caracteriza por tener 20 Km. (16,7% de su trazado) por zonas de Baja Aptitud.

De esta forma la ponderación resultante, utilizando la escala de Saaty para el Subcriterio Aptitud turística, es:

- **Trazado A:**

Posee un 54% de las preferencias locales, considerando sólo la aptitud respecto al desarrollo turístico.

- **Trazado B:**

Posee un 29,7% de las preferencias locales, considerando sólo la aptitud respecto al desarrollo turístico.

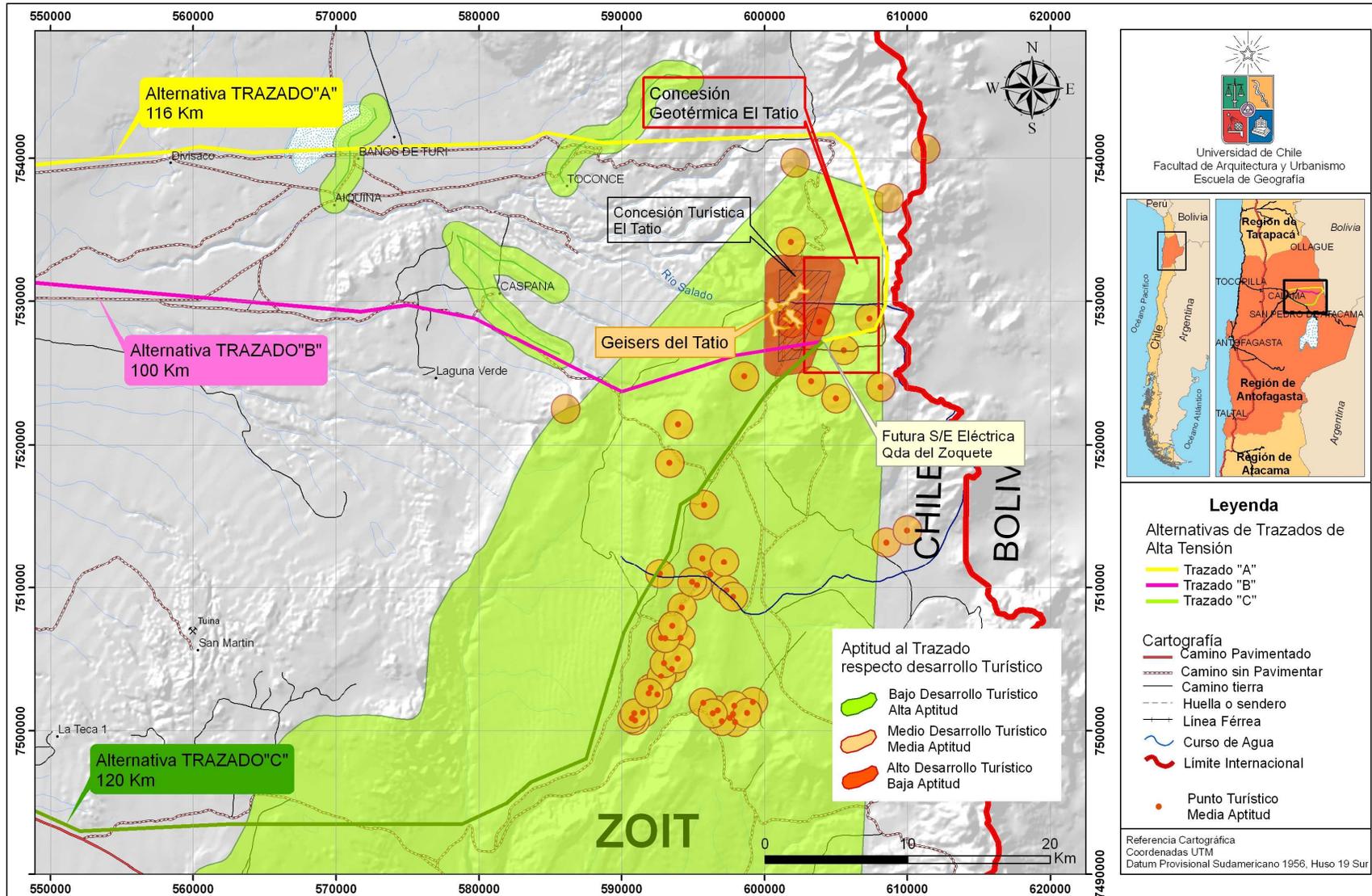
- **Trazado C:**

Posee un 16,3% de las preferencias locales, considerando sólo la aptitud respecto al desarrollo turístico.

Lo anterior queda mejor reflejado en la siguiente figura (ver Figura N°11).



FIGURA Nº 11. MAPA DE APTITUD DE TRAZADO RESPECTO DESARROLLO TURÍSTICO





1.2. SUBCRITERIO APTITUD PAISAJÍSTICA

Este subcriterio se consideró con un 16,3% de preponderancia debido a que tiene una expresión territorial mucho menor a los otros, ya que los lugares identificados con alta importancia de calidad paisajística son con cuencas visuales cerradas y por ende de sectores de observación delimitados.

Se enfrentó considerando la valoración del paisaje en conjunto con la visibilidad que se posee del lugar en donde se encuentra los principales atractivos turísticos y se identificaron puntos de observación que constituyen lugares o hitos de interés como los miradores establecidos y utilizados por los turistas como lugares de alta preponderancia para identificar cuencas visuales. Luego se identificaron los puntos turísticos relevantes donde se valora el paisaje principalmente por su singularidad, calculándose cuencas visuales para estos últimos puntos. Posteriormente se procedió a identificar el cálculo de cuencas visuales mediante la aplicación “viewshade” del software ArcGis 9.2 y las áreas que resultaron visibles automáticamente se clasificaron como zonas de baja aptitud al trazado y a aquellas zonas que no eran visibles desde los puntos mencionados se calificaron como zonas con alta aptitud. El análisis de cuencas visuales se efectuó principalmente en áreas consolidadas de interés turístico como el campo de Géiser del Tatio. Cabe mencionar que el cálculo de cuencas visuales se efectuó desde el punto de vista de la topografía del lugar, es decir calculando si tiene o no una intromisión geomorfológica directa en el campo visual o si por defecto de la altura o algún elemento orográfico no es posible observar un determinado objeto.

El criterio para identificar la aptitud al trazado respecto a la afectación al paisaje fue el siguiente (ver Tabla N°9).



TABLA Nº 9
APTITUD AL TRAZADO UTILIZANDO EL PAISAJE²⁶

AFECTACIÓN AL PAISAJE	APTITUD AL TRAZADO
Zona visible desde un punto con valor paisajístico	Baja Aptitud
Zona no visible desde un punto con valor paisajístico	Alta Aptitud

Una vez obtenida la clasificación del subcriterio Aptitud Paisajística y luego de realizar el análisis espacial que determinó algún grado de diferenciación entre las distintas cuencas visuales y su aptitud a las distintas alternativas de trazados, se procedió a unificar en un solo mapa las dos unidades de aptitud Paisajística (aptitud baja para las zonas visibles y alta para las no visibles) y luego se cuantificaron y se compararon estos estudios para a las tres alternativas.

Los resultados más significativos del análisis para cada una de las tres alternativas de trazado, respecto al subcriterio Aptitud Paisajística, fueron los siguientes:

- **Trazado A:**
Se caracteriza por tener 8 Km. (6,9% de su trazado) por zonas de Baja Aptitud.
- **Trazado B:**
Se caracteriza por tener 20 Km. (20% de su trazado) por zonas de Baja Aptitud.
- **Trazado C:**
Se caracteriza por tener 24 Km. (20% de su trazado) por zonas de Baja Aptitud.

²⁶ Elaboración del Autor.



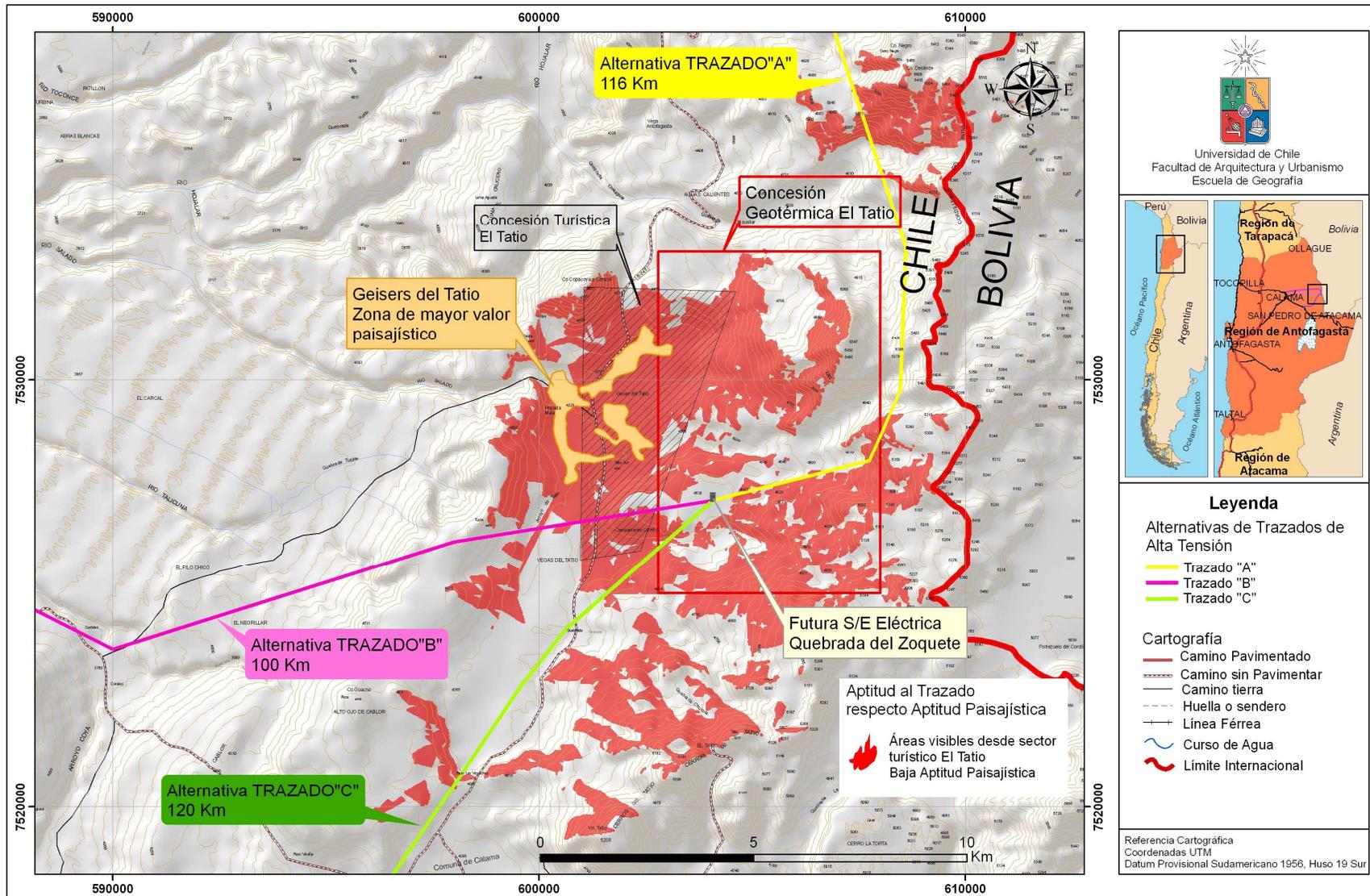
De esta forma la ponderación resultante, utilizando la escala de Saaty para el Subcriterio Aptitud Paisajística, es:

- **Trazado A:**
Posee un 60% de las preferencias locales, considerando sólo la Aptitud Paisajística.
- **Trazado B:**
Posee un 20% de las preferencias locales, considerando sólo la Aptitud Paisajística.
- **Trazado C:**
Posee un 20% de las preferencias locales, considerando sólo la Aptitud Paisajística.

Lo anterior queda mejor en la próxima figura (ver Figura N°12).



FIGURA Nº 12. MAPA DE APTITUD DE TRAZADO RESPECTO AL PAISAJE





1.3. SUBCRITERIO APTITUD HISTÓRICO – SOCIAL

Considerado con un 29,7% de las preferencias globales del criterio Socioeconómico, tiene la particularidad de aportar el estudio un análisis histórico, social en perspectiva y actual, además de una visión etnográfica.

En primer lugar, el análisis histórico representa el respeto por los vestigios de culturas indígenas pasadas mediante la identificación de hitos ancestrales como pucarás, centros ceremoniales y otros de valor patrimonial más recientes como cementerios o iglesias coloniales, todos ellos testigos tanto de los primeros vestigios de poblamiento nacional en el Norte Grande, del legado de la cultura imperial inca como de la naciente presencia española en Chile. Para su identificación como hitos patrimoniales se recurre a la individualización hecha por el Consejo de Monumentos Nacionales²⁷²⁸, pero, de la misma forma, se considera a aquellos de fuerte significancia local y valoración para sus habitantes aunque no estén incluidos en la denominación del Consejo.

Respecto a la valoración atingente al presente estudio se identificó como de baja aptitud para instalar la línea de alta tensión a aquellos puntos y lugares que presentan importantes vestigios históricos (ya sean al interior y fuera del Consejo de Monumentos Nacionales) y las actuales áreas de pastoreo y crianza de animales. Se realizaron anillos concéntricos y zonas de “*buffers*” para estos lugares y dada la clasificación al interior de la escala de Saaty, se definieron zonas de alta, baja y media aptitud para instalar la Línea, siendo las de menor aptitud aquellos anillos y *buffers* que rodean a monumentos nacionales y zonas de mayor cantidad de animales en pastoreo, y como zonas de mediana y alta aptitud se clasificaron aquellas que rodean a sitios de menor preponderancia histórica y de pastoreo. A los “hitos” que se encuentran al interior de alguna clasificación del Consejo de Monumentos Nacionales se les otorgó la más baja aptitud para instalar la línea de alta tensión y dentro de su radio de influencia, que se estimó en 5 Km, según el

²⁷ Organismo dependiente del Ministerio de Educación que vela por resguardar aquellos monumentos que clasifican de acuerdo a la Ley en las categorías de monumento histórico, zona típica y santuario de la naturaleza.

²⁸ Ver Anexo N° 9



criterio experto del equipo de Medioambiente y *Permiting* de la Empresa Nacional de Geotermia. Para los otros “hitos” identificados se emplea una valorización particular para cada uno de ellos, pero se replica el radio de 5 Km para identificar a esa zona como un “territorio de interferencia”.

La segunda dimensión tiene que ver con la idea de que los pueblos con raíces indígenas -como las comunidades del Alto Loa- desde su proliferación como pueblos nómadas a la instalación como pueblos sedentarios practicaron fuertemente el pastoreo y la crianza de animales para su subsistencia, pastoreo que se mantiene hasta el día de hoy y que es una de las principales fuentes de ingresos para los habitantes de estas comunidades.

La tercera y última dimensión tiene que ver con las demandas ancestrales de los pueblos originarios y que aún no se encuentran resueltas, pero que se consideraron dentro del presente estudio como parte del compromiso planteado en su Hipótesis, en orden a asegurar aquel trazado que respete plenamente las condiciones del medio natural y social. Dado lo anterior, no se quiso dejar de lado el peso e importancia de las comunidades originarias, sin perjuicio de reconocer que la preponderancia es menor en atención a que el ordenamiento jurídico chileno aún no resuelve dicha situación y se trata de grupos humanos marginales en el total poblacional de la Provincia de El Loa.

Los terrenos que la comunidad de Caspana está reclamando corresponden actualmente a 110.000 Has. en total, su ocupación espacial efectiva se estima en 40.537 Has. y por su lado los terrenos que la comunidad de Toconce está reclamando corresponden a 72.000 Has. en total y su ocupación espacial efectiva se estima en 70.780 Has., distribuidas en vegas, sitios ceremoniales y lugares de pastoreo al igual que la comunidad de Caspana.

En resumen, las áreas identificadas para analizar la aptitud de un trazado ambientalmente amigable arrojó la siguiente valorización (ver Tabla N°10).



TABLA N° 10

APTITUD AL TRAZADO UTILIZANDO VALORACIÓN HISTÓRICO SOCIAL²⁹

VALORACIÓN HISTÓRICO SOCIAL	APTITUD AL TRAZADO
Categorías incluidas dentro del Consejo de Monumentos Nacionales	Baja Aptitud
Sitios Naturales, históricos y Arqueológicos identificados por las Comunidades	Baja Aptitud
Áreas de pastoreo de alta influencia territorial	Baja Aptitud
Áreas de pastoreo de baja influencia territorial	Media Aptitud
Demandas territoriales ancestrales	Media Aptitud

Una vez obtenida la clasificación de los sitios escogidos como lugares con cierta categoría o relevancia Histórico-social y luego de realizar el análisis espacial que determinó algún grado de diferenciación entre distintos puntos turísticos y su aptitud al trazado, se procedió a unificar en un solo mapa las tres unidades de aptitud Histórico-social al trazado, unidades que representan una baja, media y alta aptitud respecto a la interferencia de un elemento externo como un trazado de línea de alta tensión.

Los resultados más significativos del análisis para cada una de las tres alternativas de trazado, respecto al subcriterio Histórico-Social, fueron los siguientes.

²⁹ Elaboración del Autor.



- **Trazado A:**
Se caracteriza por tener 10 Km. (8,6% de su trazado) por zonas de Baja Aptitud.
- **Trazado B:**
Se caracteriza por tener 30 Km. (30% de su trazado) por zonas de Baja Aptitud.
- **Trazado C:**
Se caracteriza por tener 15 Km. (12,5% de su trazado) por zonas de Baja Aptitud.

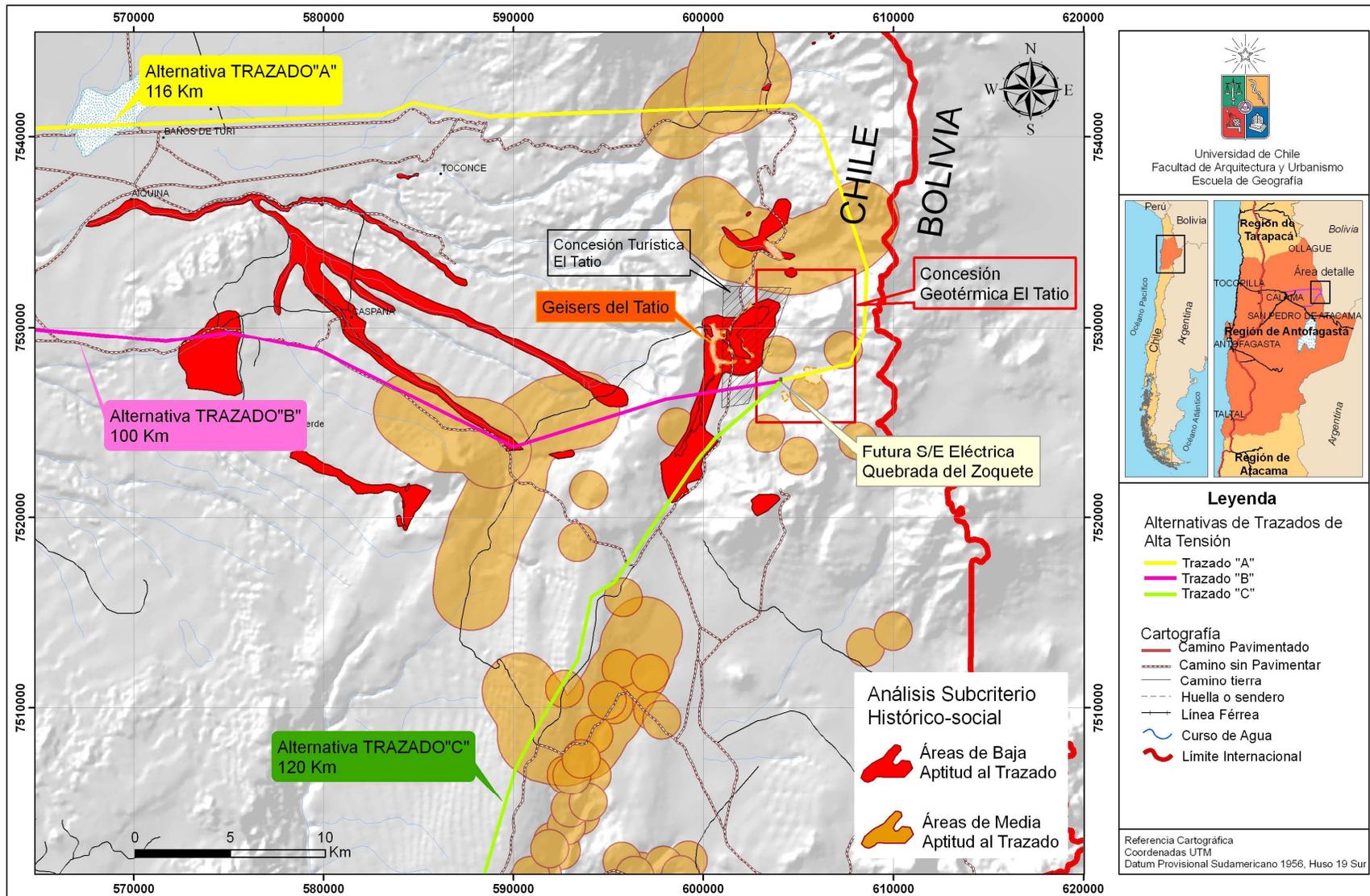
De esta forma la ponderación resultante, utilizando la escala de Saaty para el Subcriterio Aptitud Paisajística, es:

- **Trazado A:**
Posee un 54% de las preferencias locales, considerando sólo la Aptitud Histórico-Social.
- **Trazado B:**
Posee un 16,3% de las preferencias locales, considerando sólo la Aptitud Histórico-Social.
- **Trazado C:**
Posee un 29,7% de las preferencias locales, considerando sólo la Aptitud Histórico-Social.

Lo anterior queda mejor reflejado en la siguiente figura (ver Figura N°13).



FIGURA Nº 13. MAPA DE APTITUD DE TRAZADO RESPECTO A VALORACIÓN HISTÓRICO SOCIAL





2

CRITERIO AMBIENTAL

Una vez identificado con un 28,6% de las preferencias globales se procedió a determinar los pesos para cada uno de sus tres subcriterios, recordando que en conjunto con el Criterio Socioeconómico es el más preponderante, porque según los criterios de expertos y consensos alcanzados por la Empresa Nacional de Geotermia como por ENAP Sipetrol, el concepto de respeto con la comunidad se ha relacionado indisoluble y fuertemente con el de respeto con el medioambiente, en el entendido que lo que importa considerar para la elaboración de este tipo de proyectos son las Personas y su medioambiente natural en una misma escala de importancia.

De esta forma se incorporó el concepto de Áreas Protegidas, identificando aquellas áreas que actualmente se encuentran con protección oficial por parte del Estado, como acuíferos que alimentan vegas y bofedales del área de estudio, protegidos por el Código de Aguas de la República y la convención RAMSAR³⁰.

Por otro lado se consideró el subcriterio de Áreas Sensitivas Ambientales (ASA), concepto explicado anteriormente y según el cual distintos elementos del paisaje pueden ser significativos para el funcionamiento del sistema ambiental en su totalidad y que por lo tanto deben ser protegidos por la planificación ecológica del territorio (ROMERO, 2005). En este ítem se consideraron áreas con importante concentración de aporte de biomasa o NDVI, zonas con grandes concentraciones de humedad y zonas contiguas a cursos de agua, zonas conocidas como buffers riparianos, para lo cual se efectuaron análisis de imágenes satelitales y procesos y análisis GIS.

El tercer y último elemento al interior del criterio ambiental es el subcriterio Aptitud Faunística, considerado principalmente en función de aquellas especies de aves que suelen ser más amenazadas con la irrupción de tendidos eléctricos,

³⁰ La convención RAMSAR, de su sigla en inglés Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, es un acuerdo internacional con resolución de la ONU N° 14583 de 1971.



considerando la especialización conocida por estas especies y las recomendaciones de expertos en la materia.

La descomposición de preponderancias al interior del criterio ambiental se clasificó en base al consenso alcanzado al interior del equipo de Medioambiente de la Empresa Nacional de Geotermia, con consulta y aprobación de los expertos en avifauna (ver Tabla N°11).

TABLA N° 11³¹
CRITERIOS ANÁLISIS AMBIENTAL

CRITERIO	SUBCRITERIO	PONDERACIÓN
AMBIENTAL	Áreas Protegidas	40% preponderancia
	Áreas Sensitivas Ambientales	40% preponderancia
	Aptitud Faunística	20% preponderancia

FUENTE: ELABORACIÓN DEL AUTOR.

2.1 SUBCRITERIO ÁREAS PROTEGIDAS.

En este criterio se identificaron aquellas áreas que por alguna razón formal contarán con algún tipo de protección legal, avalada y reconocida por el Estado. En esta situación se encontró que para el área de estudio existen variadas áreas con ese nivel de protección ambiental. Las que se identificaron bajo esta protección son los acuíferos de la Región de Antofagasta, que alimentan a vegas, bofedales y que se encuentran cercanos a Caspana, Toconce y El Tatio.

Estos acuíferos están protegidos por el Código de Aguas desde 1992, año en que se modificaron los artículos 58 y 63 con la finalidad de prohibir la exploración y explotación de aguas subterráneas en los acuíferos alimentadores de

³¹ Elaboración del Autor en base a entrevista con profesor Guía.



las vegas y bofedales de las Regiones de Tarapacá y Antofagasta³². Esta drástica medida tiene su origen en el deseo del Estado de preservar las actividades agroganaderas y de sobrevivencia de las comunidades andinas y de paso proteger sistemas ambientales sumamente frágiles como los desérticos de aquellas regiones del país frente a la amenaza que presentaban las actividades mineras.

A partir del año 1993 la DGA comenzó a identificar las áreas de vegas, bofedales y delimitar sus acuíferos alimentadores, dando como resultado la Resolución DGA N° 909 de 1996 que los delimitó, confirmado que en dichas áreas no es posible autorizar exploraciones de aguas subterráneas si no se cuenta con una evaluación ambiental favorable previa. Para ese año en Antofagasta quedaron identificadas 167 áreas como humedales que representan alrededor de 2798 Km², equivalentes al 2, 2% de la superficie total de la región. Finalmente el año 2003 la DGA delimitó estos acuíferos, vigente hasta hoy con 228 humedales y una superficie de 5.149 Km², equivalente a un 4,07% de la superficie total regional. Para el presente informe se contó con la información proporcionada por la DGA para ENG en formato GIS de las áreas protegidas para el área de estudio, de tal manera que la totalidad de ellas, ahora resumidas en polígonos, se consideraron con una baja aptitud para la instalación de cualquier trazado de línea de alta tensión (ver Tabla n°12).

TABLA N° 12

APTITUD AL TRAZADO SUBCRITERIO DE ÁREAS PROTEGIDAS

ÁREAS PROTEGIDAS	APTITUD AL TRAZADO
Acuíferos protegidos por el Estado	Baja Aptitud

FUENTE: ELABORACIÓN DEL AUTOR.

Una vez ingresadas estas áreas y otorgadas para todas ellas la más baja

³² Hoy considera también a la XV Región de Arica y Parinacota, para entonces parte de Tarapacá.



categoría para la aptitud de un trazado, se prosiguió a identificar para cada una de las tres alternativas la longitud y el porcentaje que atravesaban por estas áreas protegidas, lo cual permitió discriminar cuál de las tres es la que presentaba el menor grado de impacto.

Entonces los resultados del análisis para todo el trazado, para cada una de las tres opciones, fueron los siguientes.

- **Trazado A:**
Se caracteriza por tener 9,3 Km. (8% de su trazado) por Áreas Protegidas o áreas de baja aptitud.
- **Trazado B:**
Se caracteriza por tener 25 Km. (25% de su trazado) por Áreas Protegidas o áreas de baja aptitud..
- **Trazado C:**
Se caracteriza por tener 26 Km. (30% de su trazado) por Áreas Protegidas o áreas de baja aptitud..

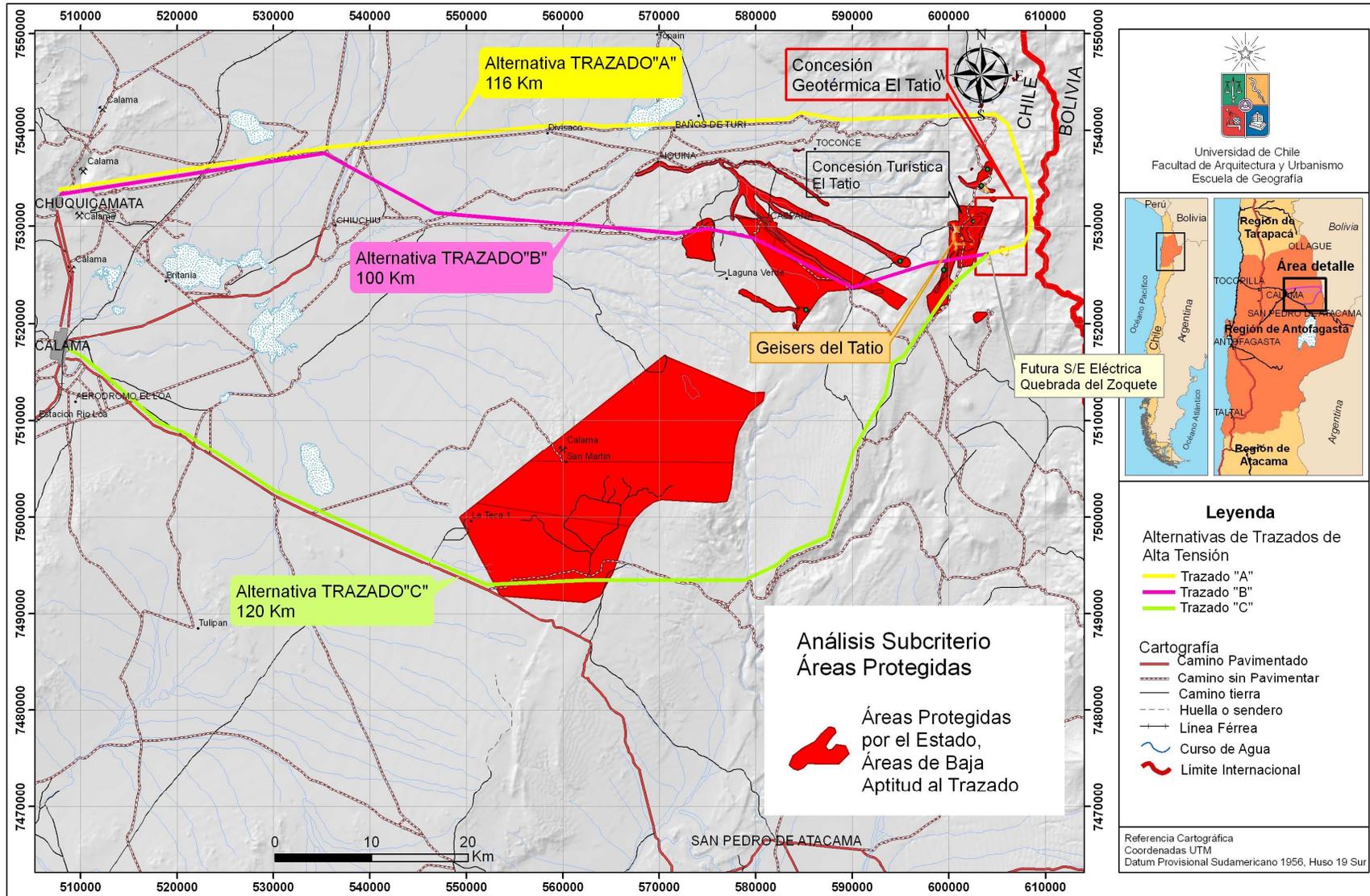
De esta forma la ponderación, utilizando la escala de Saaty para el subcriterio Áreas Protegidas, quedó de la siguiente manera:

- **Trazado A:**
Posee un 61,2% de las preferencias locales, considerando sólo la aptitud respecto a las Áreas Protegidas.
- **Trazado B:**
Posee un 20,5% de las preferencias locales, considerando sólo la aptitud respecto a las Áreas Protegidas.
- **Trazado C:**
Posee un 18,3% de las preferencias locales, considerando sólo la aptitud respecto a las Áreas Protegidas.

El resultado puede verse mejor en la siguiente figura (ver Figura N°14).



FIGURA Nº 14. MAPA DE APTITUD DE TRAZADO RESPECTO A ÁREAS PROTEGIDAS





2.2. SUBCRITERIO DE ÁREAS SENSITIVAS AMBIENTALES – ASA.

Si bien en el Desierto la ausencia de precipitaciones permite la existencia de una vegetación de escasa cobertura, no significa la inexistencia de formaciones vegetacionales³³, formaciones que están preparadas para sobrevivir con poca agua o solamente con aquella que se consigue con el rocío matinal, como las especies arbustivas como el Tolar y las estepas de Gramíneas con cojines (Pajonal), con las pequeñas formaciones azonales de Vegas como una de las únicas excepciones.

Este subcriterio busca ser complementario al del las áreas protegidas ya que si bien la mayoría de las áreas identificadas como áreas sensitivas ambientales coinciden con las mismas que las áreas protegidas por el Estado, existe un número importante de ellas que no quedan incluidas al interior de esa identificación pero que presentan condiciones similares a las ya mencionadas. Para estos efectos se utilizaron herramientas de teledetección para identificar áreas de importantes aportes de Biomasa o NDVI y áreas con grandes cantidades de humedad o índice *Tasseled Cap*. La mayoría de las veces coincidía con las áreas identificadas como “Vegas protegidas” pero en otras oportunidades se encontraron áreas de sensibilidad ambiental como quebradas o zonas cercanas a los cursos de agua.

Las áreas sensitivas ambientales (ASA) contienen elementos del paisaje - naturales, biológicos o culturales- que son significativos para el funcionamiento del sistema ambiental en su totalidad y que, por lo tanto, deben ser protegidos por la planificación ecológica del territorio (ROMERO, op cit). En este sentido cuando se habla de Áreas Sensitivas Ambientales³⁴ se está hablando de unidades espaciales que gracias a su componente biótica significan un fuerte *input* a la calidad de un sistema ecológico, como los humedales, las zonas de *buffers riparianos* (que son aquellas franjas vegetales que se desarrollan a lo largo de las riberas de los ríos) y arroyos como consecuencia de mayor humedad en el suelo (ROMERO, 2005) y los hábitats de la fauna salvaje.

³³ Ver Anexo N° 7

³⁴ Ver Anexo N°6



Para el presente informe se identifico como componentes importantes de las ASA a los buffers riparianos de 50m de ancho (ROMERO, op cit), el Índice NDVI y el índice de humedad *Tasseled Cap*, analizados por separado con técnicas de análisis GIS para los buffers y procesamientos de imágenes satelitales para los índices NDVI y *Tasseled Cap*.

Una vez identificados los tres niveles de aptitud (alta, media y bajo) se procedió a unificarlos en sus respectivos niveles y analizar globalmente las tres alternativas de trazados para observar el grado de ocurrencia para cada nivel de aptitud al trazado.

2.2.1 Valoración aporte de NDVI

Se identificó mediante técnicas de teledetección el índice NDVI³⁵ y aquellas formaciones vegetacionales como pajonales abiertos se identificaron con alta aptitud para una línea de alta tensión y las formaciones vegetacionales compactas o con fuerte presencia de actividad fotosintética como las áreas de más baja aptitud para la instalación de dicha línea.

Para este criterio se analizó el comportamiento de NDVI recurriendo a una imagen satelital Lansat TM del año 2000, propiedad de la Universidad de Maryland³⁶. De esta forma se clasificaron tres categorías de NDVI: Alto, Bajo y Muy Bajo, siguiendo la metodología de Yokens, 2001, las cuales respectivamente representan una Baja, Media y Alta aptitud respectivamente pero dado que las imágenes poseen ocho años de antigüedad se comprobó con fotografías áreas del año 2006 propiedad de la Empresa Nacional de Geotermia, ENG, que permitió observar que no existían grandes cambios respecto al comportamiento vegetal. El procesamiento satelital sirvió además para obtener las diferencias acerca de la calidad de la cobertura vegetal o la diferencia de aporte de Biomasa, en desmedro del tipo de bosque, ítem que se observó en el subcriterio Área Sensitiva Ambiental, ya analizado.

³⁵ Índice Vegetacional de Diferencia Normalizado

³⁶ Propiedad de la University of Maryland (Estados Unidos) y disponible para fines académicos.



2.2.2 Valoración sitios húmedos

Esta valoración tiene relación con el hecho de identificar sitios con importantes cantidades de humedales para reconocer potenciales zonas de habitats de la avifauna, ya que estos lugares representan ricos espacios para estaciones de descanso en los largos viajes de las aves, tanto para aquellas aves que suelen migrar de cordillera a mar como las menores, que migran desde sur a norte (CODEFF, 2006) como cóndores y otras especies rapaces.

En este sentido la entrevista con informantes claves³⁷ -expertos en el área dio indicios para reconocer lugares frecuentados por las aves al momento de anidar y alimentarse, identificando así lugares con mayores concentraciones de humedad como quebradas, vegas, humedales y salares. Dichas zonas fueron identificadas mediante el análisis *Tasseled Cap* del programa *Idrisi Kilimanjaro*, que consiste precisamente en determinar aquellas lugares que reflejan mayor humedad del espectro electromagnético y que, por ende, son zonas factibles de visitas de aves, estableciendo una relación directa entre zonas húmedas y zonas de presencia de la avifauna. A esta valoración se le agregó una franja de 50 m alrededor de los cursos de agua y las zonas húmedas identificadas por análisis de imágenes satelitales para luego identificarlas como una extensión de la situación observada a través de la teledetección. Esta franja es asociado como de buffers ricos en biodiversidad, por cuanto se entiende como buffers riparianos (ROMERO, op cit) áreas contiguas a cursos de agua y que son ricas en Biodiversidad por sus condiciones de humedad y de hábitat para la vida silvestre.

La **humedad** se relaciona con el contenido de agua de la vegetación y el suelo. Se obtiene contrastando la reflectividad en las bandas 5 y 7 de Landsat TM+, bandas en las que el agua absorbe la radiación (con coeficientes de ponderación negativos) respecto al resto de las bandas menos afectadas por la humedad (coeficiente bajo y positivo). También se

³⁷ Entrevista a don Hernán Torres, quien es miembro del directorio de la Unión de Ornitólogos de Chile y autor de varios libros acerca de Hábitats de Aves, en especial "Aves de los Humedales Altoandinos del Norte de Chile".



ha encontrado una relación entre este componente y la madurez de la vegetación (VIDELA, 2008).

Para el presente estudio se utilizará solamente el índice de humedad y se utilizará una discriminación del quintil con mayor presencia de humedad, solamente para identificar al 20% más húmedo de la imagen satelital.

El resultado para la clasificación respecto a la aptitud al trazado respecto a las zonas húmedas fue la siguiente (ver Tabla N°13).



TABLA Nº 13
APTITUD AL TRAZADO RESPECTO A ÁREAS SENSITIVAS AMBIENTALES

VALORACIÓN APORTE NDVI	VALORACIÓN SITIOS HÚMEDOS	APTITUD AL TRAZADO
Muy Bajo NDVI	Zonas con Baja concentración de humedad	Alta Aptitud
Bajo NDVI	Zonas con Media concentración de humedad	Media Aptitud
Alto NDVI	Zonas con Alta concentración de humedad	Baja Aptitud

FUENTE: ELABORACIÓN DEL AUTOR.

Entonces los resultados del análisis para todo el trazado, para cada una de las tres opciones, fueron los siguientes.

- **Trazado A:**
Se caracteriza por tener 18 Km. (15,5% de su trazado) por Áreas Sensitivas Ambientales de Baja Aptitud.
- **Trazado B:**
Se caracteriza por tener 35 Km. (35% de su trazado) por Áreas Sensitivas Ambientales de Baja Aptitud.
- **Trazado C:**
Se caracteriza por tener 57 Km. (48% de su trazado) por Áreas Sensitivas Ambientales de Baja Aptitud.

De esta forma la ponderación, utilizando la escala de Saaty para el subcriterio Áreas Sensitivas Ambientales, quedó de la siguiente manera:



- **Trazado A:**

Posee un 62,5% de las preferencias locales, considerando sólo la aptitud respecto a las sensitivas ambientales.

- **Trazado B:**

Posee un 23,8% de las preferencias locales, considerando sólo la aptitud respecto a las sensitivas ambientales.

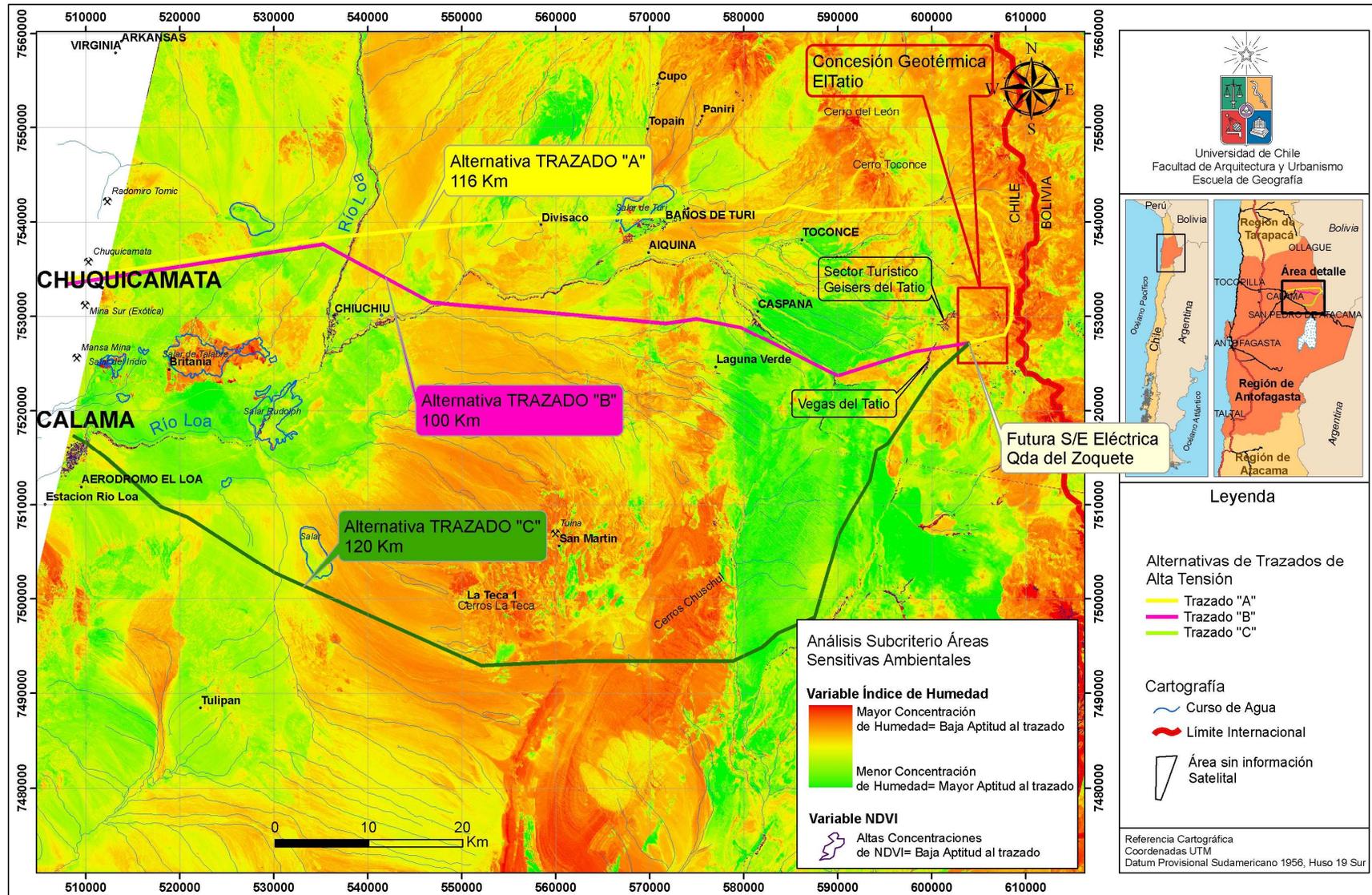
- **Trazado C:**

Posee un 13,6% de las preferencias locales, considerando sólo la aptitud respecto a las sensitivas ambientales.

El resultado puede observarse en la siguiente figura (ver Figura N°15).



FIGURA Nº 15. MAPA DE APTITUD DE TRAZADO RESPECTO A ASA





2.3. SUBCRITERIO APTITUD FAUNÍSTICA

Este subcriterio fue considerado desde el principio de la investigación como un elemento útil para encontrar respuestas respecto a si existían rutas o patrones de vuelos de aves como corredores biológicos que pudiesen ser identificados antes de construir un trazado eléctrico, ya que una de las mayores observaciones de los organismos involucrados en el SEIA son aquellas referentes a choques de estas especies por la interrupción que presentan las torres y líneas de alta tensión³⁸.

En este subcriterio se identificaron en primer lugar las especies de aves que más se verían perjudicadas por la instalación de un trazado de línea eléctrica, revisando la bibliografía existente y la valiosa cooperación de expertos consultores privados dedicados al estudio de las aves, luego en segundo lugar se procedió a identificar las zonas que actualmente se conocen como habitats para la avifauna, habitats permanentes o esporádicos, permanentes como los salares y esporádicos como aquellos ríos o quebradas (que sirven para la anidación y apareamiento) y en tercer y último lugar se identificó el tipo de peligro que representan las líneas de alta tensión a las aves, considerándose que el peligro de electrocución es mucho mayor que el peligro a colisión, llegando a estar en una relación de 4 a 1 para algunos autores como Palacios en 2003.

Como guía principal de este subcriterio se utilizó el texto “*Aves de los Humedales Alto andinos del Norte de Chile*” (Aguirre & Torres, 2005) sin mencionar la desinteresada colaboración de uno de los autores en la identificación de especies sensibles de ser afectadas por las líneas de alta tensión.

Con ello, las aves que más suelen ser afectadas por electrocución o choques con los cables y tensores de las líneas de alta tensión³⁹ no son aquellas más pequeñas como la Tórtola (*Metriopelia Aymara*) o el popular Chincol (*Zonotrichia Capensis*) sino especies de mayor tamaño (Janss, 2003) y cuyo largo extendido de las alas es mayor al largo desde su cresta hasta la cola, como la

³⁸ Ver anexo nº3

³⁹ Idea planteada por el Señor Mauricio Páez, quien es consultor privado para temas de avifauna.



mayoría de aves del orden de los Falconiformes como el Cóndor (*Vultur Gryphus*), el Águila (*Geranoaetus Melanoleucus*), el Aguilucho (*Buteo Polyosoma*), el Carancho (*Phalcoboenus Megalopterus*) y otros del orden o familia de los Estrigiformes como el Tucúquere (*Bubo Magellanicus*).

Las aves de caza o rapiña en la mayoría de los casos ven a las líneas de alta tensión como un artefacto que las ayuda en sus tareas de caza (Martínez, 2003), ya que le sirven como “percha” o sustento para obtener una ubicación privilegiada para no ser detectados y así lanzarse en rápido ataque sobre sus presas, pero al mismo tiempo representan un peligro mayor en cuanto, al tener un largo considerable entre las alas, es más fácil rozar dos cables o conductores que las hacen ser afectadas por la electricidad (De la Zerda & Rosselli, 2003), cosa que es muy difícil que pase con las aves menores (ver Tabla N°14).

TABLA N° 14

APTITUD AL TRAZADO UTILIZANDO APTITUD FAUNÍSTICA

APTITUD FAUNÍSTICA	APTITUD AL TRAZADO
Áreas conocidas de habitats de Aves Rapaces o cazadoras	Baja Aptitud

FUENTE: ELABORACIÓN DEL AUTOR.

Para este subcriterio se consideró la distribución de estas aves escogidas y se ingresaron como polígonos dentro del sistema integrado GIS⁴⁰ de análisis, lo cual identificó a todas estas áreas con la misma categoría de zonas de baja aptitud para la instalación de un trazado eléctrico.

Finalmente, los resultados para cada uno de los trazados respecto al análisis del Subcriterio Aptitud Faunística son los siguientes:

⁴⁰ Abreviación del inglés para un “Sistema de Información Geográfico”



- **Trazado A:**
Se caracteriza por tener 25 Km. (22% de su trazado) por zonas de Baja Aptitud Faunística.
- **Trazado B:**
Se caracteriza por tener 42 Km. (42% de su trazado) por zonas de Baja Aptitud Faunística.
- **Trazado C:**
Se caracteriza por tener 56 Km. (47% de su trazado) por zonas de Baja Aptitud Faunística.

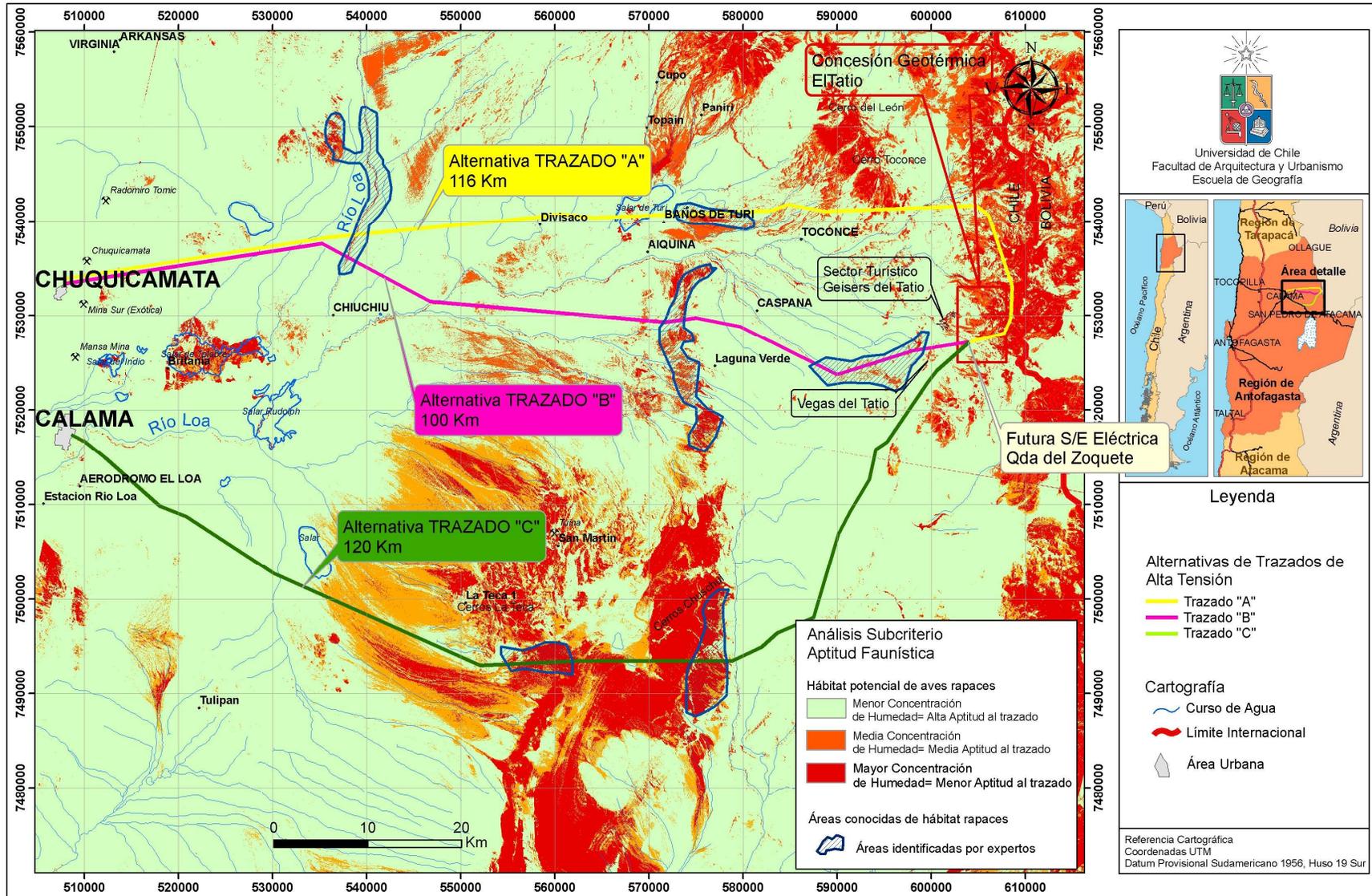
De esta forma la ponderación para el subcriterio Aptitud Faunística, de acuerdo al modelo de la Escala de Saaty, quedó de la siguiente manera:

- **Trazado A:**
Posee un 62,5% de las preferencias locales para ser un trazado óptimo, considerando sólo la Aptitud Faunística.
- **Trazado C:**
Posee un 23,8% de las preferencias locales para ser un trazado óptimo, considerando sólo la Aptitud Faunística.
- **Trazado B:**
Posee un 13,6% de las preferencias locales para ser un trazado óptimo, considerando sólo la Aptitud Faunística.

El resultado del estudio de este subcriterio se puede observar en la figura siguiente (ver Figura N°16).



FIGURA Nº 16. MAPA DE APTITUD DE TRAZADO RESPECTO A APTITUD FAUNÍSTICA





3

CRITERIO MORFOESTRUCTURAL

Una vez que se establece en un 14,3% de las preferencias globales, se procedió a identificar en el Criterio Morfoestructural los pesos para cada uno de sus dos subcriterios, resultando el Subcriterio *pendientes* -apoyado en el modelo de Saaty- de mucha mayor importancia⁴¹ respecto al segundo, quedando con una calificación de un 83,3% de preponderancia, mientras el Subcriterio Aptitud Geológica, sólo con un 16,7% de preponderancia.

La clara diferencia entre los valores de preponderancia entre estos dos subcriterios se explica en el hecho que al analizar las distintas pendientes del terreno en donde se construirá un trazado eléctrico se puede conocer a aquellos sectores que presentan una mayor propensión a generar movimientos en masa como deslizamientos debido a erosión natural de los terrenos y más aún, procesos que son acelerados y acrecentados con la construcción de las fundaciones para las torres de alta tensión, situación que al observar el tipo de formación geológica no ocurre.

Por otra parte la calidad del sustrato o aptitud geológica, si bien tiene que ver con el hecho de la instalación de un trazado eléctrico en formaciones más o menos inestables que otras, tiene como inconveniente la identificación de una determinada porción de terreno, ya que nunca va a ser posible homogenizar al cien por ciento una determinada formación geológica y lo que se busca es tener una idea acerca del tipo de roca en donde se piensa construir un trazado y si acaso se aprecia la fuerte presencia de formaciones rocosas o de fallas en un determinado lugar. Así, los subcriterios fueron clasificados de la siguiente manera (ver Tabla N°15).

⁴¹ Rango Número 7 en la Escala de Saaty. Ver Anexo N° 2.



TABLA Nº 15

CRITERIOS ANÁLISIS MORFOESTRUCTURAL

CRITERIO	SUBCRITERIO	PONDERACIÓN
MORFOESTRUCTURAL	Aptitud Pendientes	83,3% preponderancia
	Aptitud Geológica	16,7% preponderancia

FUENTE: ELABORACIÓN DEL AUTOR.

3.1 Subcriterio Pendientes

Como se ha dicho su radica en que importa conocer aquellas zonas en que posiblemente se producirán movimientos o deslizamientos del suelo debido a la erosión natural del terreno. Aquí se identificaron cuatro niveles de pendientes según la clasificación hecha por Ferrando (2007), que aúna a la de Araya-Borgel (1971) con la de Van Zudam (1986), con cuatro niveles de aptitud: Alta, Media, Baja y Muy Baja, descompuestos según la siguiente tabla (ver Tabla Nº16):



TABLA Nº 16

**COMPARATIVO DE RANGOS DE PENDIENTES Y SU JUSTIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA
 ENTRE ARAYA & BORGEL (1972) Y VAN ZUIDAM (1986)⁴²**

PENDIENTES		CONCEPTO	JUSTIFICACIÓN GEOMORFOLOGICA	Aptitud al trazado
GRADOS	% APROX			
0-2	0-4.5	Horizontal (Plano a casi plano)	Erosión nula a leve (A&B) (Denudación no apreciable)-(VZ)	Alta aptitud
2-5 (2-4)	4.5-11 (4.5-9)	Suave o leve (ligeramente empinado)	Erosión débil, difusa, Sheet- wash, inicio de regueras, soliflucción fría. (A&B) (Movimientos de masa lentos de diferentes tipos, especialmente bajo condiciones periglaciales, de soliflucción y fluviales. Esguerramiento laminar e inicial en regueras. Peligro de erosión)- (VZ)	Alta aptitud
5-10 (4-8)	11-12 (9-18)	Moderada (Mod. Empinado)	Erosión moderada a fuerte; inicio erosión lineal; Rill-wash o desarrollo de regueras. (A&B) (Idem anterior + Peligro severo de erosión de los suelos)- (VZ)	Media aptitud
10-20 (8-16)	22-44.5 (18-36)	Fuerte (Empinado)	Erosión intensa; Erosión lineal frecuente; Cárcavas incipientes. (A&B) (Proclive a los movimientos de masa de todos los tipos, especialmente soliflucción periglacial, reptación, esguerramiento laminar y en regueras, ocasionalmente deslizamientos. Peligro de erosión de suelos y deslizamientos)-(VZ)	Media aptitud

⁴² Nota: (A&B)= Araya & Borgel, 1971; Textos entre paréntesis y (VZ)= Van Zuidam, 1986, en Tesis doctoral F. Ferrando, 2007. Niveles de aptitud al trazado agregados por el autor.



20-30 (16-35)	44.5-67 (36-78)	Muy fuerte a moderadamente escarpada (Notoriamente inclinado)	Cárcavas frecuentes; movimientos en masa; reptación. (A&B) (Procesos denudacionales intensos de todos tipos. Erosión bajo cubiertas forestales, reptación y deslizamientos. Peligro extremo de erosión de suelos) (VZ)	Baja aptitud
30-45 (35-55)	67-100 (78-122)	Escarpada (Muy inclinado)	Coluvionamiento; Soliluxión intensa; Inicio de derrubiación. (A&B) (Dominio de superficies rocosas. Posible desprendimientos de rocas, procesos denudacionales intensos. Formas deposicionales delgadas o incoherentes)- (VZ)	Baja aptitud
> de 45 (> de 55)	> de 100 (> de 122)	Muy escarpada a acantilada (Extremadament e inclinado)	Desprendimientos y derrumbes; corredores de derrubios frecuentes. (A&B) (Dominio de superficies rocosas. Desplomes y rodadura de rocas. Fueres procesos denudacionales, especialmente en las paredes rocosas y acantilados)- (VZ)	Baja aptitud

Para calcular los distintos niveles de pendientes se utilizó la extensión “3D Analyst” del software ArcGis 9,2, programado para que arrojara los cuatro niveles de aptitud respecto a las pendientes, con los grados y porcentajes aportados por los autores señalados y luego se procedió a calcular la cantidad de kilómetros para cada rango de aptitud, gracias al cual se conoció de una forma objetiva qué alternativa de trazado poseía una mejor aptitud (o sea, pendientes de suaves a planas) para instalar las torres de alta tensión. Los resultados más significativos del análisis para cada una de las tres alternativas de trazado, respecto al subcriterio Pendientes, fueron los siguientes:

- **Trazado A:**

Se caracteriza por tener 46 Km. (39,6% de su trazado) por pendientes de Baja Aptitud.



- **Trazado B:**
Se caracteriza por tener 22 Km. (22% de su trazado) por pendientes de Baja Aptitud.
- **Trazado C:**
Se caracteriza por tener 16 Km. (13,3% de su trazado) por pendientes de Baja Aptitud.

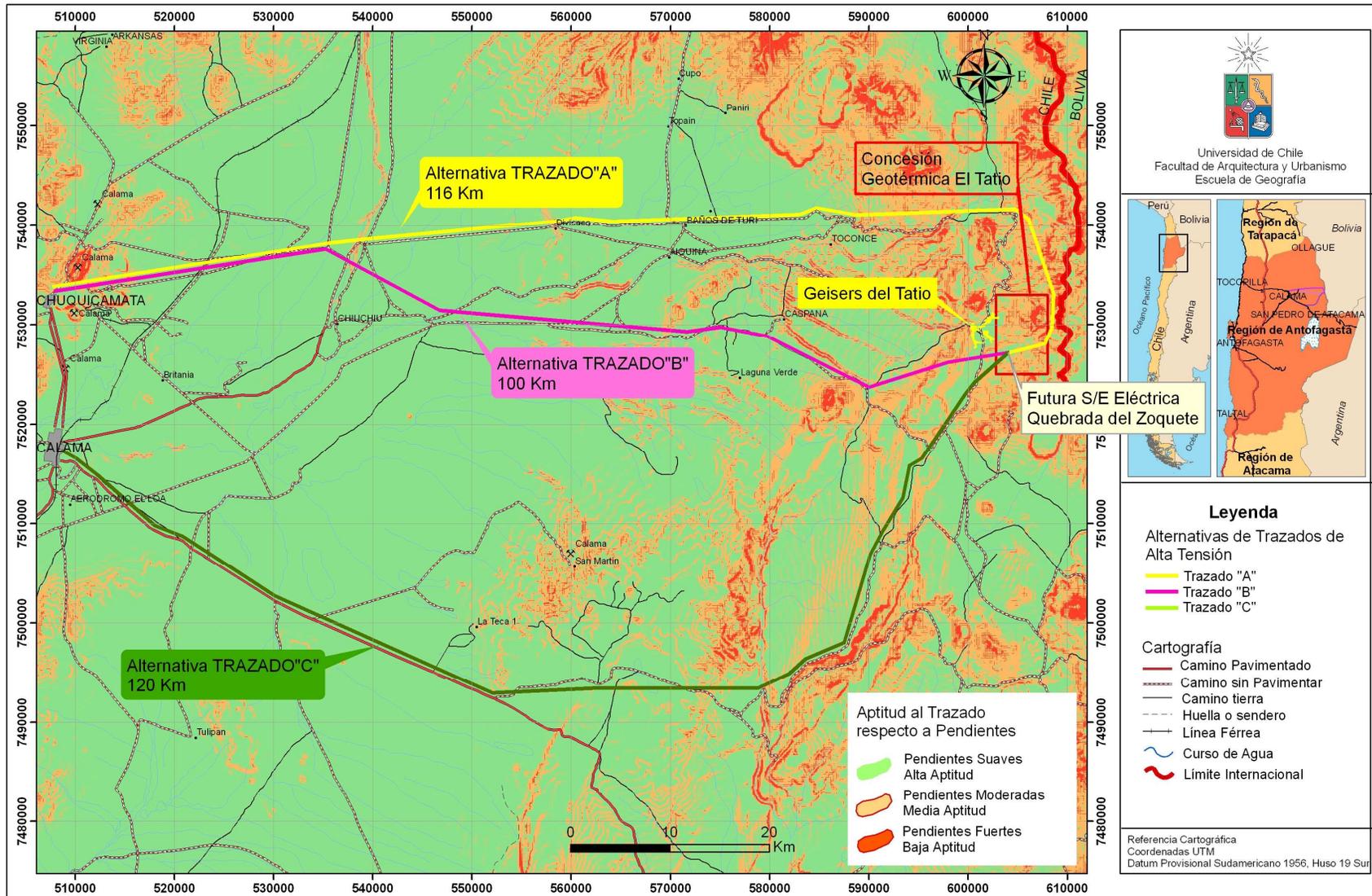
De esta forma la ponderación utilizando la escala de Saaty para el subcriterio pendientes quedo compuesta de la siguiente manera:

- **Trazado A:**
Posee un 16,3% de las preferencias locales, considerando sólo la aptitud respecto a las pendientes.
- **Trazado B:**
Posee un 29,7% de las preferencias locales, considerando sólo la aptitud respecto a las pendientes.
- **Trazado C:**
Posee un 54% de las preferencias locales, considerando sólo la aptitud respecto a las pendientes.

El resultado puede verse en la siguiente figura (ver Figura N°17).



FIGURA Nº 17. MAPA DE APTITUD DE TRAZADO RESPECTO A PENDIENTES





3.2 Subcriterio Aptitud Geológica.

Este ítem se ha determinado mediante la agrupación de formaciones⁴³ que según sus características favorecerían de mejor o peor manera los peligros de derrumbes ocasionando daños al ecosistema y eventualmente a las personas si consideramos alguna alternativa que pase cercana a algún camino. Es importante identificar y diferenciar tipos de formaciones con mala compactación de suelos, suelos rocosos, pobres en la recepción de fundaciones y con importantes presencia de fallas, presentan las más bajas aptitudes al trazado, respecto de aquellos suelos con una firmeza clara y ausentes de clastos y rocas que presentan las mejores condiciones para la instalación de una línea de alta tensión, por cuanto la intervención es mucho más rápida y disminuye la potencialidad de que las torres caigan ocasionando accidentes. Este subcriterio se analizó principalmente observando la carta geológica 1:250.000 Hoja nº 58, Calama del año 1984 y los resultados del informe de geología “*Estudio geológico del sector de El Tatio*” elaborado en conjunto con la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile y la unidad de exploraciones de la Empresa Nacional de Geotermia. Además para identificar aquellas formaciones geológicas se contó con información de Geólogos e Ingenieros de ENG⁴⁴ (ver Tabla Nº17).

TABLA Nº 17
APTITUD GEOLÓGICA⁴⁵

APTITUD GEOLÓGICA	APTITUD AL TRAZADO
Formaciones Geológicas inestables	Baja Aptitud
Formaciones Geológicas estables pero “arcillosas” o falladas	Media Aptitud
Formaciones Geológicas estables	Alta Aptitud

Una vez identificados estas formaciones geológicas que potencialmente podrían representar un riesgo de derrumbes o problemas en la constructibilidad de

⁴³ Ver Anexo Nº 5.

⁴⁴ Se contó con entrevistas a los señores, Carlos Felipe Ramírez (Geólogo Senior), Germain Rivera (Geólogo de Exploraciones) y al señor Jorge Villarroel (Ingeniero Jefe de Obras Civiles).

⁴⁵ Elaboración del Autor.



las fundaciones de las torres de alta tensión, se procedió a identificar las longitudes por las que pasaban para cada una de las tres alternativas de trazados y luego con esos datos objetivos se procedió a compararlos mediante la escala de Saaty. Cabe señalar que algunas de las formaciones que se pueden nombrar son, con baja aptitud, la Formación Chiu-Chiu (limos y arcillas), la formación Calama (gravas mal clasificadas) y la formación El Loa (conglomerados). Con media aptitud se puede mencionar a la formación Granodiorita Fortuna, que es un granito firme pero muy fracturado, mientras que con alta aptitud la Ignimbrita Sifón (tobas dacíticas), la formación Purilactis (conglomerados firmes) y la Ignimbrita Sifón (tobas firmes).

Los resultados más significativos del análisis para cada una de las tres alternativas de trazado, respecto al subcriterio Aptitud Geológica, fueron los siguientes.

- **Trazado A:**

Se caracteriza por tener 16 Km. (13,7% de su trazado) por formaciones geológicas de Baja Aptitud.

- **Trazado B:**

Se caracteriza por tener 38 Km. (38% de su trazado) por formaciones geológicas de Baja Aptitud..

- **Trazado C:**

Se caracteriza por tener 58 Km. (48,3% de su trazado) por formaciones geológicas de Baja Aptitud.

De esta forma la ponderación utilizando la escala de Saaty para el subcriterio Aptitud Geológica quedó compuesta de la siguiente manera.

- **Trazado A:**

Posee un 59,4% de las preferencias para ser un trazado óptimo, considerando sólo la aptitud Geológica.

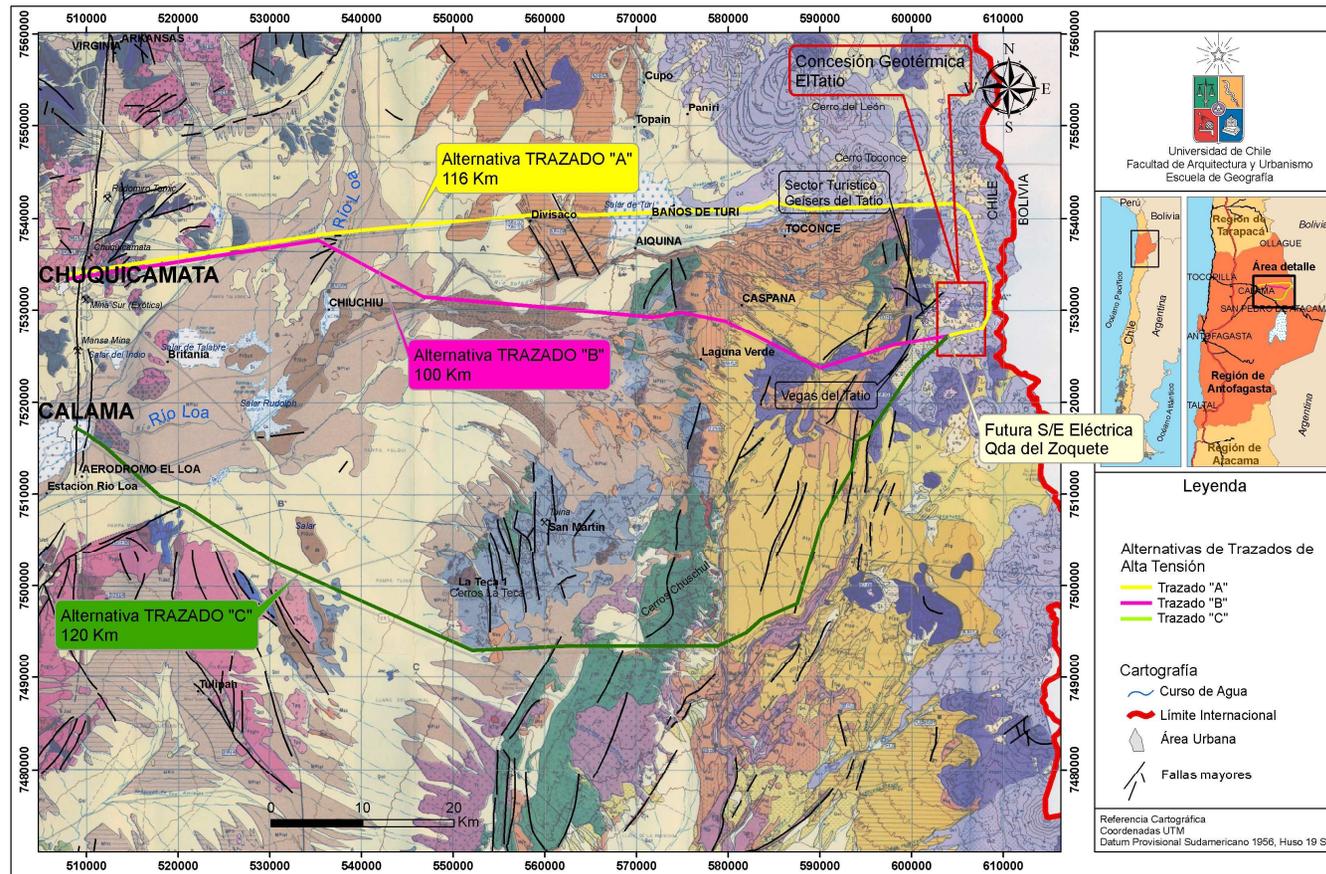


- **Trazado B:**
Posee un 24,9% de las preferencias para ser un trazado óptimo, considerando sólo la aptitud Geológica.
- **Trazado C:**
Posee un 15,7% de las preferencias para ser un trazado óptimo, considerando sólo la aptitud Geológica.

La relación Geología-Trazado se expresa en la siguiente figura (ver Figura N°18).



FIGURA Nº 18. MAPA DE APTITUD DE TRAZADO RESPECTO A APTITUD GEOLÓGICA



- MPlel** Formación El Loa
- Mcl** Formación Calama
- Kia** Formación Arca
- PIQch** Formación Chiuchiu
- Msc** Ignimbrita Cupo
- Formación Tuina
- Mss** Ignimbrita Sifon
- Tsp** Formación San Pedro
- Formación Purilactis
- Qal** Depósitos Aluviales
- Msp** Ignimbrita Pelon
- Qvi** Formación Vilma
- PIQv** Conjunto de Volcanes II
- Mv** Conjunto de Volcanes I
- Pipp** Sedimentos Pre-Ignimbrita Purpicar



4

CRITERIO EMPRESARIAL

Desde el principio del presente estudio este subcriterio fue un tema de discusión recurrente, ya que se consideró en un principio dejarlo fuera para solamente considerar criterios de índole socioeconómico y ambientales a la hora de hacer un análisis espacial en la elección de un trazado eléctrico, pero al discutirlo con distintas personas involucradas en la toma de decisiones en proyectos de similar envergadura⁴⁶, se decidió incorporarlo como un criterio pilar de este estudio de caso y subdividirlo en dos subcriterios (ver Tabla N°18).

Si observamos bien los otros criterios este ítem es el único que, mientras aumenta las aptitudes constructivas y de conexión, al mismo tiempo pueden ir disminuyendo las aptitudes de índole social, morfoestructural o ambiental (Anderson Et tal, 1998). Pero esta paradoja se dejó condicionalmente por dos grandes razones: en primer lugar porque el modelo AHP multicriterio puede aceptar un cierto grado de contradicciones entre sus criterios (Barredo, 1996), entendiendo como contradicción que aquello que es bueno para un criterio quizás no lo es para otro (para esta particularidad es necesario no incurrir en un rango de inconsistencia (IR) mayor a 1,0) y se acepta por la flexibilidad del modelo que, una vez ingresado los criterios guías, puede haber pequeños rangos de discrepancia pero que no importen una inconsistencia (Roche & Vejo, 2005). La segunda razón es el carácter de sustentable que se quiso dar al presente estudio, ya que para que un proyecto sea sustentable junto con ser amigable con el medioambiente y la comunidad, también debe ser rentable en cuanto es impracticable un proyecto completamente enfocado desde el punto de vista ambiental o social, pero económicamente inviable. Por ello es que muchas de las teorías que hablan de sustentabilidad lo hacen desde el punto de partida que cualquier proyecto al mismo tiempo que es rentable, también lo es con el medioambiente y la sociedad.

⁴⁶ Para este subcriterio se incorporó las entrevistas con Jose Manuel Soffia, miembro del Directorio de ENG, representante de ENAP SIPETROL y al Ingeniero Eduardo Del Piano, Ingeniero consultor en temas eléctricos y constructivos.



TABLA Nº 18

ANÁLISIS CRITERIO EMPRESARIAL

CRITERIO	SUBCRITERIO	PONDERACIÓN
EMPRESARIAL	Aptitud Constructiva	33,3% preponderancia
	Aptitud de Conexión	66,7% preponderancia

FUENTE: ELABORACIÓN DEL AUTOR.

4.1 Subcriterio Aptitud Constructiva

Este subcriterio se consideró tomando en cuenta dos ámbitos de análisis: en primer lugar la factibilidad de poder llegar con maquinaria y mano de obra (tanto para la construcción como para la instalación de campamentos). En esa línea se consideró que la cercanía a caminos actuales sería un elemento determinante a considerar, por lo que en la discusión con expertos, se llegó a la conclusión que una franja (buffer para nuestro estudio) de 100 metros desde un camino habilitado es la distancia aconsejable para no tener que incurrir en la construcción de nuevos caminos o huellas de penetración. Entonces gracias a la ayuda de la plataforma GIS se procedió a identificar los caminos habilitados para el sector y establecer una zona de buffers de 100 metros a ambos costados de ellas, los que representan la mejor aptitud para la construcción de un trazado de línea de alta tensión.

El segundo ámbito de análisis tiene relación con la pendiente en la cual se aconseja construir un trazado eléctrico de las características de esta línea de alta tensión. Si bien este tema se analizó anteriormente desde el punto de vista de los peligros que presenta para la erosión del suelo la construcción de este tipo de proyectos, en esta oportunidad se considera las desventajas de tiempo y mayores insumos que hay que incurrir cuando se construye en zonas de mayores pendientes, ya que si bien construir en fuertes pendientes es perfectamente posible



gracias a la tecnología utilizada hoy para estos proyectos, los gastos asociados al tiempo de obras e incurrir en mayores egresos (aunque no preponderantes) hacen de que construir en zonas de fuertes pendientes sea considerado con una aptitud constructiva media (ver Tabla N°19).

TABLA N° 19
APTITUD AL TRAZADO SUBCRITERIO APTITUD CONSTRUCTIVA⁴⁷

APTITUD CONSTRUCTIVA	APTITUD AL TRAZADO
Cercanía a caminos	Alta Aptitud
Zonas de altas pendientes	Baja Aptitud

Los resultados más significativos del análisis para cada una de las tres alternativas de trazado, respecto al subcriterio Aptitud Constructiva, fueron los siguientes.

- **Trazado A:**
Se caracteriza por tener 45 Km. (38,7% de su trazado) por zonas constructivas de Baja Aptitud.
- **Trazado B:**
Se caracteriza por tener 53 Km. (53% de su trazado) por zonas constructivas de Baja Aptitud.
- **Trazado C:**
Se caracteriza por tener 38 Km. (32% de su trazado) por zonas constructivas de Baja Aptitud.

De esta forma la ponderación utilizando la escala de Saaty para el subcriterio pendientes quedo compuesta de la siguiente manera.

⁴⁷ Elaboración del Autor.

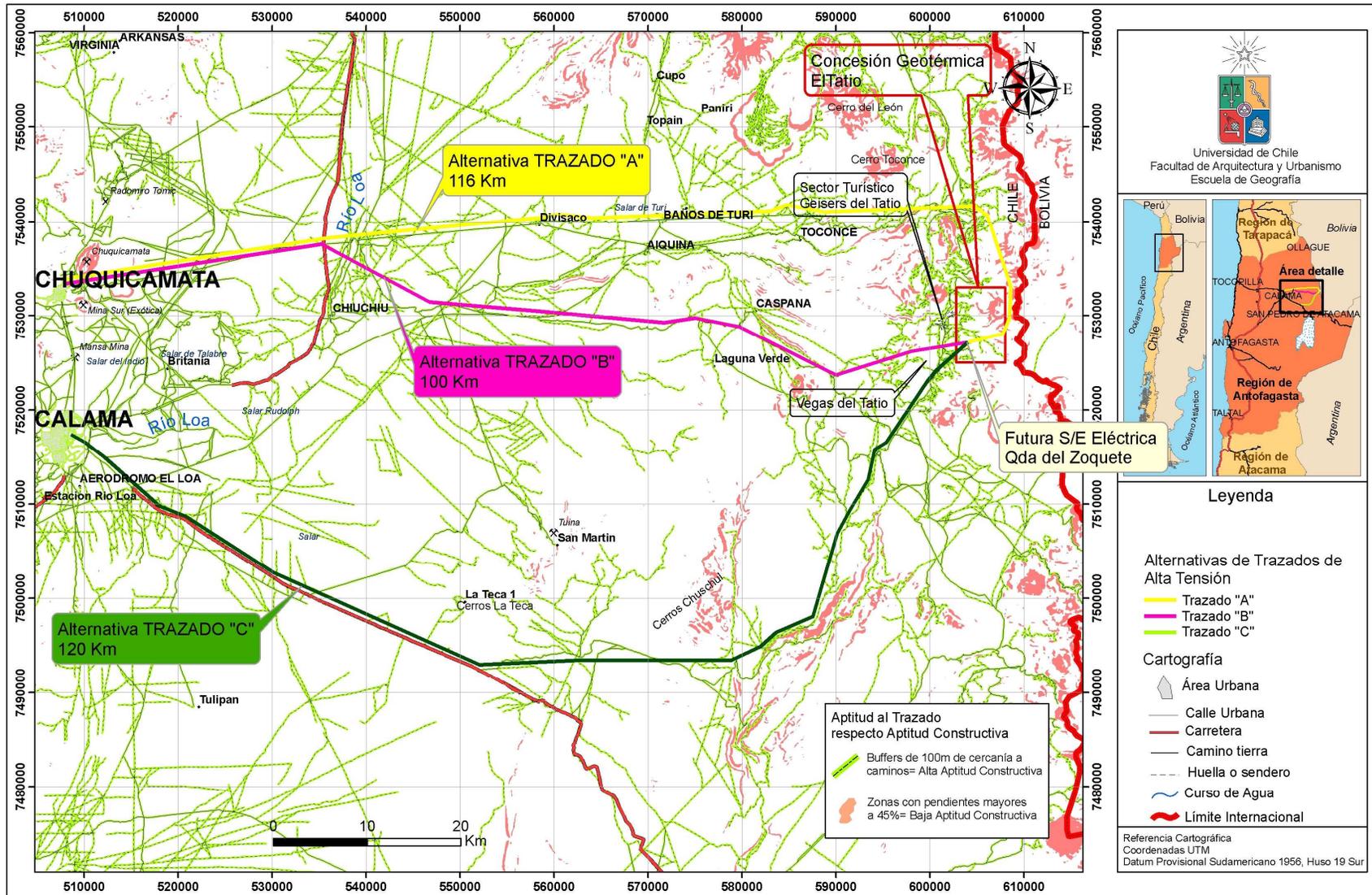


- **Trazado A:**
Posee un 19,6% de las preferencias locales, considerando sólo la Aptitud Constructiva.
- **Trazado B:**
Posee un 31,1% de las preferencias locales, considerando sólo la Aptitud Constructiva.
- **Trazado C:**
Posee un 49,3% de las preferencias locales, considerando sólo la Aptitud Constructiva.

Este resultado se expresa en la siguiente figura (ver Figura N°19).



FIGURA Nº 19. MAPA DE APTITUD DE TRAZADO RESPECTO A APTITUD CONSTRUCTIVA





4.2. Subcriterio Aptitud de Conexión.

Este subcriterio sólo se consideró para discriminar cuál entre las tres alternativas de trazado presenta una ventaja desde el punto de vista de la Conexión al SING, ya que entre la Subestación Chuquicamata y la Subestación Calama existen diferencias en montos de inversión para construir los paños de conexión, puesto que existen disímiles técnicas entre ellas para conectar el trazado que parte en la futura Subestación Eléctrica El Zoquete.

Para este ítem se consideró la opinión de distintos expertos en el rubro eléctrico y gracias a distintas entrevistas se llegó a considerar que -desde el punto de vista de conexión al SING- es mucho más atractiva la alternativa de conectarse a través de la Subestación Chuquicamata, tanto por conversión de paño de entrada en el nivel de tensión como porque la conexión al Sistema sería más expedita que por la Subestación Calama, ya que, está fue concebida primariamente para alimentar de electricidad a la ciudad homónima, por lo tanto, si llegase un tendido de alta tensión a la Subestación Calama, se tendría que incurrir en mayores gastos para poder conectarse al Sistema Interconectado del Norte Grande, gastos asociados a una reconversión de flujo entre la conexión Subestación Chuquicamata-Subestación Calama, ya que, el destino final desde el punto de vista económico y siempre fue mejor alternativa la Subestación Chuquicamata.

Para este análisis se consideró un radio de 5 Kilómetros alrededor de la Subestación Chuquicamata como la mejor alternativa de Conexión, de manera que la alternativa que tuviese simplemente el mayor porcentaje al interior de este radio sería la que tuviese la mejor aptitud de conexión (ver Tabla N°20).



TABLA Nº 20

APTITUD AL TRAZADO UTILIZANDO APTITUD DE CONEXIÓN

APTITUD DE CONEXIÓN	APTITUD AL TRAZADO
Porcentaje bajo al interior del radio a Subestación Chuquicamata	Baja Aptitud
Porcentaje alto al interior del radio a Subestación Chuquicamata	Alta Aptitud

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del análisis para todo el trazado para cada una de las tres opciones de trazado fueron los siguientes.

- **Trazado A:**
Se caracteriza por tener 2 Km. (100% de su trazado) por zonas constructivas de Alta Aptitud.
- **Trazado B:**
Se caracteriza por tener 2 Km. (100% de su trazado) por zonas constructivas de Alta Aptitud.
- **Trazado C:**
Se caracteriza por tener 0 Km. (0% de su trazado) por zonas constructivas de Alta Aptitud.

De esta forma la ponderación utilizando la escala de Saaty para el subcriterio Aptitud de Conexión quedó de la siguiente manera.

- **Trazado A:**
Posee un 44,4% de las preferencias locales, considerando sólo la Aptitud Constructiva.



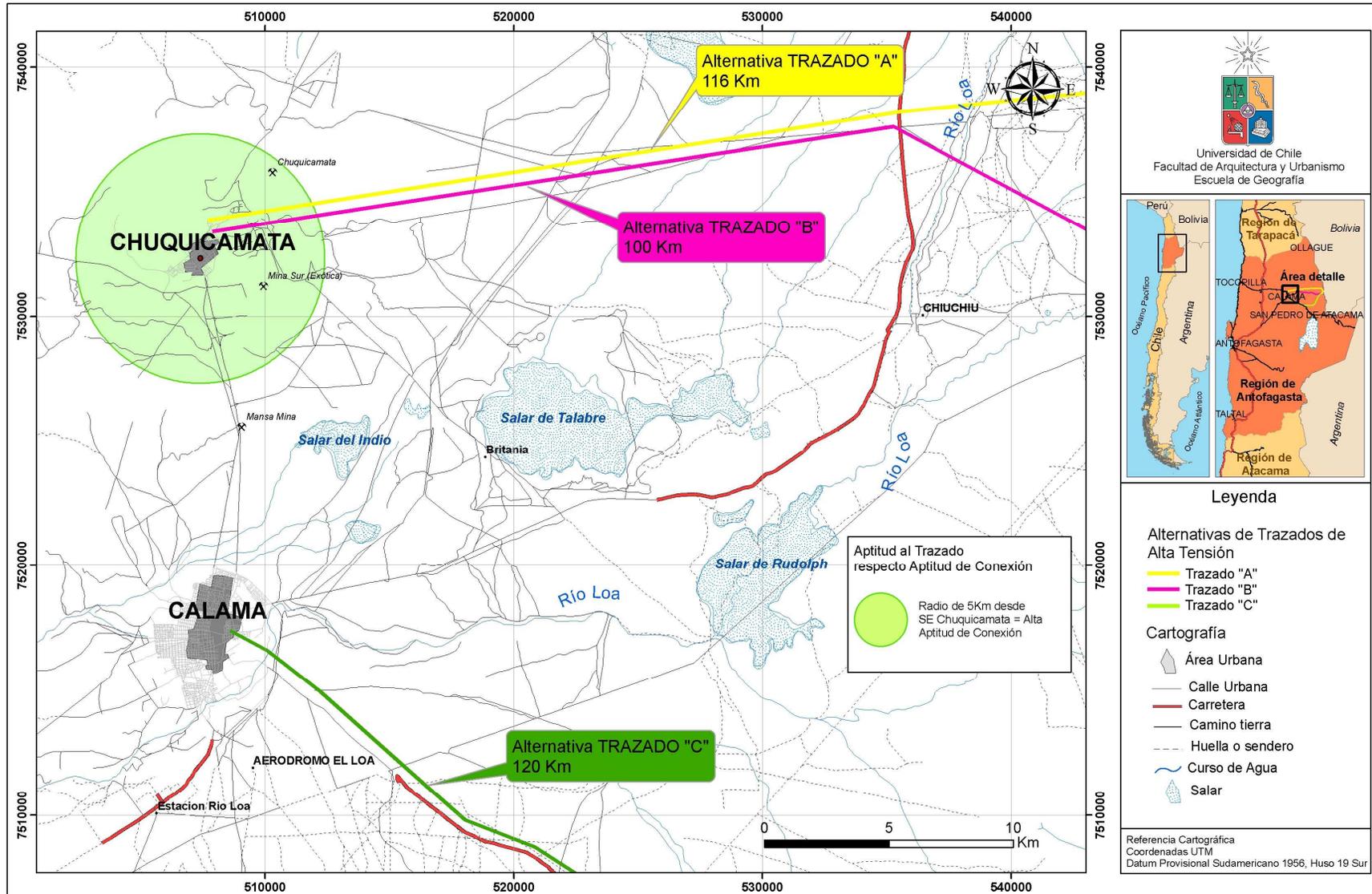
- **Trazado B:**
Posee un 44,4% de las preferencias locales, considerando sólo la Aptitud Constructiva.

- **Trazado C:**
Posee un 11,1% de las preferencias locales, considerando sólo la Aptitud Constructiva.

El resultado puede verse en la siguiente figura (ver Figura N° 20).



FIGURA Nº 20. MAPA DE APTITUD DE TRAZADO RESPECTO A APTITUD DE CONEXIÓN





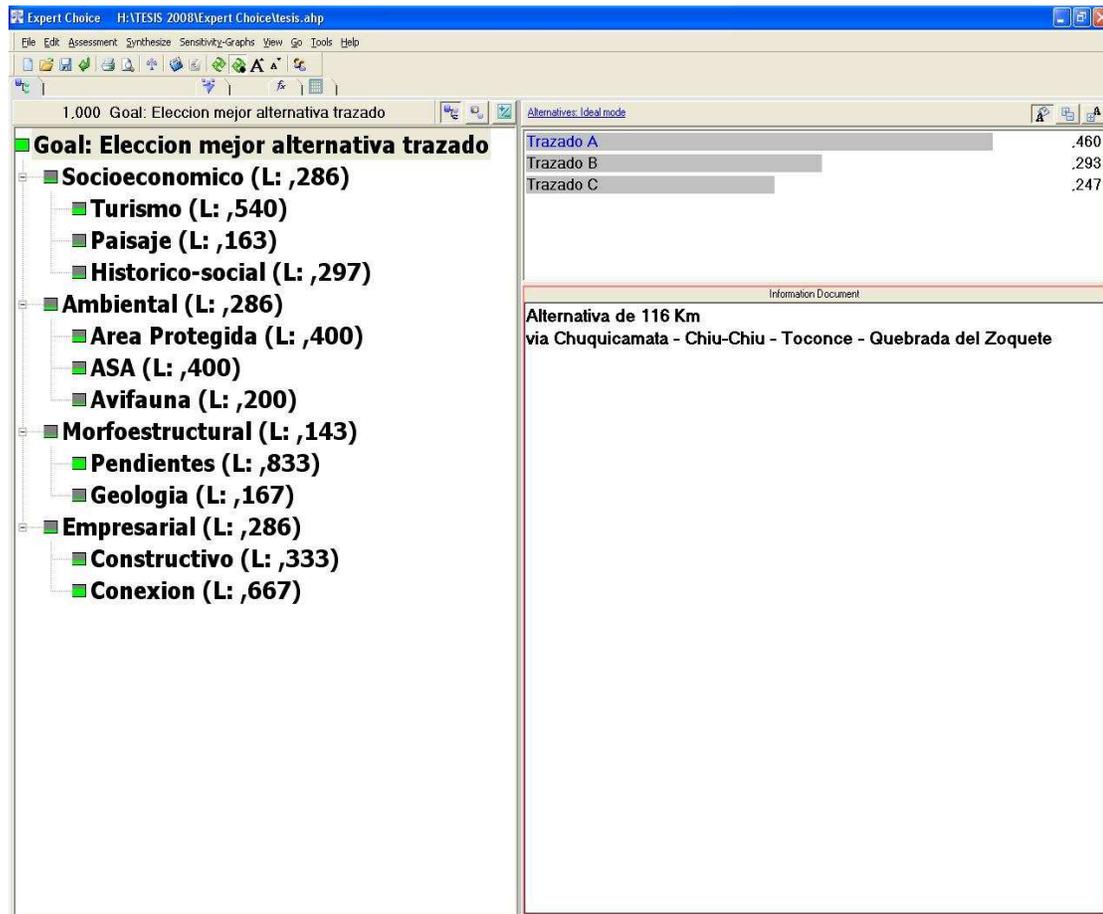
RESULTADO GENERAL DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO

Antes de hablar de los resultados del análisis multicriterio integrado se debe mencionar que gracias a la metodología utilizada (primero al identificar hitos con representación territorial, luego al establecer un grado de aptitud para un trazado eléctrico y finalmente compararlos entre sí) se desarrolló un ejercicio saludable desde el punto de vista del trabajo profesional, ya que con esta metodología se logró conocer desde antes de observar los resultados cuál de las alternativas era aquella que representaba de mejor manera la impronta de conseguir que el mejor trazado eléctrico fuese aquel tanto amigable con el medioambiente y la comunidad como rentable. Esta situación fue posible gracias a que mientras se iba avanzando en establecer parámetros de análisis espacial para este estudio y especialmente cuando se iban conociendo en profundidad, se fueron dilucidando las características del espacio, como la homogeneidad de espacios naturales y con importancia histórico-social. Esta homogeneidad tiene relación con que los “espacios geográficos” son elementos dinámicos, por ejemplo una zona que es protegida -como los acuíferos de las vegas del Tatio- es también una de las de mayor extensión para el pastoreo, de mayor Índice NDVI y de concentración de la Avifauna, todos elementos que analizados por separados indican qué situaciones en particular están pasando, pero en que en su conjunto representan una continuidad espacial en el cual constantemente suceden muchas otras.

Respecto al análisis se puede establecer que una vez que se cuantificaron en unidades de longitud, específicamente kilómetros las distintas categorías de aptitud para un trazado eléctrico (baja, media y alta) y para cada uno de los diez subcriterios, se procedió a ingresar esta comparación en el software *Expert Choice*, donde se realizó el juicio de la escala elaborada por Saaty, pero ahora con resultados claramente más objetivos. Así se conoció el resultado ponderado para las tres alternativas, incluyendo el análisis de los diez subcriterios (ver figura N°21 y 22).



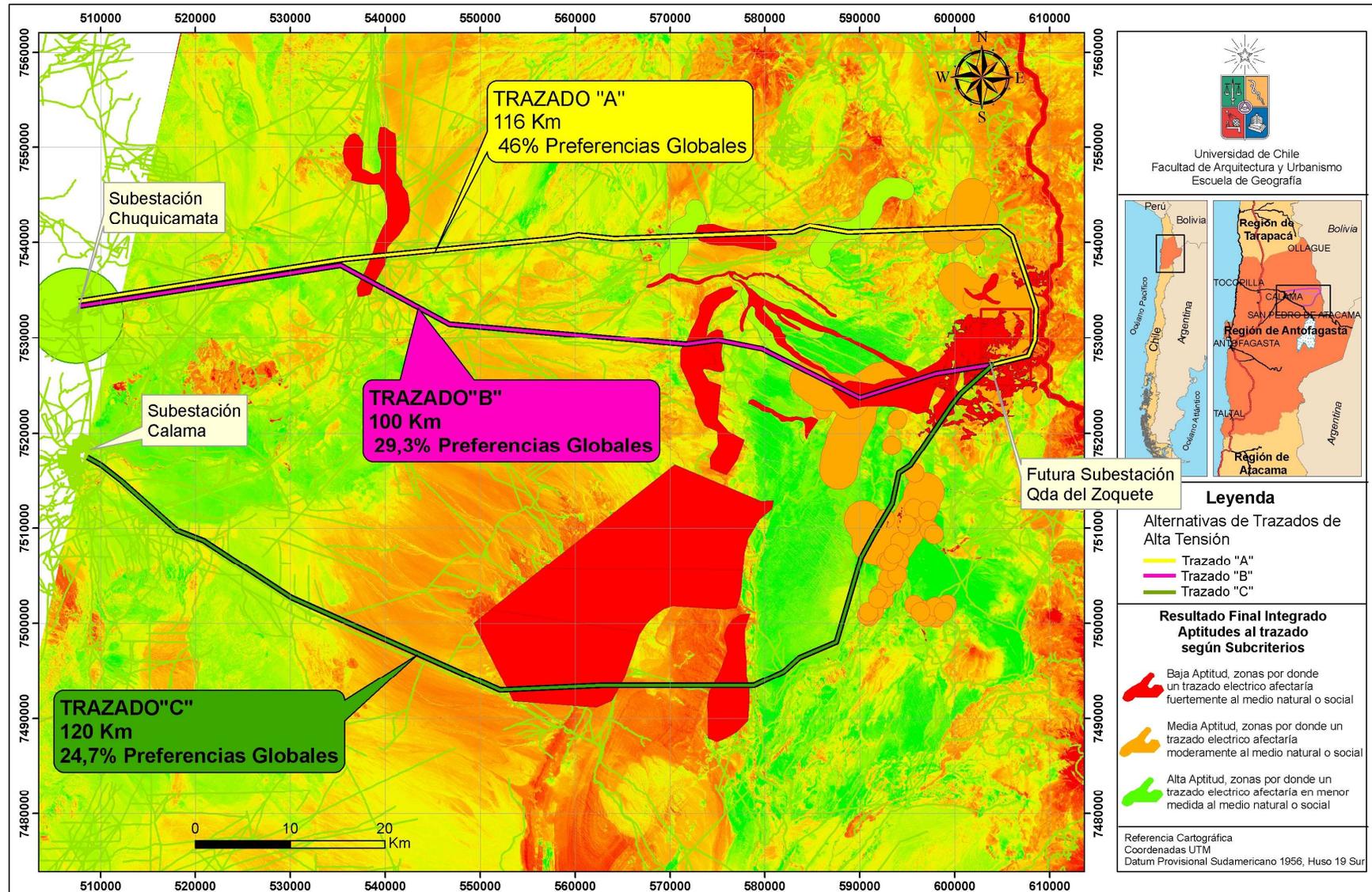
Figura nº 21: Análisis al interior del software *Expert Choice*



Por otra parte la ayuda cartográfica fue significativa, ya que ayudó a comprender la **real** relevancia espacial de un determinado tema. Por ejemplo, al ingresar datos socioeconómicos *a priori* se pensó que serían variables de gran extensión en hectáreas, pero por lo pequeña en número de la población que habita la zona y dado que su intervención espacial no ha sido expansionista ni difusionista el resultado fue exactamente el contrario. Quizás la única representación social de gran impacto territorial es la actividad del pastoreo, que cada día va disminuyendo y perdiendo relevancia.



FIGURA Nº 22. MAPA DE RESULTADOS DE CRITERIOS





Teniendo entonces presente los resultados locales y globales de los criterios y subcriterios descritos se procedió a obtener el resultado final respecto de cuál debiese ser el trazado que resultase más favorable con el sistema físico-Morfoestructural y amigable con el medioambiente y la comunidad⁴⁸.

Al tener la ponderación e cada criterio y subcriterio, el resultado de este análisis fue el siguiente (ver Tabla N°21):

TABLA N° 21
GRADO DE RELEVANCIA FINAL

TRAZADO	GRADO DE RELEVANCIA
A	46%
B	29,3%
C	24,7%

Fuente: Elaboración propia

En este caso el trazado que resulta con mayor relevancia o importancia es el trazado A, que concentra el 46% de las preferencias de los objetivos planteados, lo que quiere decir que es el trazado que en ponderación global de los diez subcriterios y cuatro criterios globales, reúne en promedio los mejores indicadores en promedio para todos ellos, con lo que podemos afirmar que este sería el trazado más “sustentable” respecto a las otras alternativas también planteadas.

⁴⁸ Ver Anexo N° 12.



IV

CONCLUSIONES

“El trabajo ayuda siempre, puesto que trabajar no es realizar lo que uno imaginaba, sino descubrir lo que uno tiene dentro”

Boris Leonídovich Pasternak

A la luz de los resultados obtenidos del análisis multicriterio para discriminar entre los distintos ítems analizados y en particular de los resultados obtenidos del análisis detallado de cada uno de los subcriterios involucrados, podemos afirmar que el estudio cumplió con los objetivos planteados.

En primer lugar al plantearse la necesidad de establecer criterios relevantes de discriminación espacial desde los puntos de vista morfoestructural, ambiental, socioeconómico y empresarial que sirviesen para definir unidades homogéneas espaciales para proceder luego a su discriminación, en este sentido se cumplió el objetivo, en cuanto gracias al apoyo de expertos y la valiosa cooperación del equipo de trabajo de la división de medioambiente y responsabilidad social de ENAP-SIPETROL y a la división de Medioambiente y Permiting de la Empresa Nacional de Geotermia, se pudo llegar a un consenso en definir estas variables de discriminación espacial, lo que permitió primero definir las áreas precisas de interés para este estudio en particular (o polígonos de estudio), ya que, por ejemplo, definir un área de interés turístico o una área de interés ecológico es un ejercicio que tiene una fuerte componente de subjetividad y entre más variado y heterogéneo el abanico de profesionales involucrados en este ejercicio, mucho mejor los resultados y se transforman en más objetivos.

En segundo lugar, cuando se planteó el objetivo de encontrar la mejor alternativa de trazado, desde el punto de vista de la sustentabilidad del proyecto, una vez que se llegó a la obtención de los pesos para cada subcriterio de este árbol, se puede decir que el resultado final de este árbol cuenta con cierto grado de correspondencia entre la intención de que el estudio global sea considerado como sustentable y los indicadores y variables que sirvieron para discriminar cada uno de



los distintos niveles de aptitud para cada uno de ellos. Esta correspondencia entre la intención de realizar un estudio de carácter sustentable y la indicación de que un conjunto de criterios puede dar esa condición a un estudio, es una observación que solo puede ser observada al término de este análisis.

Ahora bien cuando se planteó la necesidad de llegar a una respuesta puntual para el caso de definir cuál trazado eléctrico sería mas amigable con el medioambiente y la comunidad, en plena armonía con el propósito de este estudio, para este estudio se concluye claramente que el **Trazado A**, vía Chuquicamata-Chiu.Chiu- Toconce -Quebrada del Zoquete, es aquel que presentaría un **46% de preferencias globales** en desmedro del trazado B con un 29,3% y el C con un 24,7% de importancias o relevancias. Cabe aquí señalar que esta respuesta al dilema planteado **no es absoluta**, ya que está formulada para un caso claramente acotado a las cuatro áreas de interés del autor (morfoestructural / ambiental / socioeconómico / empresarial) y no representan bajo ninguna condición una verdad absoluta, ya que, este tipo de Análisis puede considerar estas u otras variables consideradas más relevante en otras circunstancias y por otros autores. Para este ejercicio profesional, se cumplen ampliamente las expectativas planteadas, ya que, según las condiciones de solicitud de criterios planteada en un principio se logró obtener una alternativa que reuniese la mayor cantidad de condiciones espaciales y territoriales para absorber un proyecto de ingeniera, condiciones espaciales tan disímiles como el turismo y las áreas sensitivas ambientales, por ejemplo.

En tercer lugar, en cuanto a la proposición de una metodología de análisis, se cumple con este objetivo en cuanto, más que depender de una estructura rígida, este estudio acepta la flexibilidad de incorporar variables muy distintas pero que pueden ser procesadas fácilmente cuando se tiene una interrogante con estas características (una interrogante con dispares focos de análisis). Así la metodología multicriterios puede ayudar a las empresas, tanto públicas como privadas, a encontrar respuestas a difíciles interrogantes mediante el método de discriminación por comparación (uso de la escala de Saaty por ejemplo) y llegar a propuestas claras de solución para futuras discrepancias, ya sean en proyectos de similares características de intervención como un camino, un canal, un acueducto, etc y de similares fines como un proyecto de ingeniería que tuviese una importante carga de



intervención espacial.

En cuarto lugar, por cuanto si la hipótesis de trabajo se cumple o no, se puede señalar que esta sí se cumple, ya que, el resultado encontrado con el mayor porcentaje de “sustentabilidad”⁴⁹ (la alternativa de trazado “A”), si bien es una alternativa que por el solo hecho de ser un proyecto de línea de alta tensión y la construcción de ella misma representa una intromisión al medio biótico (natural y animal), también contiene un fuerte porcentaje de validación que lo hace convertirse en un proyecto que impacta en menor medida (los datos cuantitativos así lo demuestran) a este medio y que cumple con el requisito de ser viable económicamente para los intereses de cualquier empresa interesada en invertir en un proyecto de esas características.

En quinto lugar, una parte esencial del estudio es analizar el resultado y observar sus debilidades. En este caso se observarían aquellas que pertenecen a la otorgación de pesos a los distintos criterios y subcriterios, ya que este tipo de análisis -para ser mayormente validado- requiere de una ardua discusión por parte de quienes toman las decisiones de inversión en proyectos de esta naturaleza. Por otro lado el estudio pudo ser abordado de manera diferente mediante el uso de otro software distinto a *Expert Choice*, ya que existen muchos otros para abordar un proyecto de inversión con alternativas dadas, como NAIADE, software de análisis multicriterio y algunos módulos de *softwares* SIG (Sistema de Información Geográficos) como IDRISI, ENVI 4.3, PCI o el módulo *Spatial Analyst* y *Model Builder* de *ArcGis 9.2*.

Finalmente en sexto y último lugar, podemos decir que es preciso señalar que el estudio aporta ampliamente al quehacer profesional, por cuanto la posibilidad de dar respuestas a dudas relevantes propias de un proyecto de inversión y el uso de metodologías particulares y de plataforma GIS importan la adopción de criterios que apuntan a responder a necesidades de discernimiento y planificación de proyectos concretos.

⁴⁹ Entendiendo como mayor porcentaje de sustentabilidad a aquella alternativa de trazado eléctrico que combine armoniosamente los conceptos de crecimientos económico, equidad social y conservación al medioambiente.



V

RECOMENDACIONES

“Toma consejo en el vino, pero decide después con agua”

Benjamín Franklin

Para una futura adopción de una metodología de análisis multicriterio o de plataforma GIS o de análisis de imágenes satelitales, a la luz del presente estudio y sus conclusiones, se recomienda:

1. **Incluir la variable económica** o de costos al análisis, ya que puede ser la clave o la variable guía a la hora de decidir un proyecto de inversión, ya que, si no se cuenta con este ítem, peligra la validez de un determinado proyecto.
2. **Incorporar la discusión multidisciplinaria e integrada** dentro de alguna etapa de cualquier proyecto en cuestión, por cuanto la discusión entre distintas visiones de una misma problemática ayuda a enfrentar a la manera multicriterio un problema complejo. Lo que es importante para unos no lo es necesariamente para otros y la forma de obtener el acuerdo es valiosa a este tipo de análisis en cuanto el modelo multicriterio se encarga de integrar las distintas visiones y dar respuestas a esas interrogantes complejas.
3. **Manejar la plataforma GIS** puede ser de gran ayuda ya que incluye este tipo de análisis fácilmente y cuenta con módulos que realizan procesamientos multicriterios **pero es necesario procesar la información cartográfica**, puesto que lo procesado no son mapas sino información, requiriendo un filtro para tomar solo los aspectos mas relevantes en un determinado análisis.
4. Se recomienda **manejar también información geográfica** (no limitada a mapas) y analizarlo con la metodología multicriterios, ya que se puede tener la facilidad de descomponer el análisis y realizarlo incluso en forma inversa,



es decir a partir de los resultados esperados para luego buscar los criterios que se necesitan considerar.

5. Por último, creo válido plantear la inquietud que desde este estudio se puede desprender una investigación en detalle para conocer la visión local de quienes viven hoy en la zona inmediata de intervención de este estudio, por cuanto, conocer su visión e integrarla en un estudio en donde converjan visiones empresariales, con gubernamentales, sería de una riqueza muy particular.



BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE JUAN, TORRES HERNÁN, 2005. Aves de los Humedales Altoandinos del Norte de Chile. Unión de Ornitólogos de Chile, Chile.

ANDERSON, ET AL, 1998. Métodos cuantitativos para los negocios. Mc Graw Hill, España.

ARAYA, CAROLINA, 2004. Ordenamiento territorial con fines turísticos en las cuencas de los ríos Puelo y Cochamó, Comuna de Cochamó, Región de Los Lagos. Memoria de título Geografía, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

BACHELET JERIA, MICHELLE, 2005. Programa de gobierno. Santiago, Chile.

BARREDO, JOSE, 1996. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio. RAMA, España.

BONA, PAOLO, 2007. Exploración y Explotación de Recursos Geotérmicos, Introducción General. Managua, Nicaragua.

CASTROVIEJO, MIGUEL, 1991. Practicas para la Planificación de Espacios Naturales. ICONA, España.

CNE, 2006. Guía para la evaluación ambiental ERNC proyectos eólicos.

DE LA ZERDA SUSANA, ROSSELLI LORETA, 2003. Mitigación de colisión de aves contra líneas de transmisión eléctrica con marcaje del cable de guarda, Bogota, Colombia.

FERRANDO, FRANCISCO, 2002. Las Glaciaciones Cuaternarias en Chile: Visión General, Revista Geográfica de Chile Terra Australis, 47: 129-165.



GARCÍA, LUIS. 2004. Aplicación del Análisis Multicriterio en la Evaluación de Impactos Ambientales. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña.

GÓMEZ OREA, DOMINGO, 1994. Ordenación del Territorio. Una aproximación desde el Medio Físico. Instituto Geominero de España.

GÓMEZ RODRIGO, BURQUEZ BEATRIZ, 2002. Metodología de evaluación ambiental para la toma de decisiones en proyectos de inversión.

GLENNON, J.A, PFAFF, RHONDA, 2003. The extraordinary thermal activity of El Tatio Geyser Field, Antofagasta Region, Chile. The GOSA Transactions, Department of Geography, University of California, California, USA.

GUYONNE JANSS, 2003. Aves y tendidos eléctricos; Una revisión. Conserjería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente, Región de Murcia, España.

LAHSEN AZAR, ALFEDRO, 2003. La energía geotérmica: Posibilidades de desarrollo en Chile, Departamento de Geología, Universidad de Chile.

MAINO, VALERIA, 2000. El paisaje en Geografía, Revista Geográfica de Chile Terra Australis, 45: 25-30.

MARTÍNEZ JOSÉ ENRIQUE, 2003. Impacto de las líneas eléctricas en las poblaciones de aves rapaces del parque regional de Sierra Espuña, (Región de Murcia). Conserjería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente, Región de Murcia, España.

PALACIOS MARÍA JESUS, 2003. Tendidos eléctricos en Extremadura: Actuaciones de conservación y protección de la avifauna. Conserjería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente, Región de Murcia, España.

PUYOL, R y FONT, J, 1998. Ordenación y planificación territorial. Madrid. Síntesis. Pp 10-40.



ROCHE HUGO, VEJO CONSTANTINO, 2005. Métodos cuantitativos aplicados a la administración. Material de apoyo Análisis Multicriterio.

ROMERO, HUGO, 2005. Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del monte andino de Santiago de Chile. Revista EURE Vol. XXXI, Nº 94, págs. 97-117, Santiago de Chile.

SAATY, THOMAS, 1996. The Analytic Hierarchy Process. Planning, Priority Setting, Resource Allocation., Pittsburgh: RWS Publications.

SERVICIO NACIONAL DEL TURISMO, 2002. Chile, país turístico. Mesa de trabajo en Agenda de Trabajo 2002-2005. Santiago de Chile. 24pp.

TOKMAN, MARCELO, 2008. Situación y perspectivas para el desarrollo de la Geotermia. Presentación de la Comisión Nacional de Energía en el seminario “Situación y Perspectiva para el desarrollo de la Geotermia en América Latina y El Caribe”, CEPAL, Santiago de Chile.

TRUJILLO, P, 1969. Estudio para el desarrollo geotermico en el norte de Chile- Manifestaciones Termales de El Tatio, Provincia de Antofagasta: CORFO Project Report, Santiago de Chile.

VALDEVENITO, OSCAR, 2002. Ecoturismo en el Valle de Las Trancas. Proyecto de título Ingeniería Forestal, PUC, Santiago de Chile.

VALENCIA. LEONARDO, 2004. Energías renovables no convencionales en Chile, escenario actual y algunas propuestas. Universidad Adolfo Ibáñez.

VASQUEZ, DAVID, 2004. Posibilidades de la energía Geotérmica en Chile, el caso de la Octava región, Biblioteca del Congreso Nacional, Departamento de estudios, extensión y publicaciones.

VIDELA, DAVID, 2008. Protección a la biodiversidad y gran minería en la región de Antofagasta. Memoria de título Geografía. Universidad de Chile. Santiago, Chile.



YOKENS, C. 2001. Evolución espacial del patrón térmico superficial y su relación con las coberturas espaciales de uso de suelo y cobertura vegetal. Memoria para optar al Título de Geógrafo. Escuela de Geografía. Universidad de Chile.



ANEXOS

ANEXO Nº 1 AHP

El análisis multicriterio escogido es el Método Analítico Jerárquico (*Analytical Hierarchy Process, AHP*) método desarrollado por Thomas Saaty en 1996 y que consiste en discriminar mediante ponderaciones de criterios seleccionados una alternativa dentro de un abanico de posibilidades. Este método permite establecer los criterios de decisión, ponderarlos y valorar las distintas alternativas en función de las prioridades que el decisor (o el grupo decisor) establezca para cada criterio. Tiene la particularidad de ser flexible en su concepción y la particularidad de mezclar en un mismo análisis variables cuantitativas con cualitativas. Para que el método utilizado sea ampliamente reconocido debe apoyarse en la visión de distintos expertos ya que, a más opiniones, mejores y más validados serán los resultados del método AHP. Finalmente, la metodología de análisis multicriterio fue apoyada con la utilización del software *Expert Choice*, software especializado que pondera los resultados de comparaciones entre los diversos criterios de una forma rápida y clara.

CLASIFICACIÓN DE TÉCNICAS DE DECISIÓN MULTICRITERIO

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES
Métodos basados en la teoría de la utilidad multicriterio	Se dispone de una información completa sobre preferencias del decisor por tanto es posible construir una función de valor o de utilidad en caso de incertidumbre, que agrega las funciones de valor/utilidad de cada uno de los criterios.	<ul style="list-style-type: none">- Caso discreto: asignación de la función valor/utilidad- Caso continuo: resolver $\max v(z(x)), x \in X$.



Métodos de programación multiobjetivo	Existen múltiples alternativas de tipo continuo, no existen información sobre preferencias del decisor como para construir una función valor. Se plantean funciones objetivo que se deben optimizar.	<ul style="list-style-type: none">- Programación compromiso- Programación por metas
Métodos interactivos	Existe información parcial de las preferencias del decisor. El analista y el decisor interactúan desde una solución inicial para que el decisor evalúe, en base a preferencias, cual introduce al modelo para generar una nueva solución.	<ul style="list-style-type: none">- Método <i>STEM</i>- Método <i>Zionts y Wallenius</i>- Método <i>Geoffrion, Dyer y Feinberg</i>- <i>Surrogate Worth Trade-Off</i>
Métodos discretos	El conjunto X de alternativas es discreto	<ul style="list-style-type: none">- Métodos basados en función de valor:<ul style="list-style-type: none">▪ Suma ponderada▪ Método UTA▪ Programa VISA- Método de las jerarquías analíticas (AHP)- Métodos de sobreclasificación: ELECTRE, PROMETHEE- Método PRES II- TOPSIS- CODASID

KORTHONEN, P. EN GARCÍA, L., 2004.



ANEXO Nº 2 ESCALA DE SAATY

La escala de Saaty consiste en una escala mediante la cual se contrastan distintas situaciones según el siguiente esquema:

ESCALA NUMERICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACION
1	Ambos elementos son de igual importancia.	Ambos elementos contribuyen con la propiedad en igual forma.
3	Moderada importancia de un elemento sobre otro.	La experiencia y el juicio favorecen a un elemento sobre el otro.
5	Fuerte importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es fuertemente favorecido.
7	Muy fuerte importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es muy fuertemente dominante.
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro.	Un elemento es favorecido, por lo menos con un orden de magnitud de diferencia.
2-4-6-8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.	Usados como valores de consenso entre dos juicios.
Incrementos de 0.1	Valores intermedios en la graduación más fina de 0.1.	Usados para graduaciones más finas de los juicios.

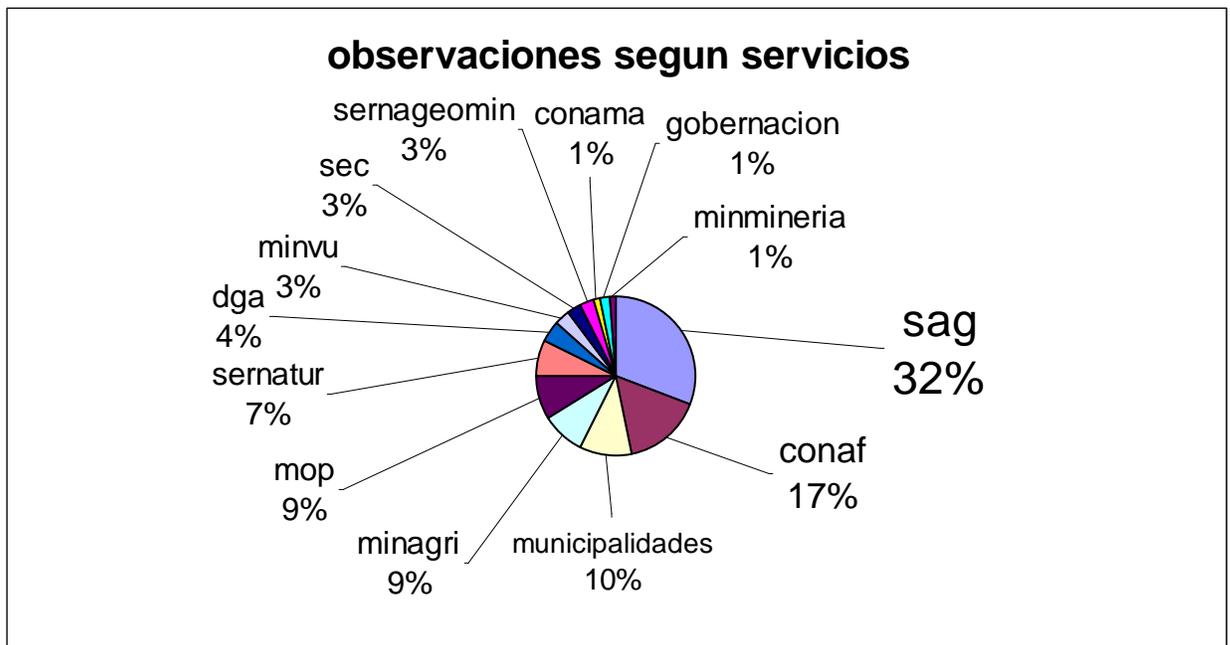
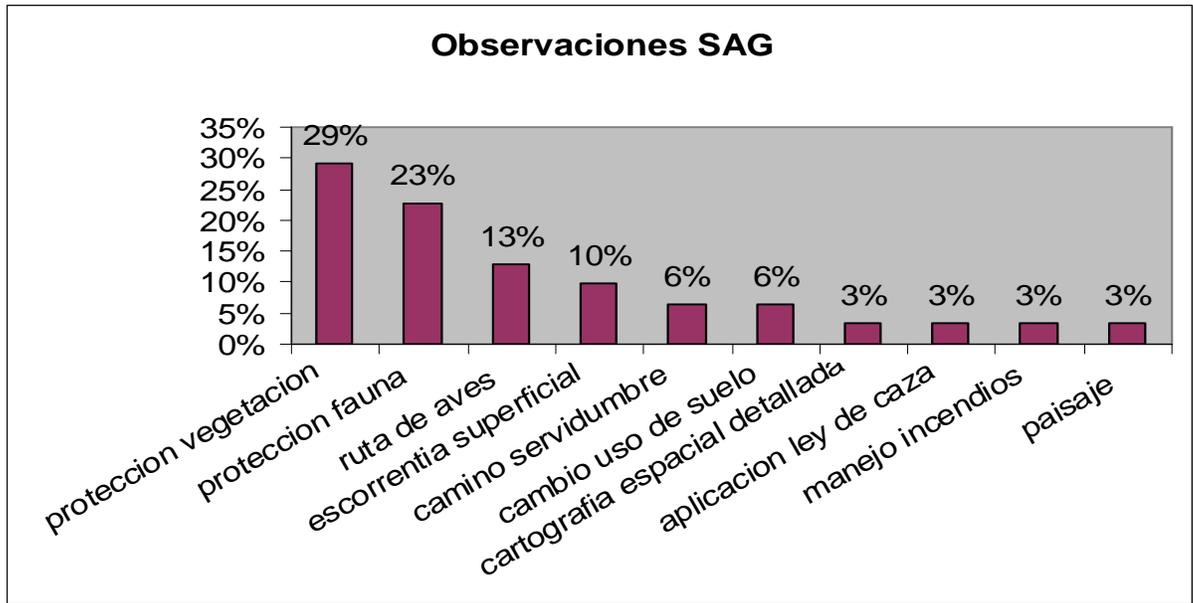
SAATY, 1996.



ANEXO Nº 3
ESTUDIO DE OBSERVACIONES AMBIENTALES EN EL SEIA

Lineas de transmision electrica de alto voltaje (b1)
por un total de 1.464,940 Millones de dolares

total proyectos en seia.cl	158	100%
revisados	70	44%
no revisados	88	56%
obs ambientales	68	65%
obs no ambientales	23	22%
no disponible en linea	13	13%
observaciones totales revisadas	104	100%
De las ambientales		
sag	21	31%
conaf	11	16%
municipalidades	7	10%
minagri	6	9%
mop	6	9%
sernatur	5	7%
dga	3	4%
minvu	2	3%
sec	2	3%
sernageomin	2	3%
conama	1	1%
gobernacion	1	1%
minmineria	1	1%



Observaciones realizadas por el autor entre Mayo y Junio de 2007 durante la práctica profesional de Geografía en la división de Medioambiente y Responsabilidad Social de ENAP-SIPETROL



ANEXO Nº 4 PASOS EN LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO

- a) **Selección de criterios** respecto de los cuales se valorarán las alternativas. Ejemplo: criterios económicos, sociales, eficiencia ambiental u otros.
- b) **Valoración de alternativas** en función de cada uno de los criterios establecidos.
- c) **Asignación de pesos** para determinar la importancia relativa de cada criterio de selección.
- d) **Determinación del método de decisión.** Elección del método entre el conjunto de métodos disponibles.
- e) **Obtención de parámetros** de acuerdo al método seleccionado. Se escogen los parámetros necesarios para su aplicación los que deben ser proporcionados por el decisor.
- f) **Obtención de la información.** Luego de aplicado el método de decisión multicriterio se obtendrá una ordenación de la mejor o las mejores alternativas.
- g) **Proceso de estudio y análisis.**



ANEXO Nº 5 LISTADO DE FORMACIONES GEOLÓGICAS PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Este criterio se analizó mediante la clasificación de formaciones geológicas presentadas en el Mapa Geológico “Carta Geológica Calama” a escala 1: 250.000, realizado por SERNAGEOMIN en 1984.

Mpiel

Formación El Loa, Mioceno Superior-Plioceno Inferior

Conglomerados, areniscas, arcillas, diatomitas, areniscas calcáreas, calizas y tobas brechosas, con intercalaciones de ignimbritas.

Mcl

Formación Calama, Mioceno Medio-Mioceno Superior

Gravas, mal clasificadas y mal estratificadas.

Kla

Formación Arca, Cretácico inferior

Ándesitas, brechas andesíticas, y dacitas

PIQch

Formación Chiu-Chiu, Plioceno Superior-Pleistoceno

Limos, arcillas y diatomitas con flora y fauna fósil continental.

Msc

Ignimbrita Cupo, Mioceno Superior

Toba dacítica de cristales, bien soldada, color gris claro y rosado.

P1

Formación Tuina, Pérmico

Principalmente andesitas y brechas andesíticas.

Mss

Ignimbrita Sifón, Mioceno Superior



Tobas dacíticas y andesíticas de cristales, bien soldados, color pardo-rosado.

Kp

Formación Purilactis, Cretácico

Lutitas, areniscas y conglomerados.

Qal

Depósitos aluviales, gravas, arenas, arcillas y limos

Msp

Ignimbrita Pelón, Mioceno Superior

Toba dacítica de cristales, moderadamente o bien soldado, color gris claro a rosado.

Qvi

Formación Vilama, Pleistoceno

Gravas, arcillositas, areniscas, areniscas calcáreas y calizas, con intercalaciones de diatomitas y calizas volcánicas.

PIQv1

Conjunto de Volcanes II, Plioceno-Pleistoceno

Andesita de piroxeno, andesitas de hornblenda y dacitas de hornblenda y biotita.

Mv

Conjunto de Volcanes I, Mioceno Medio-Mioceno Superior

Andesitas de piroxeno, andesitas de hornblenda y dacitas de hornblenda y biotita y andesitas basálticas, subordinadas.

Plpp,

Sedimentos Pre-Ignimbrita Purificar, Plioceno Inferior

Gravas y arenas gruesas, mal estratificadas.



Tsp

Formación San Pedro, Oligoceno-Mioceno Inferior

Areniscas finas y gruesas, limolitas y arcillositas, con escasas intercalaciones de conglomerados y tobas, con depósitos de sal y yeso.

ANEXO Nº 6 CRITERIO AMBIENTAL

Áreas sensitivas ambientales

Las áreas sensitivas ambientales (ASA) contienen elementos del paisaje naturales, biológicos o culturales que son significativos para el funcionamiento del sistema ambiental en su totalidad y que deben ser protegidos por la planificación ecológica del territorio (ROMERO, 2005). En este sentido cuando se habla de Áreas Sensitivas Ambientales se está hablando de unidades espaciales que gracias a su componente biótica significan un fuerte *input* a la calidad de un sistema ecológico, como los humedales, las zonas de *buffers riparianos* (aquellas franjas vegetales que se desarrollan a lo largo de las riberas de los ríos) y arroyos como consecuencia de mayor humedad en el suelo (ROMERO, 2005), hábitats de la fauna salvaje o las áreas de protección de especies vegetacionales o faunísticas en peligro de extinción.

Para el presente informe se identificó como componentes importantes de las ASA a los *buffers riparianos* de 50m de espesor (ROMERO, 2005), la cambiótica de los boques en el área de estudio, el Índice NDVI y el índice de humedad *Tasseled Cap*.

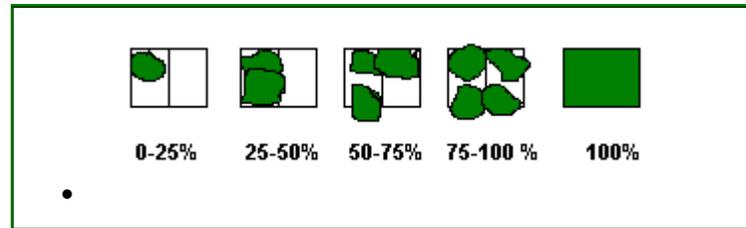


ANEXO Nº 7 EXPLICACIÓN USO ARBOREO

- **Áreas desprovistas de vegetación:** Sectores donde la cobertura vegetal de todas las formaciones vegetales, sumando los tipos biológicos hierbas, arbustos y árboles no alcanza el 25%. Se encuentran en ésta categoría playas, dunas, afloramientos rocosos, terrenos sobre el límite altitudinal de la vegetación, corrida de lavas, escoriales, derrumbes aún no colonizados por la vegetación, salares y cajas de ríos.
- **Áreas urbanas e industriales:** Sectores ocupados por ciudades o instalaciones industriales.
- **Bosque nativo:** Ecosistema en el cual el estrato arbóreo, está constituido por especies nativas, tiene una altura superior a 2 metros y una cobertura de copas mayor al 25%.
- **Bosque achaparrado:** Bosques (KA) adultos que tienen una altura entre 2-8 m. Se caracterizan por su poco crecimiento en altura o crecimiento reptante por las condiciones ambientales desfavorables en que crece (altitud, bajas temperaturas, fuertes vientos, aridez, mal drenaje, alta pedregosidad, suelos delgados, etc.).
- **Bosque nativo adulto:** Bosque primario por lo general heterogéneo en cuanto a su estructura vertical, tamaño de copas, distribución de diámetros y edades, los árboles tienen una altura superior a los 8m. Presenta un estrato arbustivo de densidad variable y eventualmente tiene presencia de un estrato de regeneración.
- **Bosque mixto:** Corresponde a bosques que se presentan mezcladas en alguna proporción las estructuras bosque nativo adulto, bosque nativo renoval, bosques nativo achaparrados.
- **Bosque nativo-plantación:** Mezcla de bosque nativo y especies forestales plantadas en proporciones que fluctúan entre el 33 y 66% para cada una de las categorías que lo constituyen. Generalmente corresponde a plantaciones en que se ha consolidado los renuevos de las especies nativas que anteriormente formaban el bosque.



- **Cobertura:** Proyección de la copa del estrato arbóreo o arbustivo en el suelo, medido en porcentaje y expresado en densidad.



- **Densidad:** Es la expresión simplificada de la cobertura de copas de los tipos biológicos que conforman una determinada formación, expresada en las categorías **densas, semidensas, abiertas y muy abiertas**. Se aplica a las praderas y matorrales, matorral pradera, matorral arborescente, matorral con suculentas, formación de suculentas, bosque nativo y terrenos sobre el límite altitudinal de la vegetación. A modo de ejemplo un **Renoval denso** tiene > 75% de árboles, 0-100% de arbustos y 0-100% de hierbas. Un matorral **semidenso** tiene <25% de árboles, 50-75% de arbustos, entre 0-100% de hierbas.
- **Especie dominante:** Son las especies que ocupan la mayor cobertura de copas del dosel dominante y del dosel intermedio en una formación vegetal. Para que una especie haya sido considerada dominante debe ocupar el menos el 25% de la cobertura de copas. En los bosques pluriestratificados se describieron las especies dominantes de cada estrato. En las praderas las especies dominantes corresponden a hierbas. En el catastro se identifican hasta seis especies dominantes.
- **Estructura:** Corresponde a la arquitectura de la formación vegetal bosque nativo, distinguiéndose las siguientes estructuras: **bosque nativo adulto, bosque nativo renoval, bosque nativo adulto renoval, bosque nativo achaparrado**.
- **Humedales:** Superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad de marea baja no exceda de 6 m. Incluye las siguientes categorías: Vegetación herbácea permanentemente inundada a orillas de ríos, Marismas herbáceas temporalmente inundadas por el mar, ñadis herbáceos y arbustivos, Turbales, Bofedales, Vegas y otros terrenos húmedos.



- **Matorral:** formación vegetal donde el tipo biológico árbol es menor al 10%, el de arbustos puede ser entre 10 a más del 75% y las herbáceas pueden estar entre 0-100%.
- **Matorral arborescente:** Matorral con árboles > 2m de altura en que la cobertura del tipo biológico árbol está entre 10-25%, el tipo biológico arbusto entre 10 a 100% y el tipo biológico herbáceas entre 0-100%.
- **Matorral con suculentas:** Formación vegetal donde la presencia de suculentas es > 5% la cobertura del tipo biológico árboles menor al 10% en las regiones del norte y menor al 25% para el resto del territorio, la cobertura de arbustos puede estar entre 10-100% lo que le dará la denominación de muy abierto, abierto, semidenso o denso.
- **Matorral-pradera:** formación vegetal donde la cobertura del tipo biológico árboles es menor a 10% entre las regiones Primera a Cuarta y menor al 25% en el resto del país; la cobertura del tipo biológico arbusto va ría entre 25-100%, y la cobertura del tipo biológico herbáceo está entre 25-100%.
- **Plantación:** Corresponde a un bosque cuyo estrato arbóreo está dominado por especies exóticas o nativas plantadas. Se distinguen plantaciones y plantaciones jóvenes o recién cosechada: plantación en sus primeros estados de desarrollo o que ha sido recientemente cosechada.
- **Plantación de arbustos:** Plantación con especies forrajeras que se ha hecho principalmente en la Cuarta Región.
- **Praderas:** formación vegetal donde la cobertura en el tipo biológico herbáceas supera el 10% y los tipos biológicos árboles y arbustos tiene una cobertura < 10% para el caso de las estepa altiplánica y la estepa altoandina (para el caso de las praderas anuales, perennes, estepa andina central y estepa patagónica el porcentaje de cobertura del tipo biológico herbáceas supera el 25% y la cobertura de árboles y arbustos es menor al 25%).
- **Renoval:** Corresponde a un bosque nativo secundario originado ya sea de semillas y/o reproducción vegetativa después de una perturbación antrópica o natural



(incendio, tala rasa, derrumbe). En general son homogéneos en su estructura vertical y sus diámetros.

- **Rotación cultivo pradera:** Terrenos donde se practica períodos rotativos de cultivos y producción de empastadas, pueden o no corresponder a terrenos de vocación agrícola.
- **Terrenos de uso agrícolas:** Zonas que al momento de realizar el levantamiento cartográfico estaban siendo utilizadas en agricultura. Incluye: cereales, horticultura, fruticultura. El catastro no entregó subdivisiones en los terrenos agrícolas.

ANEXO Nº 8 RELEVANCIA TURÍSTICA

Para la variable Turismo se analizó una metodología propuesta por el Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR) para identificar sitios turísticos relevantes y distintas categorías que pueden existir en el espacio geográfico que tuviesen implicancias turísticas. Con ello, además, se tomaron dos variables relevantes para caracterizar el grado de desarrollo turístico en la zona, a través de una extracción de la metodología propuesta por Araya. En la siguiente tabla se identifican las variables propuestas por Araya y las escogidas para el presente informe.

VARIABLE	EXPLICACIÓN
Alojamiento	Prestaciones turísticas formales como cabañas, camping, hostel u hoteles.
Servicios turísticos.	Alimentación, servicios turísticos, guías y excursiones.
Actividades turísticas.	Excursiones guiadas, <i>mountain bike</i> , pesca, cabalgatas, arriendo botes.



Circuitos turísticos.	Senderos o caminos guiados
Atractivos turísticos.	Diversas categorías
Organización Población local	Servicios complementarios otorgados por la comunidad local
Operadores y Agencias turísticas.	Servicios turísticos especializados
Tendencia del flujo turístico	Tendencia a aumentar o disminuir

Para el presente estudio se tomaron las variables alojamiento y actividades turísticas y se contrastaron con la realidad observada para el área en cuestión, decidiendo formar dos variables que permitan distinguir diferentes zonas turísticas.

En primer término se identificó una variable en base a la infraestructura disponible para el turismo en cantidad de camas, presencia de hoteles y camping. Como segunda variable se consideró la presencia de actividades turísticas y su grado de consolidación (consolidado, medio-consolidado y no consolidado).

En nuestro caso se ocupó la variable del medio-consolidado a los atractivos turísticos que presentan unas condiciones físicas más aceptables, tal vez conocidas pero no ampliamente difundidas, tomando como referencia a Valdebenito y la oferta de ecoturismo en Las Trancas.

VARIABLE	EXPLICACIÓN
Infraestructura	Se refiere a la cantidad de camas disponibles, hoteles, camping, posibilidad de arriendo de equipos de montaña, restaurantes, minimarket y



	almacenes.
Consolidación turística	Se refiere a las actividades turísticas consolidadas como los deportes de Ski, las cabalgatas a caballo, trekking y turismo termal.

ZONAS DE BUFFERS DE PUNTOS TURÍSTICOS

VARIABLE	DISTANCIA EN METROS	EXPLICACIÓN
Punto "X" de interés turístico.	500	Entorno inmediato de punto de interés.
	1000	Entorno cercano del punto de interés.
	2000	Entorno distante al punto de interés.
	3000	Entorno alejado al punto de interés.



ANEXO Nº 9
LISTADO DE MONUMENTOS NACIONALES EN LAS
COMUNAS DE CALAMA Y SAN PEDRO DE ATACAMA
SEGÚN EL CONSEJO DE MONUMENTOS NACIONALES

NOMBRE	CATEGORÍA	UBICACIÓN	APTITUD HISTÓRICO SOCIAL AL TRAZADO
Radomiro Tomic	Monumento Público	Plaza de Armas de Calama	Baja
Pueblo de Ayquina y campos de cultivo	Zona Típica	74 Km al este de Calama	Baja
Caserío de Conchi Viejo	Zona Típica	12 km al NO de Conchi	Baja
Pueblo San Francisco de Chiu-Chiu	Zona Típica	Pueblo de Chiu-Chiu	Baja
Pukara de Turi	Monumento Arqueológico	Vegas de Turi, 40 km al NE de Chiu-Chiu	Baja
Iglesia de Chiu-Chiu	Monumento Histórico	Plaza de Chiu-Chiu	Baja
Pukara de Lasana	Monumento Histórico	8 Km al N de Chiu-Chiu	Baja
Iglesia de Caspana	Monumento Histórico	Pueblo de Caspana	Baja
Iglesia Colonial de Conchi Viejo	Monumento Histórico	12 Km al NO de Conchi	Baja
Paniri	Monumento Público	San Pedro de Atacama	Baja
Museo Gustavo Le Paige	Monumento Público	San Pedro de Atacama	Baja
Valle de la Luna	Santuario de la Naturaleza	15 Km al NP de San Pedro de Atacama	Baja
Pueblo de San Pedro de Atacama	Zona Típica	98 Km al interior de Calama	Baja
Aldea de Tulor	Monumento Arqueológico	San Pedro de Atacama	Baja
Sitio de Larache	Monumento Arqueológico	San Pedro de Atacama	Baja
Tambo de Catarpe	Monumento Arqueológico	8 Km de San Pedro de Atacama	Baja
Iglesia de San Pedro de Atacama	Monumento Histórico	Plaza San Pedro de Atacama	Baja



Campanario de Toconao	Monumento Histórico	Pueblo de Toconao	Baja
Ruinas Capilla Misiones de Peine Viejo	Monumento Histórico	Pueblo de Peine	Baja
Pueblo antiguo de Peine	Monumento Histórico	102 Kms al S de San Pedro de Atacama	Baja
Pukara de Quitar	Monumento Histórico	3 Km al NE de San Pedro de Atacama	Baja
Tambo Incaico de Peine	Monumento Histórico	Pueblo de Peine	Baja