

INFORME EJECUTIVO

ETAPA 2: ETAPA DE CIERRE DE ESTUDIO

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD CONSTRUCCIÓN RUTA B-207 SECTOR. RÍO GRANDE – MACHUCA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

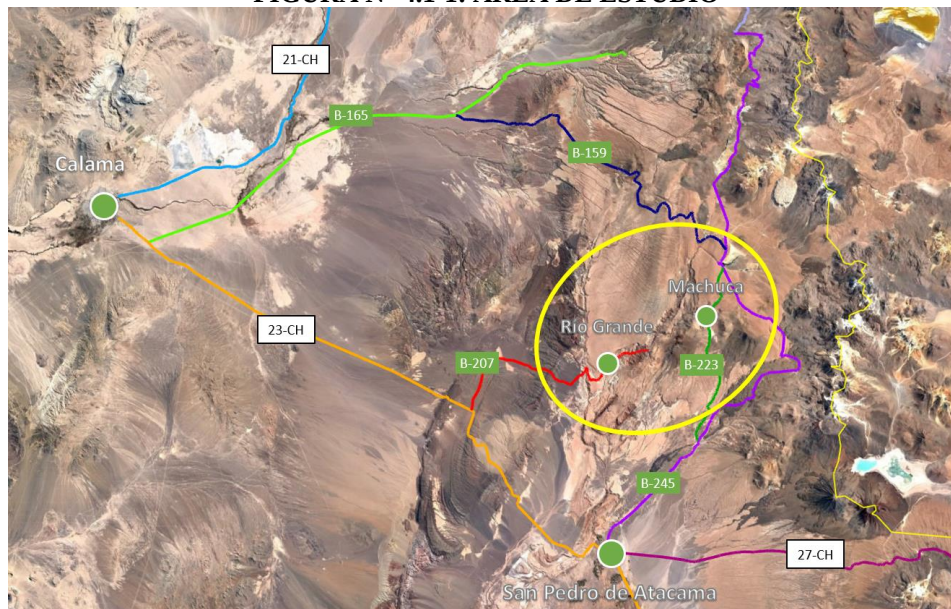
ÍNDICE GENERAL

1.	PRESENTACIÓN	1
2.	OBJETIVOS	1
3.	AJUSTE METODOLÓGICO	1
4.	ETAPA 2: ETAPA DE CIERRE DE ESTUDIO	2
4.1	DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE.....	2
4.2	DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ACTIVIDADES	5
4.2.1	<i>Antecedentes Demográficos.....</i>	5
4.2.2	<i>Agricultura.....</i>	5
4.2.3	<i>Turismo</i>	6
4.3	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL, TERRITORIAL Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA	7
4.3.1	<i>Medio Ambiente y Territorio</i>	7
4.3.2	<i>Participación Ciudadana.....</i>	10
4.3.3	<i>Evaluación de Aplicabilidad de Consulta Indígena</i>	10
4.4	ESTUDIO PRELIMINAR DE ALTERNATIVAS	11
4.5	DESARROLLO DE ALTERNATIVAS PRELIMINARES.....	13
4.6	PROYECCIÓN DE DEMANDA	15
4.7	ESTIMACIÓN DE DEMANDA	17
4.8	EVALUACIÓN PRELIMINAR DE ALTERNATIVAS	20
4.8.1	<i>Evaluación Social</i>	20
4.8.2	<i>Medio Ambiente y Territorio</i>	21
4.8.3	<i>Evaluación Multicriterio</i>	23

1. PRESENTACIÓN

En el marco del “**Estudio de Prefactibilidad Construcción Ruta B-207 Sector. Río Grande – Machuca, Región de Antofagasta**”, la Dirección de Vialidad a través del Departamento de Planes de Infraestructura Vial ha encargado a CIS Asociados Consultores en Transportes S.A. el estudio cuyo objetivo es proponer alternativas para una conexión vial permanente entre las localidades de Río Grande, accesible por la ruta B-207 desde Calama y San Pedro de Atacama, y Machuca, accesible por la ruta B-245/B-223 desde San Pedro de Atacama.

FIGURA N° 4.1-1: ÁREA DE ESTUDIO



Fuente: Elaboración propia

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del estudio de preinversión es determinar la conveniencia técnica, económica, social, territorial y ambiental de construir una conexión vial permanente entre las localidades de Río Grande y Machuca, incorporando esta zona al desarrollo de la comuna de San Pedro Atacama y la provincia del Loa de la Región de Antofagasta.

Se deben formular, analizar y evaluar alternativas de conexión vial entre las localidades de Río Grande y Machuca, lo que mejorará la conectividad de Machuca, facilitará el desarrollo productivo en los valles aledaños y configurará un circuito turístico vinculado a los atractivos de El Tatio y San Pedro de Atacama. Se considera además como objetivos: determinar y analizar la rentabilidad de las alternativas de trazado propuesta desde el punto de vista social y recomendar la ejecución de aquellas que resulten más convenientes; proponer alternativas de solución para la conexión explicitada, de manera de incorporar los sectores aislados existentes en la ruta en estudio; y presentar un anteproyecto de ingeniería, a nivel escala 1:2000, de la alternativa seleccionada.

3. AJUSTE METODOLÓGICO

En las visitas a terreno desarrolladas como parte de la Etapa 1 del estudio, el proyecto no fue bien recibido por las comunidades que se verían beneficiadas por la conexión, lo cual llevó a hacer una múltiples gestiones por parte de la Subdirección de Desarrollo de la Dirección de Vialidad del MOP, de la Inspección Fiscal del estudio, de la Dirección Regional de Vialidad, de la Municipalidad de San Pedro de Atacama y por el equipo consultor para convencer a las comunidades de que aceptaran el desarrollo del estudio. Estas gestiones culminaron con una carta del alcalde de San Pedro de Atacama, en la cual se confirmó la decisión de la asamblea de la comunidad de Río Grande de no aceptar la ejecución del estudio.

Considerando lo anterior, se determinó que ante la negativa de las comunidades al desarrollo del estudio no será posible realizar los trabajos de terreno en el área de estudio, necesarias para la continuidad del estudio. Ante este escenario, se concluyó que frente a estas condiciones no es posible seguir desarrollando el estudio.

A partir de lo anterior, se llegó a un acuerdo entre la Subdirección de Desarrollo de la Dirección de Vialidad y el Consultor para el desarrollo de un ajuste metodológico con el objetivo de cerrar el estudio con un producto que permita obtener un análisis del territorio y sus requerimientos de conectividad, de modo que a futuro permita evaluar distintas iniciativas de inversión en el área de influencia.

Esta propuesta de ajuste metodológico consideró el desarrollo de diversas tareas incluidas en las Etapas 2 y 3 del estudio, que pudieron ser realizadas en gabinete sin la necesidad de hacer trabajo en terreno, el cual no se pudo hacer debido a la negativa de las comunidades a ingresar a su territorio.

El presente documento corresponde al informe ejecutivo de la Etapa 2: Etapa de Cierre de Estudio, presentándose el reporte de los principales resultados obtenidos durante su desarrollo.

4. ETAPA 2: ETAPA DE CIERRE DE ESTUDIO

4.1 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

El objetivo de esta tarea fue analizar, desde la perspectiva del sistema de transporte, las condiciones de operación en el área de proyecto. Los niveles de flujo que se observan en el área de estudio son el resultado de un equilibrio que se produce entre la demanda por viajes, explicada por la localización de actividades y la necesidad de interacción, y la oferta de infraestructura que permite realizar tales viajes.

En base a los antecedentes recopilados se realizó un análisis de la demanda de viajes en la situación actual. Para este efecto se utilizó información de flujo de los puntos de control del Plan Nacional de Censos, las cuales se desarrollan durante un día de verano, primavera e invierno, en horarios de medición de 12 o 24 horas según sea la importancia del punto de medición.

En el área inmediata al proyecto, destacan los puntos de control PNC-02-048 en la intersección de las rutas 23-CH (Calama – San Pedro de Atacama) y B-207 hacia y desde Río Grande, el puntos PNC-02-053 que se encuentra en la intersección de la ruta 23-CH con la ruta B-247 que se dirige hacia el Valle de la Luna, y el PNC-02-075 que mide el flujo por

la ruta B-245 (San Pedro de Atacama – Termas de Puritama) y el que se desvía por la ruta B-223 que sería representativo del movimiento al poblado de Machuca.

FIGURA N° 4.1-1: PUNTOS DE MEDICIÓN PLAN NACIONAL DE CENSOS



Región	PNC	Ruta
Antofagasta	PNC-02-048	23-CH
	PNC-02-053	23-CH
	PNC-02-075	B-245

FIGURA N° 4.1-2: CRUCE RUTA 23-CH HACIA RÍO GRANDE (PNC-02-048)

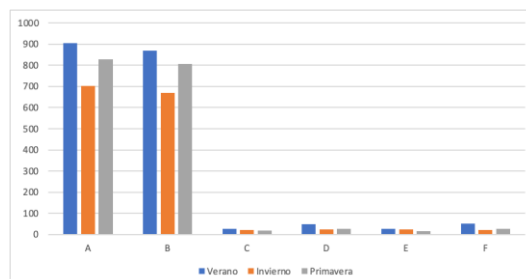
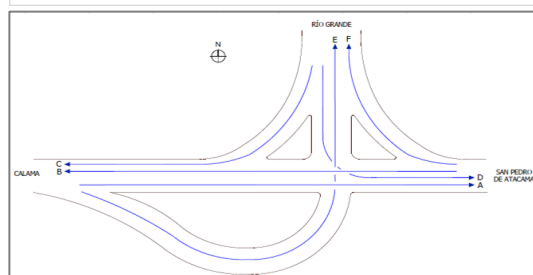
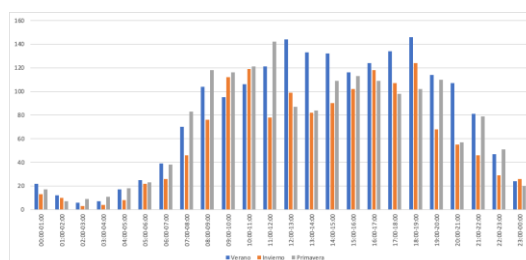
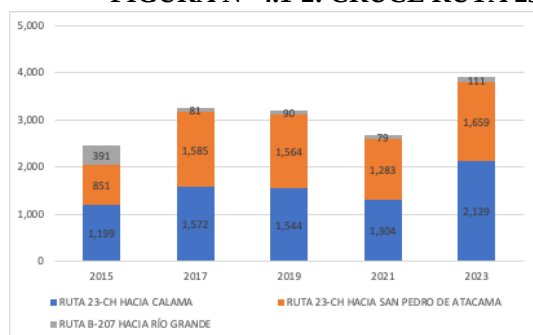


FIGURA N° 4.1-3: CRUCE RUTA 23-CH HACIA VALLE DE LA LUNA (PNC-02-053)

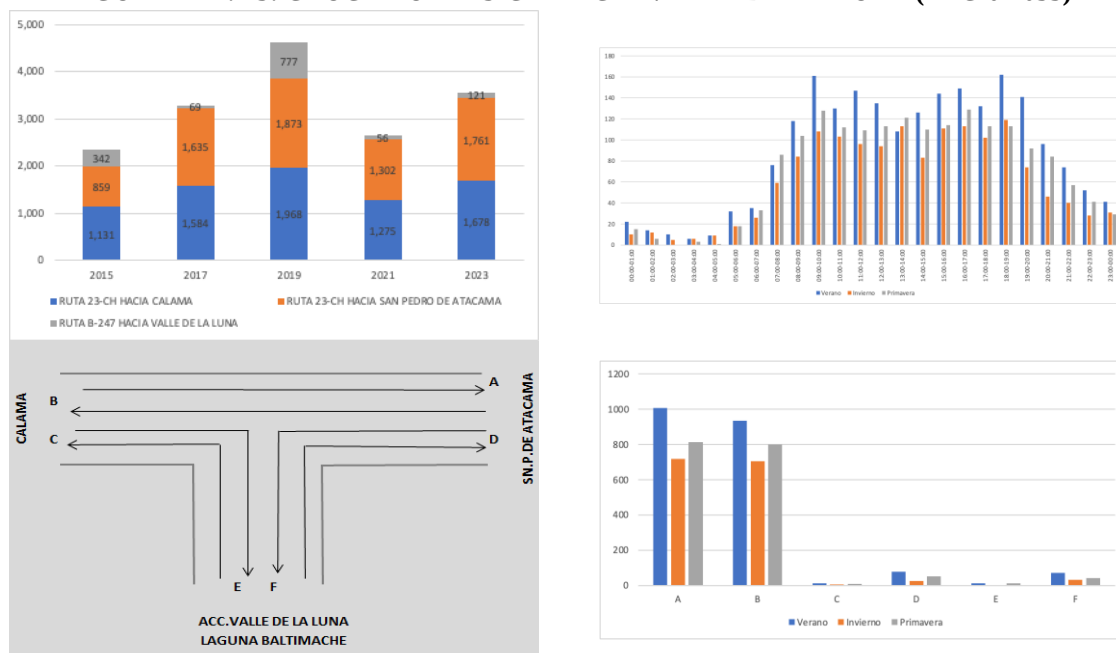
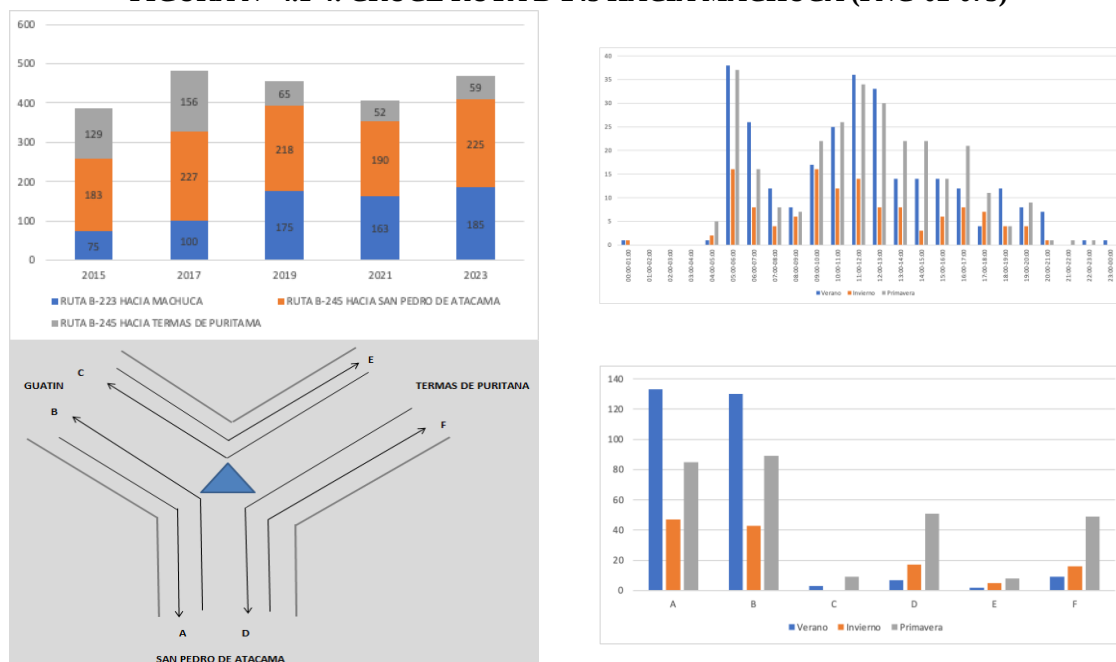


FIGURA N° 4.1-4: CRUCE RUTA B-245 HACIA MACHUCA (PNC-02-075)



Se observa que los principales flujos se registran en los puntos ubicados sobre la Ruta 23-CH, en el sentido entre Calama y San Pedro de Atacama. Por otro lado, se observa una muy baja proporción de flujo sobre las rutas B-245 y B-223 hacia Machuca. También se observa en el PNC-02-048 que la proporción de flujo por la ruta B-207 hacia Río Grande es muy baja en comparación con el flujo entre Calama y San Pedro de Atacama.

4.2 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ACTIVIDADES

4.2.1 Antecedentes Demográficos

La población en la comuna de San Pedro de Atacama se distribuye de manera homogénea entre el área urbana y rural, a diferencia de otras comunas de la provincia donde existe un predominio de habitantes en el área urbana como es el caso de Calama y en el área rural en el caso de Ollagüe.

CUADRO N° 9.2-2: POBLACIÓN SEGÚN ÁREA GEOGRÁFICA Y COMUNAS

Entidad	1992		2002		1992-2002		2017		2002-2017	
	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
Calama	119.692	2.115	136.600	1.802	1,3%	-1,6%	158.487	7.244	1,0%	9,7%
Ollagüe	0	443	0	318	-	-3,3%	0	321	-	0,1%
San Pedro de Atacama	0	2.829	1.938	3.031	-	0,7%	5.524	5.472	7,2%	4,0%
Provincia de El Loa	119.692	5.387	138.538	5.151	1,5%	-0,4%	164.011	13.037	1,1%	6,4%

En la comuna de San Pedro de Atacama existe un 50% de sus habitantes que declaran pertenecer a pueblos originarios. De acuerdo con los datos Censales, la principal etnia en el área corresponde a Licán Antai o Atacameños, que representan el 74% de los que se reconocen pertenecientes a pueblos originarios. En el cuadro que sigue se puede ver cómo ha variado esta población en la comuna en análisis.

En el año 1992 sólo el 2% de la población se reconoce perteneciente a pueblos originarios, mientras que al año 2002 la población de pueblos originarios representa el 61% de los habitantes y al año 2017 concentra el 50% de los habitantes. Se observa también el significativo incremento en la tasa de crecimiento de la población y en particular los pueblos originarios han crecido en un 4,1% promedio anual entre el año 2002 y 2017.

CUADRO N° 9.2-4: POBLACIÓN EN ESTUDIO SEGÚN ETNIA PREDOMINANTE

Etnia	1992	2002	2017	1992-2002	2002-2017
Licán Antai	0	2.862	4.068	n.a.	2,4%
Otros Pueblos Originarios	45	165	1.455	13,9%	15,6%
Resto de la Población	2.784	1.942	5.473	-3,5%	7,2%
Población Total	2.829	4.969	10.996	5,8%	5,4%

4.2.2 Agricultura

Se observa de acuerdo al número de ocupados por rubro económico, que la principal actividad productiva en la comuna corresponde a Alojamiento y Alimentación; donde se concentra más de la mitad de los trabajadores. La segunda actividad productiva que se observa significativa en el área de estudio corresponde al comercio. El comercio, alojamiento y alimentación son rubros asociados al turismo y son los que congregan al mayor porcentaje de ocupados en San Pedro de Atacama.

CUADRO N° 9.4-1: NÚMERO DE TRABAJADORES SEGÚN OCUPACIÓN, AÑO 2019

Rubro	Total Ocupados	Participación
Agropecuario	1	0,0%
Minero	0	0,0%
Ind. Manufacturera	56	2,0%
Electricidad, gas, agua	82	3,0%
Construcción	201	7,4%
Comercio	320	11,7%
Transporte y Almacenamiento	88	3,2%
Alojamiento y alimentación	1.406	51,4%
Inmobiliarias	22	0,8%
Salud y Asistencia Social	466	17,1%
Otras actividades	91	3,3%

La agricultura en la comuna de San Pedro de Atacama, corresponde a explotaciones productivas de subsistencia o de autoconsumo que abastece de productos para la alimentación familiar. A pesar de la disminución de la superficie de explotación, la agricultura persiste debido al fuerte arraigo cultural con los ritos a la tierra, fertilidad, etc. En el cuadro que sigue se puede ver cómo ha evolucionado la superficie cultivable en la comuna de San Pedro de Atacama, con una caída de un 4,3% promedio anual. Sigue siendo el principal cultivo el forraje destinado a animales que representa el 68% del total cultivado y las hortalizas han logrado posicionarse en segundo lugar dejando en una tercera posición a los frutales.

En el sector de Río Grande, sus habitantes se dedican en la actualidad al cultivo de maíz, lechuga, ajo, cebolla y papas; así como también a la crianza de ovejas, llamas, aves y cabras, las cuales son comercializadas en su mayoría en Calama. Existe fabricación de textiles y artesanía en menor grado.

4.2.3 Turismo

La localidad de San Pedro de Atacama, que corresponde a la capital comunal es conocida como la capital arqueológica de Chile, por lo cual atrae un significativo número de turistas tanto nacionales como extranjeros.

En la comuna de San Pedro de Atacama se identifican según registro de Sernatur, un total de 86 atractivos turísticos que varían según jerarquía. El 47% de ellos corresponden a jerarquía regional, el 32% poseen jerarquía nacional, 7% jerarquía internacional y el 14% restante poseen jerarquía local.

A continuación se presentan los atractivos de jerarquía internacional y aquellos que inciden en el área de estudio.

CUADRO N° 9.4-3: ATRACTIVOS TURÍSTICOS SAN PEDRO DE ATACAMA Y ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA

Nombre de Atractivo	Tipo de atractivo	Jerarquía	Comuna
Salar de Atacama	Sitio Natural	Internac.	Sn. Pedro de Atacama
Pukara de Quitor	Ruina o lugar arqueológico	Internac.	Sn. Pedro de Atacama
Volcán Licancabur	Sitio Natural	Internac.	Sn. Pedro de Atacama
Pueblo de San Pedro de Atacama	Pueblo	Internac.	Sn. Pedro de Atacama
Valle de la luna	Sitio Natural	Internac.	Sn. Pedro de Atacama

Nombre de Atractivo	Tipo de atractivo	Jerarquía	Comuna
Museo Arqueológico Padre Gustavo Le Paige	Museo	Internac.	Sn. Pedro de Atacama
Geysers del Tatio	Termas	Internac.	Calama
Fiesta Religiosa de San Santiago de Río Grande	Evento Misceláneo	Local	Sn. Pedro de Atacama
Machuca	Pueblo	Local	Sn. Pedro de Atacama
Río Grande	Pueblo	Regional	Sn. Pedro de Atacama

En la Cordillera de Los Andes sobre los 4.000 msnm se encuentra la meseta andina conocida como altiplano, sector de topografía plana con algunas profundas quebradas, donde destacan numerosos conos volcánicos, caracterizados por la presencia de bofedales, en donde se desarrolla abundante vegetación. Es en este sector donde se encuentran los poblados de Machuca y Río Grande, los cuales se conectan por una quebrada que bordea el río Machuca y que luego conecta con el río Grande.

Este sendero que comunica ambas entidades era utilizado por pastores y criadores de llamas, para alimentar a sus animales e intercambio de especies entre los antiguos pobladores del sector. A mitad de camino se observan aún vestigios de antiguas aldeas donde existían cultivos en terrazas como es el caso del abandonado caserío de Peñaliri. Es posible visitar el lugar durante todo el año, aunque con mayor precaución en el verano debido al fenómeno climático conocido como el “invierno boliviano” que causa lluvias y clima inestable en el altiplano.

4.3 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL, TERRITORIAL Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA

4.3.1 Medio Ambiente y Territorio

El análisis integral realizado se puede representar a través de áreas homogéneas mediante una cartografía de síntesis que refleja el examen de cada uno de los componentes abordados en esta etapa del estudio, es decir: medio ambiente, territorio, infraestructura, transporte y sistema de actividades.

Se desarrolló una cartografía de síntesis ambiental, que refleja en una primera aproximación el examen de cada uno de los componentes abordados en esta etapa del estudio, lo que se indica a continuación:

- Mapa de Medio Ambiente Físico: Geomorfología, Hidrología y Suelos.
- Mapa del Medio Ambiente Biótico: Áreas Protegidas, Uso de Suelo y Vegetación, así como áreas de restricción ambiental o ecosistemas sensibles.
- Mapa del Medio Ambiente Humano: Asentamientos Humanos, Comunidades y Territorios Indígenas, Uso de Suelo e Instrumentos de Planificación Territorial, Sitios o Monumentos de Protección Oficial y Equipamiento.

FIGURA N° 4.3-1: SÍNTESIS DE CARTOGRAFÍA AMBIENTAL: HUMEDAL MACHUCA

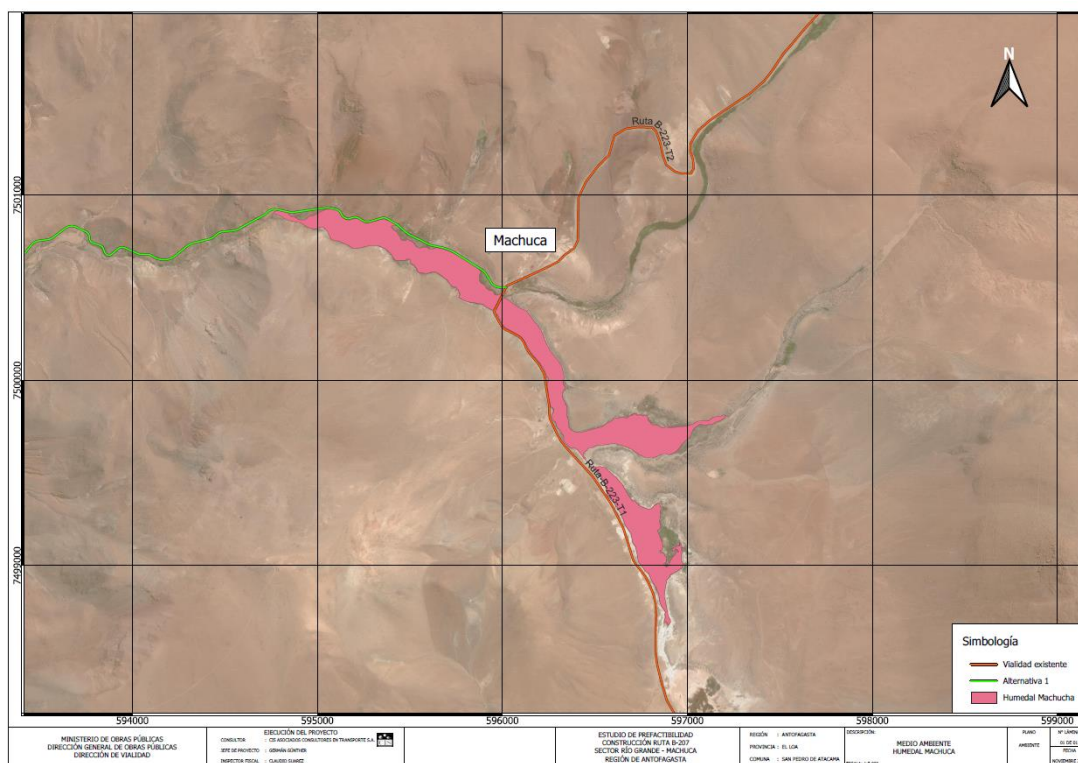


FIGURA N° 4.3-2: SÍNTESIS DE CARTOGRAFÍA AMBIENTAL: ÁREAS AGRÍCOLAS

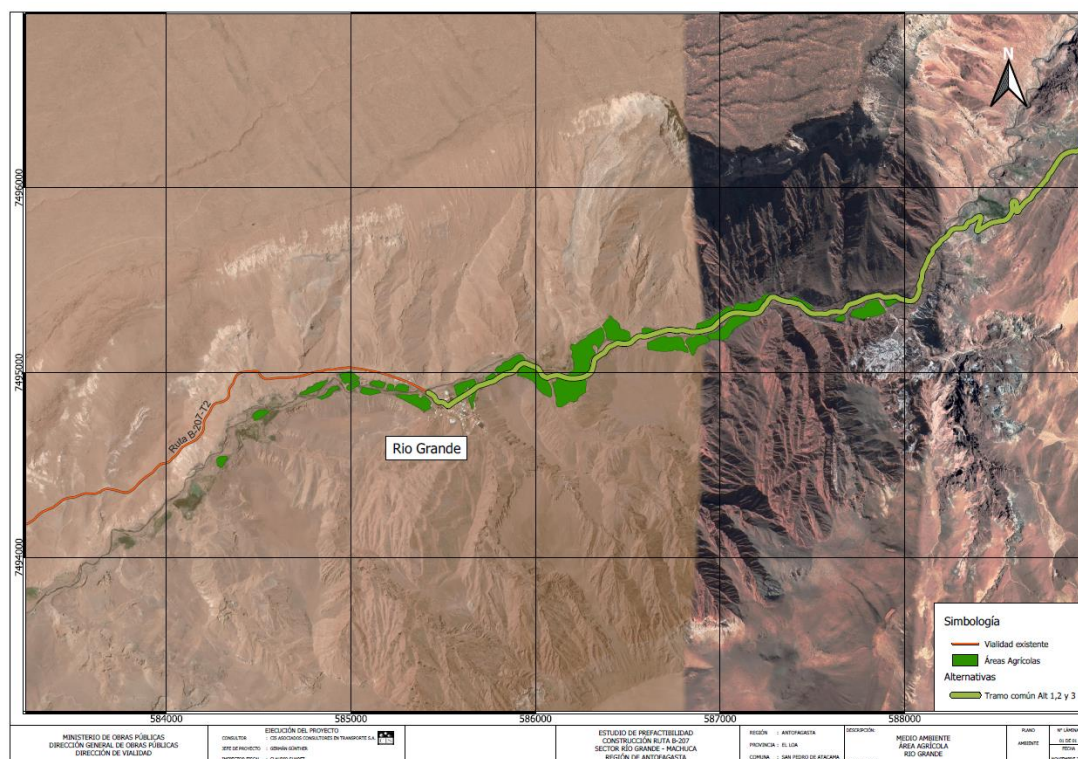
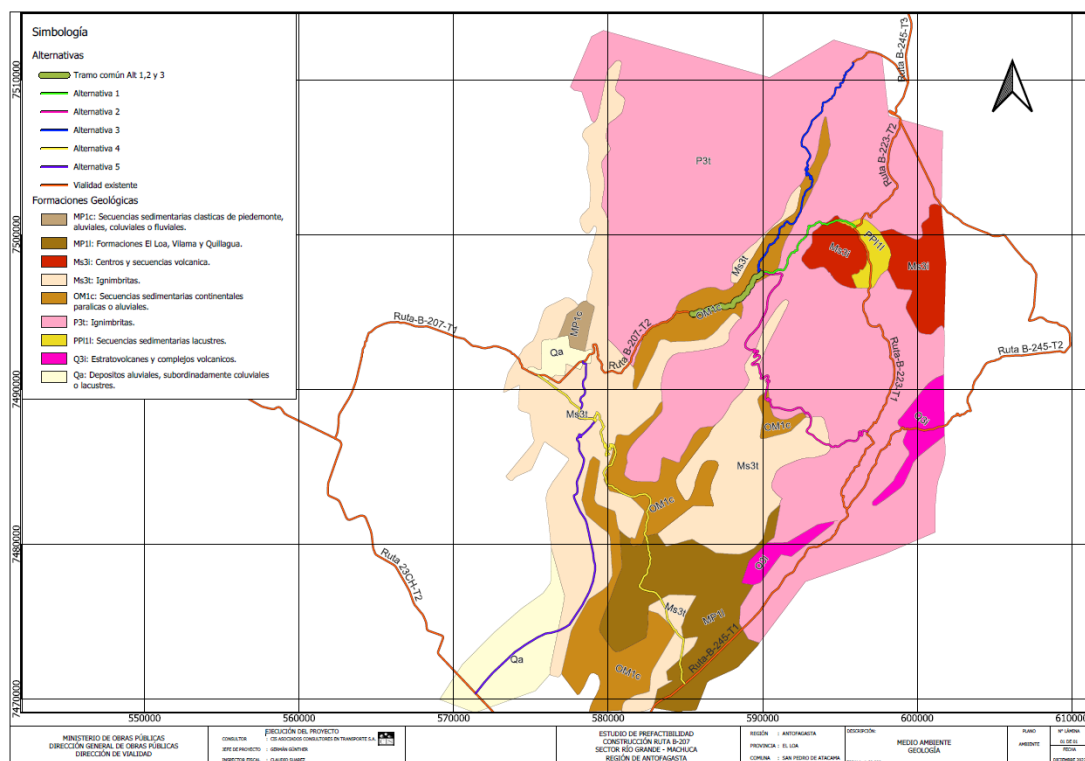


FIGURA N° 4.3-3: SÍNTESIS DE CARTOGRAFÍA DE RIESGOS



La información de las componentes ambientales y territoriales con relación a las 5 alternativas que se presentan en la sección 4.4, permiten sintetizar lo siguiente:

1. El componente ambiental biótico más sensible está vinculado a la Alternativas 1 o trazado original según las Bases. El cual corresponde al bofedal y parte del humedal de Machuca, conformado por una laguna y un vegetación altoandina, cuyos bordes se ubican en los límites del trazado de esta alternativa (Véase Anexo Cartografía Ambiental)
2. Las Alternativas 1, 2 y 5 en el tramo de sus trazados que se encuentran en la quebrada de Río Grande generan impactos ambientales negativos significativos, debido a la presencia de parcelas agrícolas ancestrales ubicadas en posición de fondo de valle y laderas aledañas. En especial, para la localidad de Río Grande, dado que esta actividad es la principal fuente de ingresos de la comunidad de Río Grande (Véase Anexo Cartografía Ambiental)
3. Dada la presencia del importante sitio arqueológico de Yervas Buenas y comunidades indígenas ancestrales, se debe considerar que el entorno de inicio de la Alternativa 5 y a través del trazado de las alternativas, se deberá considerar el potencial encuentro de recursos culturales vinculados a sitios arqueológicos, antropológicos e históricos.
4. Debido a que a través del trazado de las alternativas se deben cruzar quebradas que conforman importantes recursos de agua para las comunidades pobladas aledañas, las intervenciones de sus cauces deberán considerar el no afectar el normal flujo de sus aguas y no alterar sus características hidráulicas, debido a la construcción de badenes y puentes.
5. Por la alta vulnerabilidad de la vegetación nativa de tipo matorrales y hierbas, se deberá considerar su preservación, o cuidado ya que en muchos casos conforman las

áreas de pastoreo del ganado de auquénido y ovino. Además de ser un recurso natural frágil.

6. Dada la morfología y las condiciones climáticas y geológicas, se debe considerar y valorar los episodios relacionados con las lluvias intensa que se producen principalmente en la estación de verano, relacionados con eventos aluvionales desastrosos y movimientos en masa de laderas.

4.3.2 Participación Ciudadana

El proceso de Participación Ciudadana tiene como objetivo proporcionar los antecedentes relevantes para el "Estudio de Prefactibilidad Construcción Ruta B-207 Sector Río Grande – Machuca, Región de Antofagasta". Esto implica informar sobre las características del proyecto, recoger, canalizar e integrar las visiones, intereses y propuestas de los actores relevantes, además de atender las consultas ciudadanas.

Durante las visitas a terreno en la Etapa 1 del estudio, el proyecto no fue bien recibido por las comunidades beneficiadas por la conexión, lo que llevó a múltiples gestiones de diversas entidades, incluyendo la Subdirección de Desarrollo de la Dirección de Vialidad del MOP, la Inspección Fiscal del estudio, la Dirección Regional de Vialidad y la Municipalidad de San Pedro de Atacama, junto con el equipo consultor, para convencer a las comunidades de aceptar el desarrollo del estudio.

Sin embargo, estas gestiones no tuvieron éxito, y se confirmó la decisión de la comunidad de Río Grande de no permitir la ejecución del estudio, según una carta del alcalde de San Pedro de Atacama. En una reunión posterior en la Subdirección de Desarrollo de la Dirección de Vialidad, se determinó que, ante la negativa de las comunidades, no sería posible realizar los trabajos de terreno necesarios para continuar con el estudio, concluyendo que no es posible seguir desarrollándolo en estas condiciones.

4.3.3 Evaluación de Aplicabilidad de Consulta Indígena

Los antecedentes relativos a los criterios de afectación indígena analizados para verificar la pertinencia de una consulta indígena se señalan a continuación:

- i. Existencia de comunidades, asociaciones u otras organizaciones indígenas en el área de influencia de la inversión. **R: Sí**
- ii. ¿La iniciativa generará cambios en las tradiciones, costumbres ancestrales, prácticas religiosas, culturales o espirituales? **R: Sí**
- iii. Existencia de tierras indígenas en el área de influencia, como: tierras saneadas, títulos de dominio en conflicto, reclamaciones, títulos de merced, otras. **R: Sí**
- iv. ¿La iniciativa pasa o está inserta en un área de desarrollo indígena (ADI)? **R: Sí**
- v. ¿Existirán modificaciones a las condiciones de uso y acceso a los recursos naturales? **R: Sí**
- vi. ¿Existirán reasentamientos o alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres? **R: Sí**
- vii. ¿Existirá alteración del patrimonio cultural, como: centros de significación cultural, cementerios, sitios ceremoniales, ¿otros? **R: Sí**
- viii. ¿Existe Trashumancia? **R: Sí**

- ix. ¿Existen Derechos de aprovechamiento de aguas constituidos en el área del proyecto, cuyos titulares sean Comunidades Indígenas? **R: Sí**

4.4 ESTUDIO PRELIMINAR DE ALTERNATIVAS

En la Etapa N°1 del estudio se desarrolló un estudio preliminar de alternativas, en el cual se plantearon 5 alternativas, de las cuales la **Alternativa N°1** responde al objetivo original del estudio, que corresponde a la conexión directa de Río Grande con Machuca a través de la extensión de la Ruta B-207. Debido a los problemas que surgieron ante la negativa de las comunidades al desarrollo del estudio, y a los potenciales problemas ambientales que se identificaron en la primera visita a terreno y que podrían afectar a esta alternativa, se planteó un conjunto de alternativas que cumplen de manera indirecta con los objetivos del estudio.

Se propuso una **Alternativa N°2** hacia el sur de la alternativa inicial, la cual permitiría acortar los tiempos de viaje entre Río Grande hacia San Pedro de Atacama, Machuca y los Geiseres del Tatio. También se propuso una **Alternativa N°3** hacia el norte de la alternativa inicial que permitiría acortar los tiempos de viaje entre Río Grande y los Geiseres del Tatio, y que además permitiría una conexión de manera indirecta hacia Machuca.

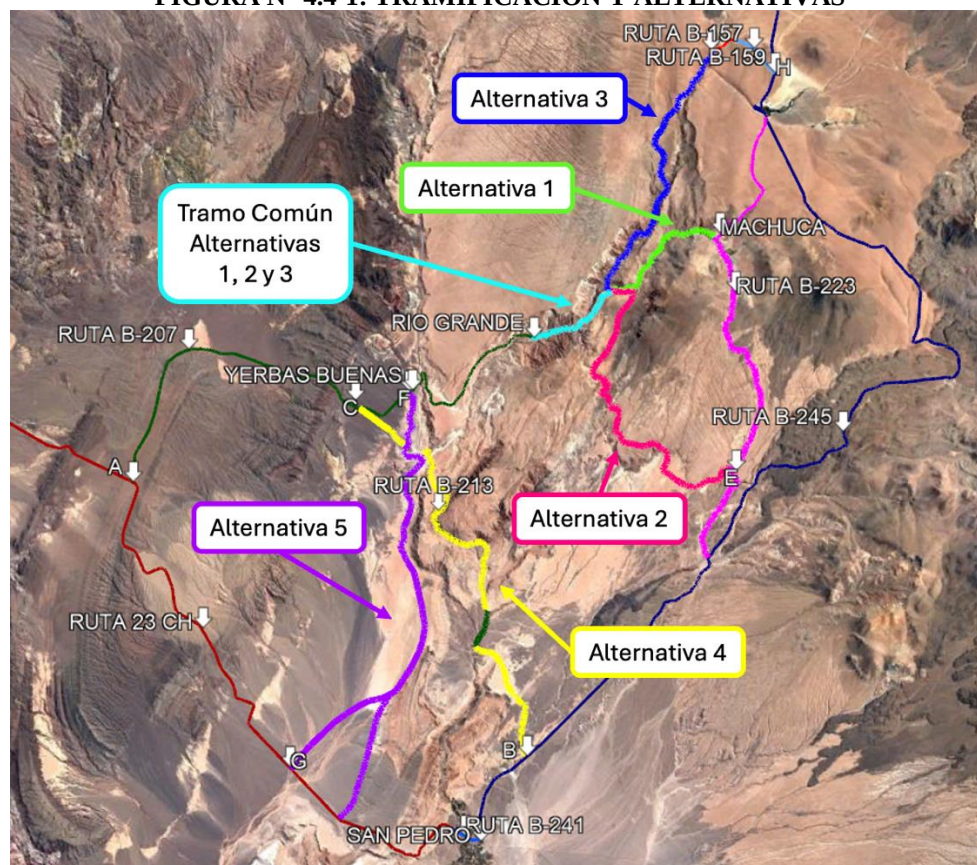
Otra opción que se analizó fue extender el alcance de los objetivos del estudio, y desarrollar alternativas en base a las sugerencias de las comunidades, que manifestaron el deseo de una conexión desde Yervas Buenas con San Pedro de Atacama. El sector de Yervas Buenas se encuentra sobre la ruta B-207 antes de llegar a Río Grande y es un sitio de interés turístico con la presencia de unos petroglifos, y además se observó en terreno un desarrollo de parcelas.

En este caso, hay 2 alternativas adicionales que se propusieron. La **Alternativa N°4**, que corresponde a la consolidación de la ruta B-213, en la cual se encuentra una huella bien marcada salvo en un sector. La dificultad de este trazado es que hay que cruzar una gran quebrada. De ahí aparece la **Alternativa N°5**, que podría ser continuar al poniente de la quebrada hasta unirse al camino a San Pedro de Atacama.

Si bien estas últimas 2 alternativas no cumplen de forma directa con el objetivo principal del estudio, si cumplen con reducir la distancia entre ambas comunidades y fueron presentadas para tener un abanico más grande de opciones y posibles soluciones para el desarrollo del estudio.

El área que se analiza para evaluar la conexión vial entre la localidad de Río Grande y Machuca, comprende el espacio contenido entre San Pedro y Ruta B-159, por el sur y norte respectivamente y entre el inicio de la ruta B-207 a partir de la Ruta 23 CH y la Ruta B-223, por el oeste y este.

FIGURA N° 4.4-1: TRAMIFICACIÓN Y ALTERNATIVAS



Para definir las alternativas, se mencionan a continuación las longitudes totales a recorrer, incluyendo los trayectos dentro de rutas existentes, pero separando la longitud de proyecto o mejora de camino existente, según sea el caso (ambos incluidos como longitud de proyecto).

CUADRO N° 4.4-1: COMPARATIVA DE DISTANCIAS Y PENDIENTES ENTRE ALTERNATIVAS

Alternativas	Distancia Río Grande - Machuca [km]	Distancia Río Grande - San Pedro [km]	Longitud Proyecto [km]	Tramos con pendiente [6%-9%] [m]	Tramos con pendiente >9% [m]
Existente	114,7	70,6	No Aplica	6.643	554
1	15,2	59,9	15,2	864	4.290
2	45,9	59,0	30,4	7.755	5.977
3	43,3	No Aplica	25,9	2.809	5.049
4	85,5	53,4	32,0	2.883	4.512
5	97,8	53,7	28,1	1.760	1.080

Luego del análisis de alternativas propuestas en la Etapa 1 del estudio, se determinó que, además de la **Alternativa N°1**, solamente la **Alternativa N°2** cumplía de alguna forma con los objetivos del estudio, además de incorporar de forma más directa a la comunidad de Guatín entre las comunidades beneficiadas por la conexión. Por esta razón, en las presentaciones que se realizaron a las comunidades durante la serie de reuniones en que se intentó convencerlas de que permitieran la continuidad del desarrollo del estudio solamente se presentaron estas dos alternativas.

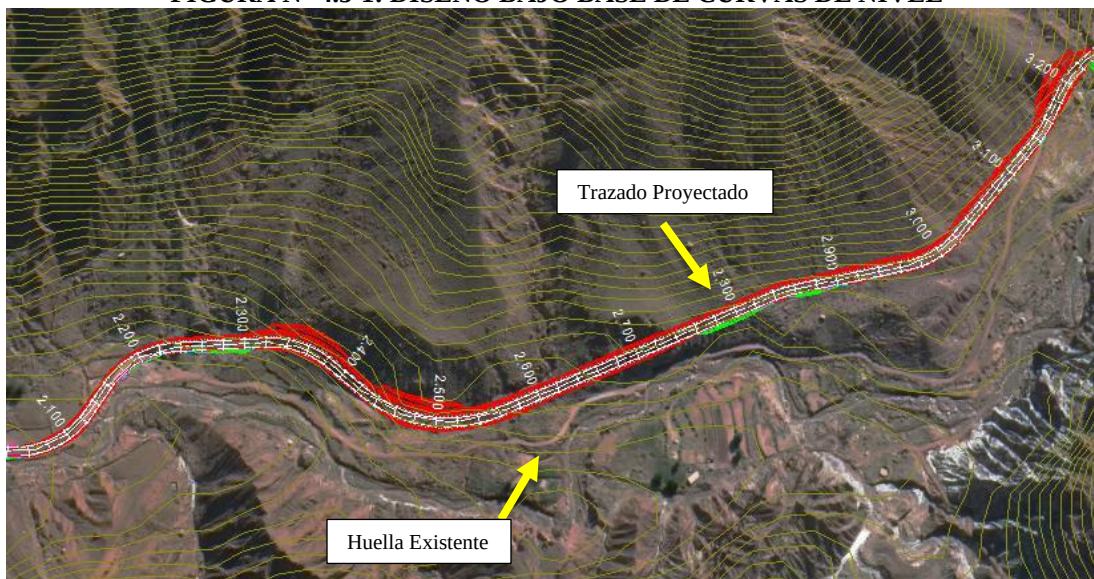
Se consideró que la **Alternativa N°3** solamente beneficiaba una conexión desde Río Grande a los Geiseres del Tatio, que no era de interés para la comunidad. Además, en esta alternativa la distancia entre Río Grande y San Pedro de Atacama era mayor que la actual, lo que no cumple con los deseos de conexión de la comunidad. Por estas razones, esta alternativa fue descartada.

En las otras dos alternativas se determinó que no cumplían realmente con el objetivo del estudio, y era necesario un estudio diferente al actual para ser analizadas en mayor detalle. Sin embargo, debido a que se decidió terminar anticipadamente con el estudio, con el desarrollo de la presente etapa como ajuste metodológico, se decidió extender el análisis y desarrollar la **Alternativa N°5** debido a que corresponde a la alternativa más cercana a las solicitudes de conexión de la comunidad de Río Grande hacia San Pedro de Atacama a través del Llano de la Paciencia. Se decidió descartar la **Alternativa N°4** debido a los problemas para el cruce de quebradas, por lo que se requería una cantidad importante de puentes y estructuras que la inversión fuera muy elevada. Por lo tanto, durante esta etapa solamente se desarrollaron las **alternativas N°1, N°2 y N°5**.

4.5 DESARROLLO DE ALTERNATIVAS PRELIMINARES

A continuación se describe y desarrolla el diseño de las **alternativas N°1, N°2 y N°5** que surgieron en la etapa anterior. Estas alternativas fueron diseñadas con mayor precisión que en la etapa anterior, utilizando una base cartográfica obtenida del Geoservidor SRTM de la NASA. Esto permite ajustar el trazado preliminar con una precisión máxima de 1:5.000. El nivel de detalle se muestra en la figura siguiente.

FIGURA N° 4.5-1: DISEÑO BAJO BASE DE CURVAS DE NIVEL

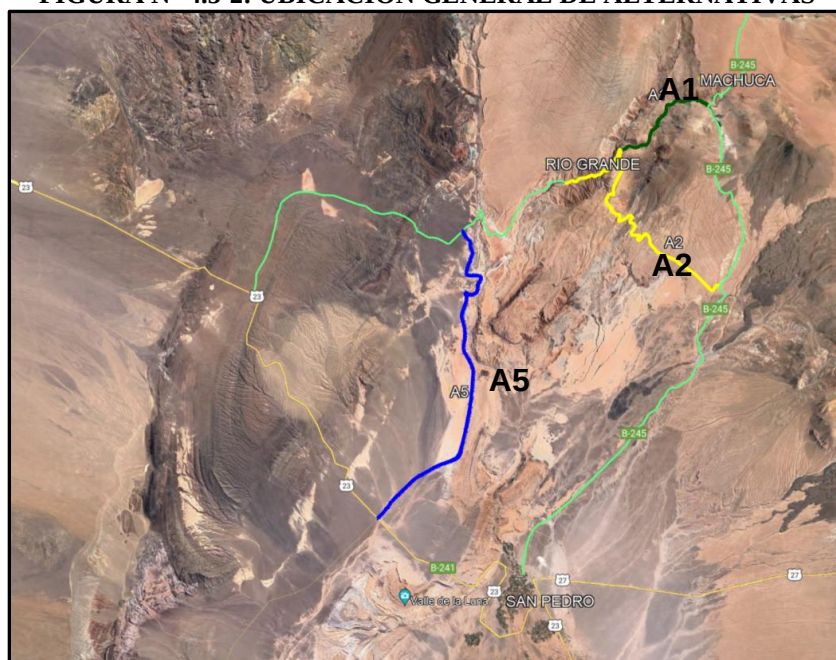


El ajuste del trazado se basó en el modelo de terreno obtenido, pero las singularidades menores no se representaron adecuadamente, lo que afectó la precisión de los valores finales. Se concluyó que se necesitaría una base cartográfica más precisa para mejorar los trazados.

Aunque se lograron mejoras generales en los alineamientos, aún se requiere una mayor precisión para garantizar estándares óptimos, especialmente en el trazado en alzado.

Debido a que las alternativas propuestas para conectar las localidades de Machuca con Río Grande se apoyan en infraestructura vial existente, tales como las rutas B-207, B-245, B-223 y Ruta 23, los trazados nuevos presentan diferencias importantes, tanto en desarrollo como en puntos de inicio y termino. En la siguiente imagen se muestran los trazados definitivos.

FIGURA N° 4.5-2: UBICACIÓN GENERAL DE ALTERNATIVAS



En el siguiente cuadro se indican los kilómetros de vías proyectadas, existentes y el desarrollo total para conectar ambas localidades.

CUADRO 4.5-1: DESARROLLO TOTAL DE ALTERNATIVAS

RECORRIDO ENTRE RÍO GRANDE Y MACHUCA (km)								
RUTA	TRAZADO A1	TRAZADO A2	B-207	TRAZADO A5	Ruta 23	B-245	B-223	TOTAL
ALTERNATIVA 1	14,81						0,14	14,95
ALTERNATIVA 2		24,23					15,74	39,97
ALTERNATIVA 5			12,50	26,90	14,00	22,10	22,38	97,88

Las inversiones se determinaron según las cubiccaciones necesarias para los perfiles proyectados en los ejes implicados. Se realizó una cubicación lineal de los movimientos de tierra basada en el modelo de terreno, los perfiles definidos y las rasantes proyectadas utilizando el software ISTRAM. Dado el carácter montañoso del trazado y los grandes cortes requeridos, se establecieron terrazas para estabilidad en zonas de cortes altos, junto con un 20% de corte en roca. Se incluyeron alcantarillas tipo cajón de 4x4 en las quebradas principales por motivos de estabilidad. Las estructuras se diseñaron según criterios de prediseño, aunque los puentes sobre el río Grande se consideraron de gran longitud para minimizar el impacto ambiental, aunque podrían estar sobredimensionados.

hidrológicamente. Se estimaron los costos de saneamiento longitudinal basados en proyectos similares. En el cuadro siguiente se resumen las inversiones para cada alternativa/trazado.

CUADRO 4.5-2: MONTOS D INVERSIÓN DE ALTERNATIVAS

ALT.	PUENTES Y ESTRUCTURAS	VIALIDAD	SEGURIDAD VIAL	SANEAMIENTO	IMPREVISTOS	EXPROPIACIONES	TOTAL
Nº	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
1	10.499.340.390	36.096.005.418	2.526.720.379	4.077.993.010	10.640.011.840	3.390.034.974	67.230.106.011
2	6.801.569.986	51.356.222.191	3.594.935.553	7.236.201.303	13.797.785.807	3.888.294.432	86.675.009.272
5	1.928.272.278	73.954.376.763	5.176.806.373	2.428.545.029	16.697.600.089	295.235.659	100.480.836.191

Dadas las características y los puntos de conexión de las alternativas, así como el estándar proyectado en cada una, no se puede determinar simplemente por el costo cuál es la mejor opción. Cada una sirve a propósitos diferentes, pero todas permiten una conectividad indirecta o semidirecta entre Río Grande y Machuca. Se ha realizado un análisis de estos trazados para estimar inversiones y factibilidades, construyendo un escenario para comparar diferentes aspectos cualitativa y cuantitativamente. En este capítulo centrado en el diseño se resaltan las diferencias entre ellas en términos de ubicación, diseño y conectividad. Se presenta un cuadro de resumen comparativo de datos de las alternativas que muestra aspectos relevantes.

	Alternativas / Trazado		
	1	2	5
Longitud Total Alternativa [km]	14,95	39,97	97,88
	A1	A2	A5
Longitud Trazado Nuevo [km]	14,81	24,23	26,90
% km de Pendiente $\geq 7\%$	35%	26%	13%
% km de $V_p \leq 30$ km/h	20%	10%	0%
Volumen de Corte por km en m3	84,4	79,3	94,0

En la Alternativa 5, se diseñó un trazado que concentra movimientos de tierra en dos kilómetros del eje para mantener el estándar de velocidad, aunque podría optimizarse para reducir significativamente el volumen de corte de tierra. La Alternativa 2 se acerca más al objetivo inicial, pero incluye un tramo del trazado de Río Grande, lo que la hace sensible a las opiniones de las comunidades. Tiene un estándar propio de una zona montañosa, con pocas zonas de restricción y solo un 26% de zonas con pendientes mayores al 7%. La Alternativa 5, aunque extensa y de alto estándar, es costosa y cuenta con una variante existente a través de la conexión actual de la ruta B-207 y la Ruta 23, que es más larga que la solución propuesta.

4.6 PROYECCIÓN DE DEMANDA

Para estimar la proyección de demanda se recurrió a antecedentes históricos como el crecimiento del parque automotor de la zona y los puntos del Plan Nacional de Censos más cercanos al área de estudio.

En el período 2003 a 2022 el parque regional creció a una tasa anual del 4,5% en tanto la provincia de El Loa creció al 4,2% anual. A nivel comunal San Pedro de Atacama creció a una tasa de 6,1% anual. En los últimos diez años, sin embargo, el parque regional creció a una tasa anual del 1,5%, mientras que la provincia de El Loa creció al 1,3% anual y a nivel comunal San Pedro de Atacama creció a una tasa de 2,3% anual. Las tasas de crecimiento medias para la región, la provincia y la comuna en términos de parque vehicular se presentan en el cuadro siguiente:

CUADRO 4.6-1: TASA ANUAL MEDIA DE CRECIMIENTO DEL PARQUE VEHICULAR

Área geográfica	Tasa anual media (%)		
	2003-2012	2012-2022	2003-2022
Región de Antofagasta	7,9%	1,5%	4,5%
Provincia de El Loa	7,6%	1,3%	4,2%
San Pedro de Atacama	10,6%	2,3%	6,1%

Fuente: Elaboración Propia a partir de Parque de Vehículos en Circulación 2002-2022

Se recopiló información del Plan Nacional de Censos llevado a cabo por la Dirección de Vialidad durante un día laboral representativo de las temporadas de invierno, primavera y verano. Se realizaron mediciones continuas durante 12 o 24 horas en cada temporada. Los datos abarcan el período de 1994 a 2020, con una frecuencia de recopilación de cada 2 años. Sin embargo, los modelos no mostraron ajustes adecuados y presentaron baja significancia estadística. Los valores obtenidos están fuera de los rangos habituales para este tipo de análisis y muestran un signo contrario al esperado. Esto se debe a que en las dos últimas mediciones del PNC (2021 y 2023) se observó una disminución en los flujos medidos en comparación con 2019.

Debido a lo anterior, se estimaron modelos utilizando la tasa de motorización como variable explicativa. El criterio general adoptado fue intentar estimar una regresión logarítmica entre el parque vehicular a nivel regional, provincial y comunal, y el PIB nacional, de la forma:

$$\ln(Vehiculos_t) = \alpha + \beta \cdot \ln(PIB_t)$$

Para efectos de la estimación, se consideró la información de flujos vehiculares para las categorías vehículos livianos (automóviles y camionetas), vehículos de locomoción colectiva (taxis, buses) y vehículos de transporte de carga (camiones de dos o más ejes), de acuerdo a los datos agregados que entrega el INE de esta forma. En este caso los modelos si resultaron sr estadísticamente significativos. En el cuadro a continuación se presentan las elasticidades obtenidas para este modelo.

CUADRO 4.6-2: ELASTICIDADES PROPUESTAS

Tipología Vehicular	Elasticidad
Vehículos Livianos	0,9
Transporte Colectivo	1,4
Transporte de Carga	0,9

Fuente: Elaboración propia

Para poder hacer uso de los modelos obtenidos, es necesario generar una proyección del PIB nacional, de manera de poder estimar tasas de crecimiento por tipo de vehículo. Para este objeto se recurrió a las estimaciones de la OCDE que incluye una proyección de mediano plazo para el PIB nacional. Para el corto plazo se consideraron las proyecciones macroeconómicas del Banco Central.

CUADRO 4.6-3: PROYECCIÓN PIB NACIONAL

Período	Var % PIB
2023-2025	2,0%
2025-2030	2,5%
2030-2040	2,4%

Fuente: Elaboración propia

Se aplicaron las elasticidades PIB obtenidas en los puntos anteriores, en conjunto con las proyecciones de PIB nacional, según se muestra en el cuadro siguiente.

CUADRO 4.6-4: PROYECCIÓN DE FLUJOS A PARTIR DE ELASTICIDAD PIB

Parámetro	PIB nacional		
	2023-2025	2025-2030	2030-2040
Tasa crecimiento PIB	2,00%	2,50%	2,40%
Tasa de crecimiento Vehículos Livianos	1,80%	2,25%	2,16%
Tasa de crecimiento Transporte Colectivo	2,80%	3,50%	3,36%
Tasa de crecimiento Transporte de Carga	1,80%	2,25%	2,16%

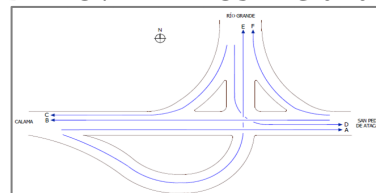
Fuente: Elaboración propia

4.7 ESTIMACIÓN DE DEMANDA

El análisis de alternativas se realizó a partir de los datos de flujos recopilados de los puntos de control del Plan Nacional de Censos. En estos datos hay información reciente del año 2023 de TMDA por temporada en el cruce de la ruta 23-CH con la B-207 y en el cruce de la ruta B-245 con la B-223. Del análisis detallado de flujos por movimiento de los puntos del Plan Nacional de Censos se hicieron el siguiente conjunto de supuestos.

- En el punto PNC-02-048 el flujo medido corresponde a la demanda de viajes entre Río Grande y Calama (movimientos C y E), a la demanda de viajes entre Río Grande y San Pedro de Atacama (movimientos D y F) y a la demanda de viajes entre Calama y San Pedro de Atacama (movimientos A y B)

FIGURA N° 4.7-1: DIAGRAMA DE MOVIMIENTOS PNC-02-048



- Los datos del punto PNC-02-053 no fueron considerados porque los movimientos A y B corresponden a la demanda entre Calama y San Pedro de Atacama, la cual ya se encuentra medida en los movimientos A y B del punto PNC-02-048. Los otros movimientos corresponden a viajes desde y hacia el Valle de la Luna, y no se logró encontrar alguna variable que pudiera explicar estos viajes y fuera significativa en los modelos.
- En el punto PNC-02-075 se asumió la demanda de los movimientos A y B como la demanda de viajes entre Machuca y San Pedro de Atacama. Si bien esta demanda corresponde realmente a la demanda entre San Pedro de Atacama y los Geiseres del Tatio, al igual que en el caso de los viajes al Valle de la Luna, no se logró identificar una variable significativa para explicar dichos viajes, y planteando estos viajes como los viajes entre San Pedro de Atacama y Machuca si se logró estimar modelos con variables explicativas que fueran significativas y que en las alternativas generaran viajes entre Machuca y Río Grande.
- En base a lo recopilado en terreno en el presente no existe relación entre las comunidades de Machuca y Río Grande, por lo que la demanda de viajes se asumió como 0 viajes entre ambas localidades.
- En base a los supuestos anteriores se determinaron las siguientes matrices de viajes:

FIGURA N° 4.7-2: DIAGRAMA DE MOVIMIENTOS PNC-02-053

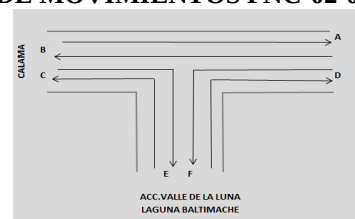
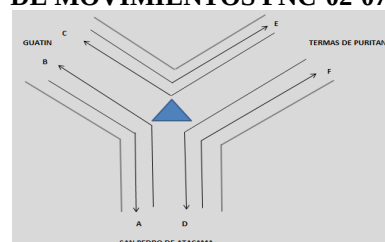


FIGURA N° 4.7-3: DIAGRAMA DE MOVIMIENTOS PNC-02-075



CUADRO N° 4.7-1: MATRIZ DE VIAJES TEMPORADA DE VERANO

Origen/Destino	Calama	San Pedro de Atacama	Río Grande	Machuca
Calama	-	687	22	0
San Pedro de Atacama	642	-	39	88
Río Grande	23	40	-	0
Machuca	0	94	0	-

CUADRO N° 4.7-2: MATRIZ DE VIAJES TEMPORADA DE INVIERNO

Origen/Destino	Calama	San Pedro de Atacama	Río Grande	Machuca
Calama	-	511	18	0
San Pedro de Atacama	514	-	18	20
Río Grande	17	23	-	0
Machuca	0	23	0	-

CUADRO N° 4.7-3: MATRIZ DE VIAJES TEMPORADA DE PRIMAVERA

Origen/Destino	Calama	San Pedro de Atacama	Río Grande	Machuca
Calama	-	538	14	0
San Pedro de Atacama	523	-	17	49
Río Grande	12	21	-	0
Machuca	0	46	0	-

- Se utilizaron datos de población del censo 2017 para Calama, San Pedro de Atacama y Río Grande. En Calama se tenía una población urbana de 158.487 habitantes, en San Pedro de Atacama de 5.524 habitantes y en Río Grande se tenían 27 habitantes. En el censo no se identificaron habitantes en Machuca, pero por lo verificado en terreno la población de la localidad es de 1 habitante.
- Se midieron distancias a través de Google Earth. En el cuadro a continuación se presentan las distancias entre los orígenes y destinos en análisis.

CUADRO N° 4.7-4: MATRIZ DE DISTANCIAS (KM)

Origen/Destino	Calama	San Pedro de Atacama	Río Grande	Machuca
Calama	-	106,8	99,7	151,5
San Pedro de Atacama	106,8	-	77,1	44,7
Río Grande	99,7	77,1	-	121,8
Machuca	151,5	44,7	121,8	-

Para abordar la estimación de viajes se planteó estimar un modelo de demanda directa o de tipo gravitacional que relacionara la información origen destino disponible de viajes con la población en las zonas de origen y destino y un parámetro de impedancia al costo de transporte interzonal.

En primer lugar, se estimaron modelos gravitacionales de forma directa, los cuales resultaron ser muy dependientes de la distancia y por lo tanto predecían un número muy alto de viajes para las alternativas. Por esta razón, se agregaron variables específicas que representa la atractividad de zonas urbanas, la cual se definió como 1 para Calama y San Pedro de Atacama, y 0 para Machuca y Río Grande. La justificación de esta variable es que, más que la distancia, los viajes se generan por la atractividad de las actividades que se pueden realizar en ambas localidades urbanas, como por ejemplo la presencia de comercio, establecimientos educacionales, bancos, entre otros. De la misma forma, se incorporó una variable de ajuste para las temporadas de verano y de primavera. De esta forma, en la práctica lo que se modifica la constante específica según la temporada y además se cuenta con un conjunto de datos mayor para la estimación del modelo.

$$\ln(T_{ij}) = Cte + \theta \cdot \ln(O_i) + \phi \cdot \ln(D_j) + \beta \cdot c_{ij} + \gamma \cdot d_i + \delta \cdot d_j + Cte_v \cdot t_v + Cte_p \cdot t_p$$

En el modelo interzonal T_{ij} corresponde a los viajes que se quieren estimar, O_i y D_j corresponden a la población en origen y destino respectivamente. El costo de transporte interzonal c_{ij} corresponderá a una estimación del costo de desplazamiento y se consideró en

este caso la distancia de viaje entre zonas, obtenido de identificar las rutas más adecuadas mediante Google Maps. Por otro lado, d_i y d_j son 1 si el origen o destino del viaje es en Calama o San Pedro de Atacama, o 0 en el caso contrario. Y Finalmente t_v tiene el valor 1 si los datos son de temporada de verano y t_p tiene el valor 1 si los datos corresponden a temporada de invierno.

CUADRO N° 4.7-5: RESULTADOS DE ESTIMACIÓN DE MODELO DE DEMANDA

Parámetro	Coficiente	Test-t
Cte	0,94	4,18
θ	0,12	3,25
ϕ	0,11	2,83
β	-0,031	-12,52
γ	3,01	8,86
δ	3,18	9,36
Cte_v	0,52	4,29
Cte_p	0,09	0,75
R^2	0,99	

Al aplicar el modelo para las variaciones de distancia que ocurren para las alternativas de proyecto se obtiene que entre Machuca y Río Grande se predicen 4 viajes para la alternativa 1 en que la distancia baja de 115,7 km a 14,8 km, para la temporada de verano.

CUADRO N° 4.7-6: ESTIMACIÓN DE DEMANDA ALTERNATIVAS CON MODELO DIRECTO

Temporada	Origen	Destino	Base	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 5
Verano	Río Grande	Machuca	0	4	2	0
	Machuca	Río Grande	0	4	2	0
	Río Grande	Guatin	1	4	5	1
	Guatin	Río Grande	0	2	3	1
	Río Grande	San Pedro de Atacama	35	60	75	60
	San Pedro de Atacama	Río Grande	32	55	69	55
Invierno	Río Grande	Machuca	0	2	1	0
	Machuca	Río Grande	0	2	1	0
	Río Grande	Guatin	0	2	3	1
	Guatin	Río Grande	0	1	2	0
	Río Grande	San Pedro de Atacama	21	36	44	36
	San Pedro de Atacama	Río Grande	19	33	41	33
Primavera	Río Grande	Machuca	0	3	1	0
	Machuca	Río Grande	0	3	1	0
	Río Grande	Guatin	0	2	3	1
	Guatin	Río Grande	0	2	2	0
	Río Grande	San Pedro de Atacama	22	39	48	39
	San Pedro de Atacama	Río Grande	21	36	44	36

4.8 EVALUACIÓN PRELIMINAR DE ALTERNATIVAS

4.8.1 Evaluación Social

En esta sección se presenta la evaluación social de las alternativas preliminares de proyecto planteadas. En el siguiente cuadro se resumen las inversiones privadas, sociales y sus respectivos valores residuales, en moneda del 30 de Diciembre de 2022, los cuales fueron utilizados en la evaluación de las alternativas preliminares.

CUADRO 4.8-1: MONTOS DE INVERSIÓN ALTERNATIVAS PRELIMINARES (MM\$ DIC 2022)

Descripción	Montos de Inversión (MM\$)		Valor Residual (MM\$)
	Privado	Social	
Alternativa 1	67.271	55.349	27.558
Alternativa 2	86.613	71.110	32.372
Alternativa 5	100.378	82.052	35.247

Fuente: Elaboración Propia.

Del resultado del modelamiento y de las valoraciones preliminares por alternativas, se realizó una evaluación económica, la cual permite determinar la rentabilidad de las alternativas desarrolladas, para lo cual se generaron indicadores socioeconómicos de corto y largo plazo.

CUADRO 4.8-2: INDICADORES DE RENTABILIDAD DE ALTERNATIVAS DE PROYECTO

Descripción	Inversión Social (MM\$)	IVAN	VAN1 (\$)	TRI (%)	VAN (\$)	TIR (%)
Alternativa 1	55.349	-2,9%	3.255	0,2%	-45.031	-3,0%
Alternativa 2	71.110	-2,9%	4.174	0,2%	-58.905	-3,5%
Alternativa 5	82.052	-3,0%	4.748	0,1%	-69.596	-3,9%

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa, bajo los supuestos presentados, ninguna alternativa estudiada resulta socialmente rentable. Los ahorros de recursos derivados de cada alternativa son reducidos y claramente insuficientes para compensar la inversión requerida.

Se realizó un análisis de la demanda necesaria para que el proyecto sea rentable con el nivel de inversión que tiene. Este análisis se realizó solamente para la Alternativa 1, que corresponde al trazado original del proyecto según las bases de licitación, además de ser la única que conecta directamente Machuca con Río Grande.

Para realizar este análisis se mantuvo constante la demanda en otros pares origen destino y solamente se fue incrementando la demanda del par Río Grande-Machuca. La demanda de todas las temporadas y para ambos cortes temporales fue incrementada en el mismo porcentaje y se utilizó la misma demanda en base y proyecto.

CUADRO 4.8-3: DEMANDA PARA RENTABILIZAR PROYECTO (VIAJES DIARIOS)

Corte	Origen	Destino	Verano	Invierno	Primavera
2028	Río Grande	Machuca	247	110	160
	Machuca	Río Grande	234	104	152
2038	Río Grande	Machuca	306	137	198
	Machuca	Río Grande	290	130	188

Fuente: Elaboración Propia en base a Resultados de Modelación.

4.8.2 Medio Ambiente y Territorio

El objetivo de esta etapa es evaluar y valorar comparativamente, desde el punto de vista ambiental y territorial, las distintas alternativas de trazado y diseño estudiadas.

A partir de los resultados obtenidos de la evaluación matricial de cada una de las tres alternativas, que se presenta en el anterior numeral, se puede evidenciar que la Alternativa 5 es la mejora evaluada, debido a:

- Afecta en menor grado comunidades pobladas, ya que no están presentes en su trazado la presencia de los poblados de las comunidades Atacameñas de Río Grande y Comunidad Atacameña de Machuca.
- La ausencia de bofedales y humedales como son los que se presentan en el sector de Machuca, los cuales son de gran relevancia por constituir un importante hábitat para flora, vegetación y fauna, especialmente dada la diversidad de especies vertebradas.
- La ausencia de actividad agrícola, en comparación con la que presentan las Alternativas 1 y 2, en el fondo de valle o quebrada especialmente en Río Grande, históricamente reconocida por su aporte de productos agrícolas a la minería y comunidades de la región.

CUADRO N°9.2-15: MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS

Impactos Ambientales	Valor Impacto Ambiental		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 5
Disminución de la calidad del aire debido al polvo en suspensión y aumento de ruidos molestos y vibraciones que afectan a poblados	-4,60	-4,60	-3,60
Afectación de fauna por ruidos molestos en humedales y bofedales	-7,80	0,00	0,00
Riesgo de inestabilidad de taludes de corte afecto a procesos de remoción en masa, erosión y desprendimientos.	-6,20	-5,60	-4,32
Pérdida de superficie de terreno perteneciente al ecosistema del bofedal con afectación de flora y fauna nativa	-8,80	0,00	0,00
Afectación de objetivos y estrategias en el contexto de la territorialidad del área de desarrollo indígena.	-6,60	-6,60	-6,60
Alteración de manifestaciones étnicas, culturales y turísticas desarrolladas por la comunidad indígena.	-6,20	-6,20	-6,00
Alteración de suelos y procesos agrícolas y afectación de actividades de pastoreo del ganado.	-7,80	-7,60	-7,60
Alteración y destrucción de recursos arqueológicos, antropológicos e históricos.	-5,04	-5,04	-5,04
	-6,63	-4,46	-4,15

En consecuencia, se puede concluir que la Alternativa 5 es la que presenta mayor sustentabilidad ambiental, seguida por la Alternativa 2. Siendo la Alternativa 1 la que presenta los mayores impactos ambientales del punto de vista socioeconómico y biótico.

Respecto a pertinencia de ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) de las alternativas analizadas, dado que las tres se encuentran en un área de Desarrollo Indígena (ADI), en este caso la denominada Atacama La Grande, deben ingresar al SEIA, así

como por la presencia de dos Comunidades Indígenas Atacameñas correspondientes a Río Grande y Machuca.

4.8.3 Evaluación Multicriterio

Con el fin de determinar la alternativa más conveniente se realizó un análisis multicriterio basado en la comparación de pares o método Saaty. Para la determinación de criterios se establecieron dos niveles o categorías. El primer nivel corresponde a agrupaciones de criterios según su área de incidencia:

- Económico: Se relaciona a las ventajas o impactos económicos de la alternativa
- Técnico: Se vincula a las eventuales dificultades constructivas de la alternativa.
- Territorial: Se vincula al impacto que la alternativa puede tener, positiva o negativamente, sobre el territorio.
- Ambiental: Se relaciona al impacto de la alternativa sobre el medio ambiente.

Al interior de cada criterio se determinaron subcriterios, con sus respectivos indicadores:

CUADRO 4.8-4: ATRIBUTOS Y ÁMBITOS DEL MULTICRITERIO

Criterio	Subcriterio	Indicador
Económico	Eficiencia de la inversión	Eficiencia de la inversión, medida los beneficios del primer año de evaluación respecto a la inversión (en valor social).
Técnico	Complejidad constructiva	Monto de inversión (a valores privados) en estructuras, como aproximación a la complejidad constructiva de cada alternativa.
Territorial	Demanda Inducida	Flujo anual entre Machuca y Río Grande que predice el modelo biproportional.
	Afectación a terrenos agrícolas	Metros cuadrados de expropiaciones a terrenos agrícolas.
	Afectación a comunidades indígenas	Metros cuadrados de expropiaciones a terrenos sin utilizar de las comunidades indígenas.
Ambiental	Alteración al ecosistema de humedal	Indicador evaluación ambiental
	Potencial aumento de inestabilidad geomorfológica	Indicador evaluación ambiental

Fuente: Elaboración propia

La aplicación de la metodología definida se realizó mediante videoconferencia, considerando la participación de un conjunto de profesionales del Ministerio de Obras Públicas, tanto de nivel nacional como regional, que emitieron un juicio experto.

De este modo, los pesos relativos de cada subcriterio considerado se obtienen de la comparación efectuada por los participantes, como un valor promedio.

CUADRO 4.8-5: PONDERADORES DEFINITIVOS

Ámbito	Peso Criterio	Subcriterio	Ponderación	Peso Subcriterio
Económico	15,4%	Eficiencia Inversión	100,0%	15,4%
Técnico	13,8%	Complejidad Constructiva	100,0%	13,8%
Territorial	34,0%	Demanda Inducida	18,2%	6,2%

		Afectación Terrenos Agrícolas	40,6%	13,8%
		Afectación Terrenos Indígenas	41,2%	14,0%
Ambiental	36,7%	Alteración Humedal	54,2%	19,9%
		Inestabilidad Geomorfológica	45,8%	16,8%

Fuente: Elaboración propia a partir de procesamiento de aplicación multicriterio

CUADRO 4.8-6: RESULTADOS DE EVALUACIÓN MULTICRITERIO

Criterio	Subcriterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 5
Económico	Eficiencia Inversión	5,0	4,8	3,3
Técnico	Complejidad Constructiva	2,2	3,2	4,5
Territorial	Demanda Inducida	4,9	2,8	1,2
	Terrenos Agrícolas	2,0	2,4	5,0
	Terrenos Indígenas	2,7	1,5	4,8
Ambiental	Alteración Humedal	1,0	5,0	5,0
	Inestabilidad Geomorfológica	2,2	2,5	3,0
Promedio Ponderado		2,6	3,3	4,1

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados de la evaluación multicriterio, la alternativa 5 es la más recomendable entre las tres evaluadas. Conecta Río Grande con la Ruta 23-CH, acortando la distancia entre Río Grande y San Pedro de Atacama. Sin embargo, no cumple con el objetivo principal del estudio, que era establecer una conexión directa y permanente entre Machuca y Río Grande. En esta opción, el peor criterio evaluado es la demanda inducida, ya que la distancia entre Río Grande y Machuca no se reduce significativamente. Las alternativas 1 y 2 abordan de manera más directa los objetivos del estudio, aunque la 2 lo hace de forma un poco más indirecta a través de Guatín. Sin embargo, ambas tienen peores resultados en la evaluación debido a una mayor complejidad constructiva, afectación a terrenos agrícolas y de comunidades indígenas, y un mayor potencial de alteración geomorfológica. La alternativa 1 es la peor en la evaluación ambiental debido a su afectación al humedal de Machuca.