
EVALUACIÓN Y DECLARACIÓN DE AMENAZA POR AVANCE DUNAR



Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Geo&MedioAmbiente consultores

Fecha	Febrero - 2025
-------	----------------



Contenido

I.	INTRODUCCIÓN.....	4
II.	CARACTERIZACIÓN DEL FENÓMENO Y JUSTIFICACIÓN DE LA AMENAZA.....	4
1.	ÁREA DE ESTUDIO	4
2.	DINÁMICA DE COMPORTAMIENTO DE LOS SEDIMENTOS Y DUNAS LOCALES	8
3.	VULNERABILIDAD SOCIAL Y AMBIENTAL/TERRITORIAL.....	11
4.	DESCRIPCIÓN DE LA AMENAZA	16
5.	EXPOSICIÓN FÍSICA AL PELIGRO (VULNERABILIDAD FÍSICA).....	22
6.	IMPACTOS ASOCIADOS A LA ACUMULACIÓN Y AVANCE DE DUNAS	24
7.	INCERTIDUMBRE Y PROYECCIÓN.....	26
8.	NIVELES DE RIESGO POR IMPACTO DE ACUMULACIÓN Y AVANCE DUNAR.....	31
9.	ESCENARIOS PROYECTIVOS	33
III.	NORMATIVA APLICABLE Y RESPONSABILIDADES INSTITUCIONALES (MARCO LEGAL Y NORMATIVO QUE SUSTENTA LA NECESIDAD DE ACCIÓN)	37
1.	MARCO GENERAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES	37
	LEY N° 21.364 SOBRE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES:	37
2.	PROTECCIÓN DEL RECURSO HÍDRICO Y DEL SISTEMA DE REGADÍO	38
3.	PROTECCIÓN DEL SUELO Y LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA	39
4.	PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL Y MODO DE VIDA INDÍGENA	40
IV.	IMPACTO SOBRE EL SISTEMA DE REGADÍO Y EL AGUA (CONSECUENCIAS Y NORMATIVA ESPECÍFICA DEL AGUA)	41
V.	IMPACTO SOBRE LA AGRICULTURA Y SUELOS FÉRTILES (CONSECUENCIAS Y NORMATIVA ESPECÍFICA AGRÍCOLA Y AMBIENTAL)	42
VI.	AFFECTACIÓN CULTURAL Y ALTERACIÓN DE LAS DINÁMICAS DE VIDA (CONSECUENCIAS Y NORMATIVA SOBRE PATRIMONIO Y CULTURA INDÍGENA)	44
VII.	DECLARACIÓN DE AMENAZA	45
VIII.	CONCLUSIONES	46

Índice de Tablas

TABLA 1: VULNERABILIDAD SOCIAL – EVALUACIÓN CUALITATIVA	13
TABLA 2: IMPACTOS ASOCIADOS A LA ACUMULACIÓN Y MOVILIDAD DUNAR	25

Índice Cartográfico

CARTOGRAFÍA 1: ENTIDADES RURALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO	5
CARTOGRAFÍA 2: MAPA DE TEMPERATURA MÍNIMAS Y MÁXIMAS – ÁREA DE ESTUDIO	6
CARTOGRAFÍA 3: MAPA DE VIENTO EN SUPERFICIE (INTENSIDAD PROMEDIO) – ÁREA DE ESTUDIO	7



CARTOGRAFÍA 4: MAPA DE RÁFAGAS DE VIENTOS EN SUPERFICIE (INTENSIDAD PROMEDIO) – ÁREA DE ESTUDIO	8
CARTOGRAFÍA 5: TOPOGRAFÍA Y PENDIENTES.....	9
CARTOGRAFÍA 6: COMPORTAMIENTO DE SEDIMENTOS – PERÍODO ENTRE LOS AÑOS 2020 Y 2024	10
CARTOGRAFÍA 7: PROBABILIDAD DE PERSISTENCIA DUNAR.....	11
CARTOGRAFÍA 8: MAPA DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD TOTAL POR AFECTACIÓN DE PERDIDA DE SUELO Y TERRENOS AGRÍCOLAS, FREnte A LA AMENAZA EÓLICA POR AVANCE DUNAR.....	15
ARTOGRAFÍA 9: AMENAZA TOTAL	18
CARTOGRAFÍA 10: PELIGRO DE IMPACTO DE AMENAZA	21
CARTOGRAFÍA 11: EXPOSICIÓN FÍSICA	23
CARTOGRAFÍA 12: VULNERABILIDAD PROYECTADA A 5 AÑOS	28
CARTOGRAFÍA 13: VULNERABILIDAD PROYECTADA A 10 AÑOS	29
CARTOGRAFÍA 14: VULNERABILIDAD PROYECTADA A 15 AÑOS	30
CARTOGRAFÍA 15: RIEGO ACTUAL	32
CARTOGRAFÍA 16: RIESGO PROYECTADO A 5 AÑOS	34
CARTOGRAFÍA 17: RIESGO PROYECTADO A 10 AÑOS	35
CARTOGRAFÍA 18: RIESGO PROYECTADO A 15 AÑOS	36



I. Introducción

El presente documento corresponde a la Declaración de Amenaza por Impacto de Acumulación y Avance de Dunas en la comuna de San Pedro de Atacama, y tiene como finalidad exponer los resultados obtenidos en la evaluación del riesgo asociado a la dinámica dunar en los ayllus afectados. Esta declaración se fundamenta en un estudio integral que considera la evaluación de la amenaza, el peligro, la exposición física y la vulnerabilidad social y territorial, con el objetivo de establecer un diagnóstico detallado sobre la situación actual y futura del territorio frente al avance de las dunas.

Para la elaboración de esta declaración, se llevó a cabo un análisis basado en criterios geomorfológicos, meteorológicos y socioambientales, con el propósito de caracterizar el fenómeno y su impacto en las comunidades locales. La investigación se estructuró en diferentes anexos, los cuales contienen estudios específicos que permiten comprender la magnitud y evolución del riesgo. En estos anexos se evaluó la dinámica de las dunas mediante teledetección, se identificaron los niveles de exposición de las áreas cultivables y de infraestructura, se establecieron los niveles de vulnerabilidad en función de factores sociales y territoriales, y se desarrollaron proyecciones de escenarios de riesgo a futuro.

El análisis realizado evidencia que si bien el avance dunar no representa una amenaza que derive en un desastre inminente, sí genera impactos significativos en la estabilidad de los suelos agrícolas, la continuidad de los canales de riego y la permanencia de las comunidades en el territorio. En este sentido, la interacción entre los procesos naturales de movilidad sedimentaria y la capacidad de respuesta de la población local se convierte en un factor clave para la gestión del riesgo.

La presente declaración busca, por tanto, brindar un sustento técnico y científico que permita comprender la magnitud de la problemática y su evolución en el tiempo, proporcionando información relevante para la toma de decisiones en materia de ordenamiento territorial, planificación agrícola y estrategias de mitigación frente al avance de las dunas.

II. Caracterización del Fenómeno y Justificación de la Amenaza

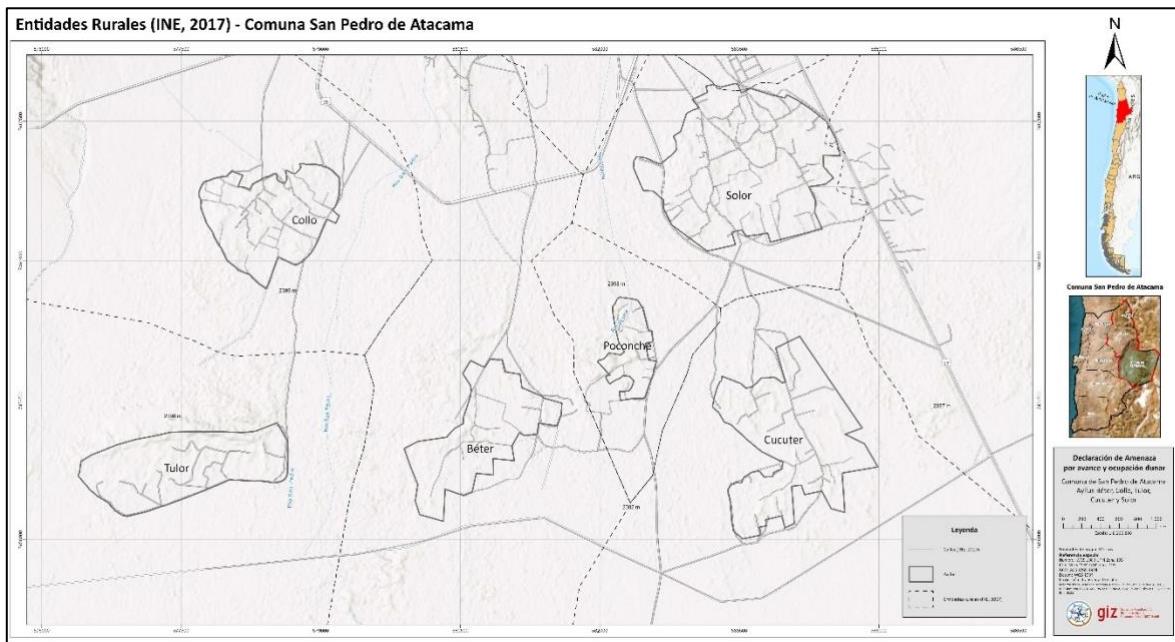
1. Área de Estudio

El área de estudio se encuentra en la comuna de San Pedro de Atacama, dentro de la provincia de El Loa, en la Región de Antofagasta, al norte de Chile. Comprende los ayllus de Solor, Cucuter, Béter, Tular y Collo, los cuales se localizan al sur del centro urbano de San Pedro de Atacama, a una distancia aproximada de 5 a 7 kilómetros. Este territorio se caracteriza por su entorno árido, dominado por paisajes desérticos y dinámicas geomorfológicas activas, donde el transporte eólico y la acumulación de sedimentos son procesos predominantes, determinando la configuración del paisaje y las condiciones de habitabilidad de las comunidades locales.



La delimitación espacial del área de estudio se realizó mediante análisis cartográfico en ArcGIS Pro, utilizando el sistema de referencia WGS 1984 UTM Zone 19S. Para contextualizar geográficamente la dinámica del avance dunar, se integraron múltiples capas de información, incluyendo infraestructura vial, hidrografía y distribución de los ayllus, así como la ubicación de las estaciones meteorológicas empleadas en el análisis climático. La integración de estos datos permitió establecer un marco espacial detallado para comprender la influencia de los factores ambientales y físicos sobre el territorio.

CARTOGRAFÍA 1: ENTIDADES RURALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO



Elaborado por Geo&MedioAmbiente. Fuente: INE, 2017.

Desde una perspectiva administrativa y socioeconómica, la comuna de San Pedro de Atacama presenta un marcado carácter rural, con una población total de 10.996 habitantes (Censo de Población y Vivienda, 2017). Según el Informe de Actualización del PLADEC 2023-2027 de la Municipalidad de San Pedro de Atacama, los ayllus representan núcleos tradicionales de residencia indígena y campesina, albergando cerca del 49,8% de la población comunal. En este contexto, los ayllus de Collo, Tulor, Béter, Cucuter y Solor destacan por su base económica sustentada en agricultura, pastoreo y artesanías, además de su creciente vinculación con el turismo rural. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas (INE, 2023), estos sectores son clasificados como "entidades rurales", lo que implica dispersión habitacional y acceso limitado a servicios básicos, situación que condiciona la capacidad de respuesta ante amenazas ambientales como el avance dunar.

- **Factores Físicos y Ambientales**

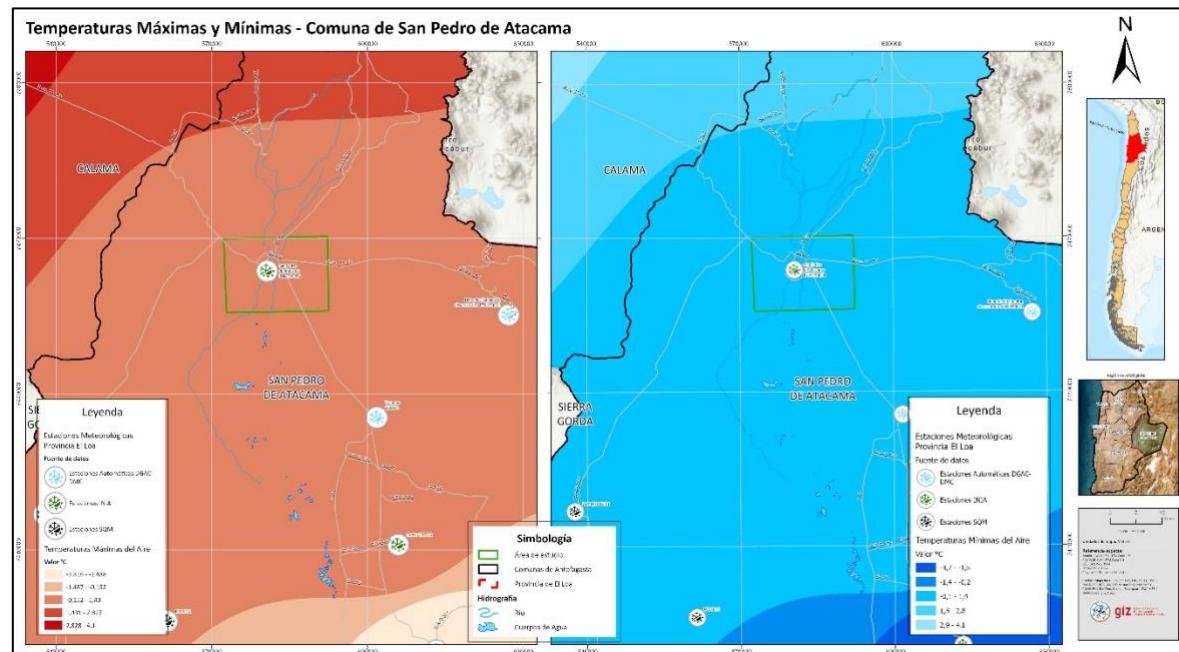


Los resultados obtenidos en la caracterización territorial, climática y meteorológica, presentados en el Anexo 1, proporcionan una base detallada sobre las condiciones del área de estudio. A nivel geológico, la provincia de El Loa exhibe una diversidad litológica significativa, con presencia de depósitos aluviales, secuencias volcanosedimentarias, intrusiones ígneas y depósitos piroclásticos y de avalancha volcánica. Estos materiales reflejan una historia geodinámica influenciada por actividad tectónica y volcánica, configurando un sustrato altamente susceptible a procesos de erosión y transporte sedimentario.

Desde el punto de vista geomorfológico, el área de estudio se encuentra en la Depresión de Atacama, donde convergen unidades como la Cordillera Prealpíplanica y el Altiplano, favoreciendo la movilización de sedimentos en un contexto de fuerte acción eólica. Las características del relieve y la falta de cobertura vegetal potencian el avance de las dunas, consolidando un paisaje marcado por la acumulación de arenas y su interacción con los terrenos agrícolas y de regadío.

En cuanto a la caracterización climática y meteorológica, el área presenta un régimen de clima desértico frío, según la clasificación de Köppen-Geiger, con sectores de tundra producto de la altitud. Estas condiciones refuerzan la aridez extrema, restringiendo la regeneración vegetal y propiciando procesos de erosión eólica. Las bajas precipitaciones anuales, junto con las amplias oscilaciones térmicas diarias—donde las temperaturas máximas superan los 30°C y las mínimas desciden bajo 0°C—, afectan la dinámica atmosférica local y, en consecuencia, la intensidad y persistencia del viento.

CARTOGRAFÍA 2: MAPA DE TEMPERATURA MÍNIMAS Y MÁXIMAS – ÁREA DE ESTUDIO

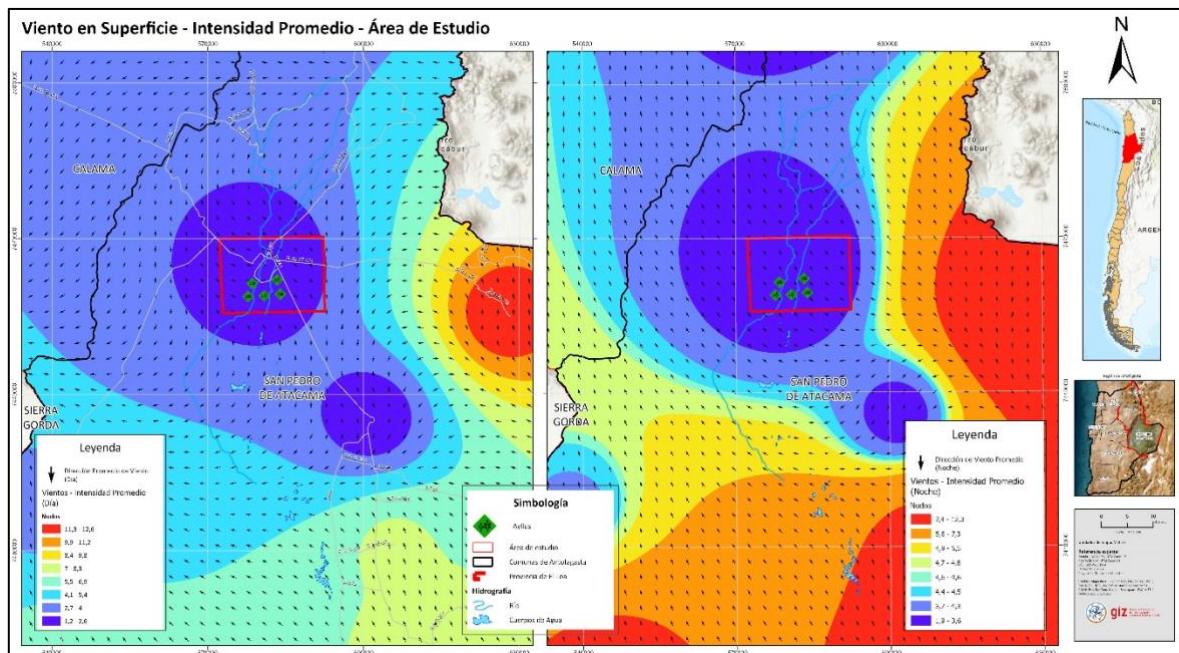


Cartografía elaborada por Geo&MedioAmbiente mediante ArcGIS Pro. Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, a partir de datos meteorológicos de estaciones de monitoreo en línea.



El análisis meteorológico destaca la influencia predominante de vientos del oeste, con intensidades que se incrementan durante las estaciones de primavera y verano, períodos en los cuales se registra el mayor avance dunar. La evaluación de datos meteorológicos provenientes de estaciones de San Pedro y Toconao permitió determinar que las ráfagas de viento y su acumulación mensual actúan como factores determinantes en la movilidad de sedimentos.

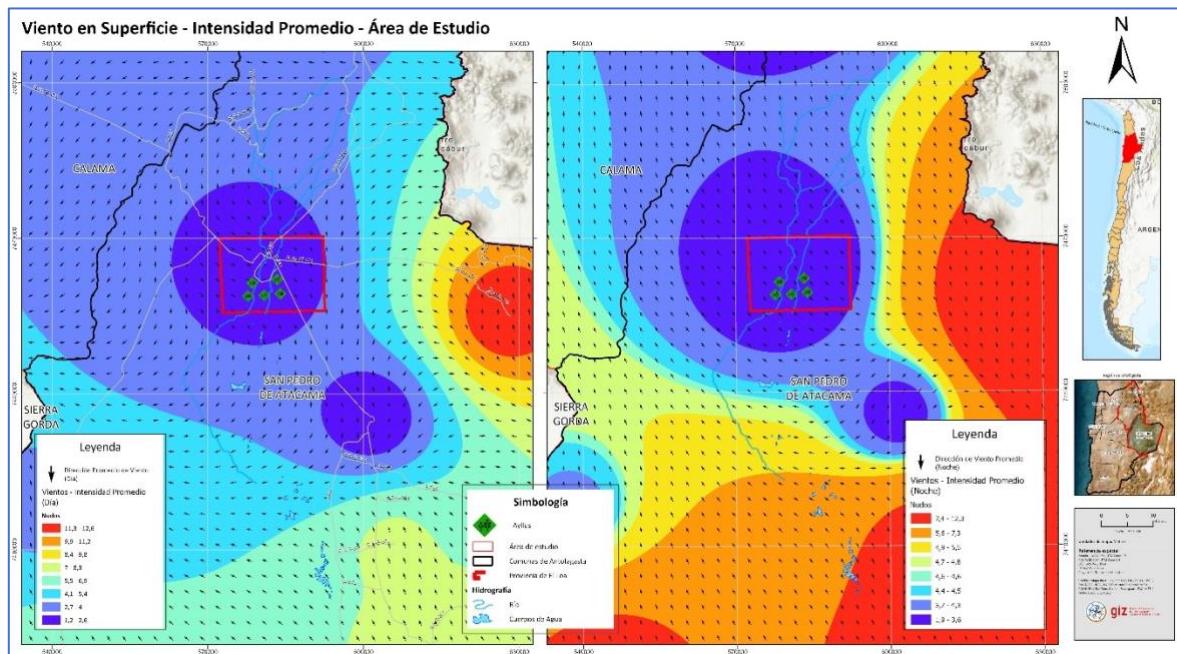
CARTOGRAFÍA 3: MAPA DE VIENTO EN SUPERFICIE (INTENSIDAD PROMEDIO) – ÁREA DE ESTUDIO



Cartografía elaborada por Geo&MedioAmbiente mediante ArcGIS Pro. Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, a partir de datos meteorológicos de estaciones de monitoreo en línea.



CARTOGRAFÍA 4: MAPA DE RÁFAGAS DE VIENTOS EN SUPERFICIE (INTENSIDAD PROMEDIO) – ÁREA DE ESTUDIO



Cartografía elaborada por Geo&MedioAmbiente mediante ArcGIS Pro. Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, a partir de datos meteorológicos de estaciones de monitoreo en línea.

En síntesis, el área de estudio se encuentra en un entorno altamente dinámico, donde la interacción entre factores geológicos, geomorfológicos y climáticos condiciona la movilidad de las dunas y su impacto sobre las comunidades locales. La comprensión detallada de estos elementos resulta fundamental para evaluar el riesgo asociado al avance dunar y su potencial afectación en los ayllus de Solor, Cucuter, Béter, Tulor y Collo.

2. Dinámica de comportamiento de los sedimentos y dunas locales

El avance de las dunas en el área de estudio no es uniforme ni sigue un patrón predecible, ya que está condicionado por múltiples factores ambientales, geomorfológicos y antrópicos. El análisis de persistencia, variabilidad, dirección de transporte y tasas de avance entre los años 2000 y 2024 demuestra que cada cuerpo dunar responde de manera diferenciada a estos elementos, presentando fluctuaciones en su movilidad y estabilidad (Anexo 2).

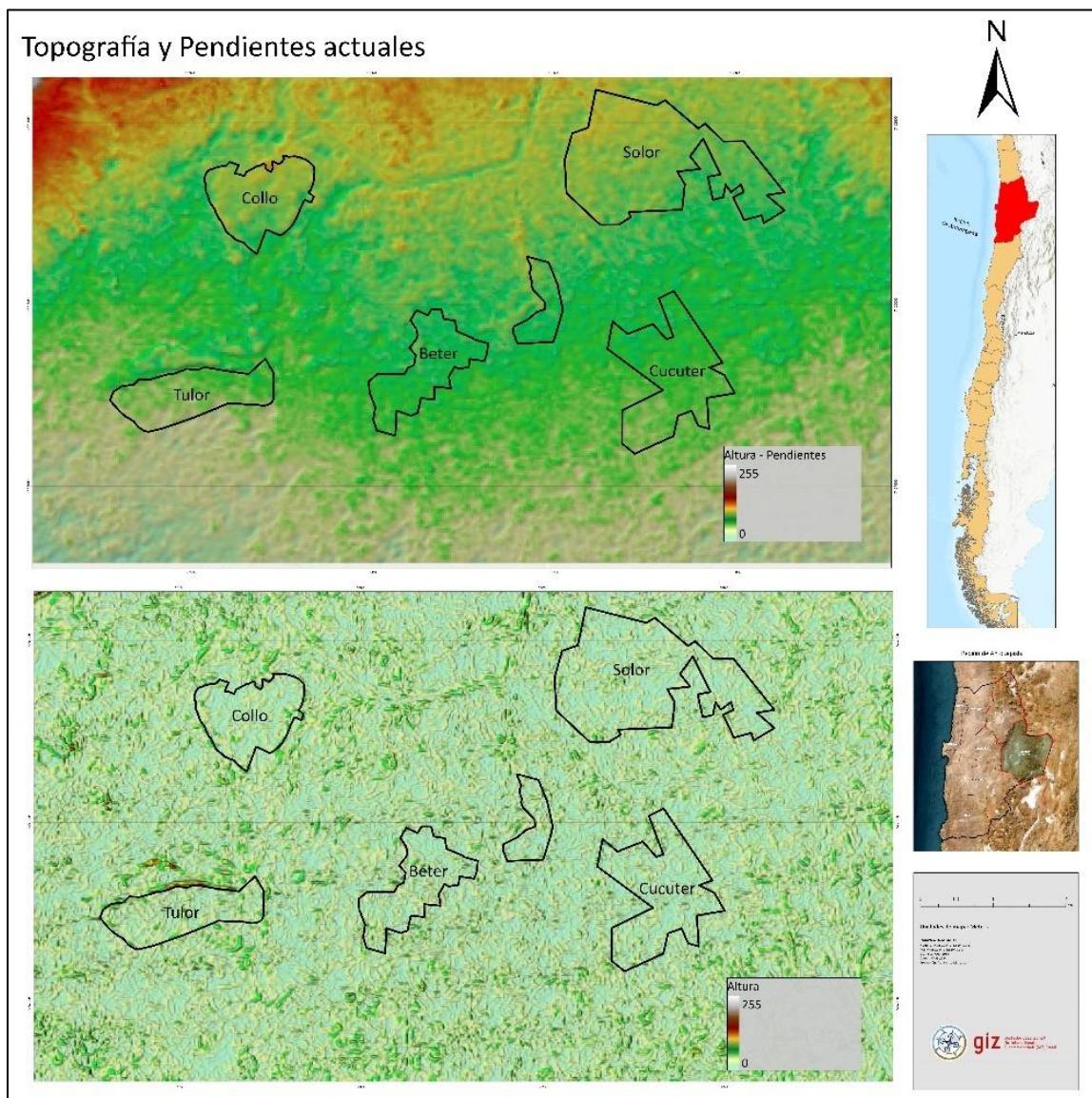
Cucuter es la duna con mayor movilidad, evidenciando una alta variabilidad en su comportamiento, lo que sugiere que su desplazamiento está sujeto a múltiples factores de control. En contraste, Poconche exhibe un avance más constante y moderado, sin variaciones abruptas, lo que indica una tendencia de desplazamiento más predecible. Tulor y Béter, aunque presentan menores tasas de avance, registran episodios de variabilidad que reflejan cambios abruptos en ciertos períodos. Esto



demuestra que la dinámica dunar en la zona no responde únicamente a factores climáticos, sino también a la interacción con la topografía y la actividad humana.

El transporte de sedimentos está fuertemente influenciado por la pendiente descendente hacia el sur y sureste, en conjunto con la dirección predominante del viento, favoreciendo la acumulación de arena en sectores específicos. Sin embargo, la presencia de elevaciones y barreras naturales en las inmediaciones de los ayllus altera esta dinámica, generando patrones de acumulación diferenciados y afectando la trayectoria del avance dunar.

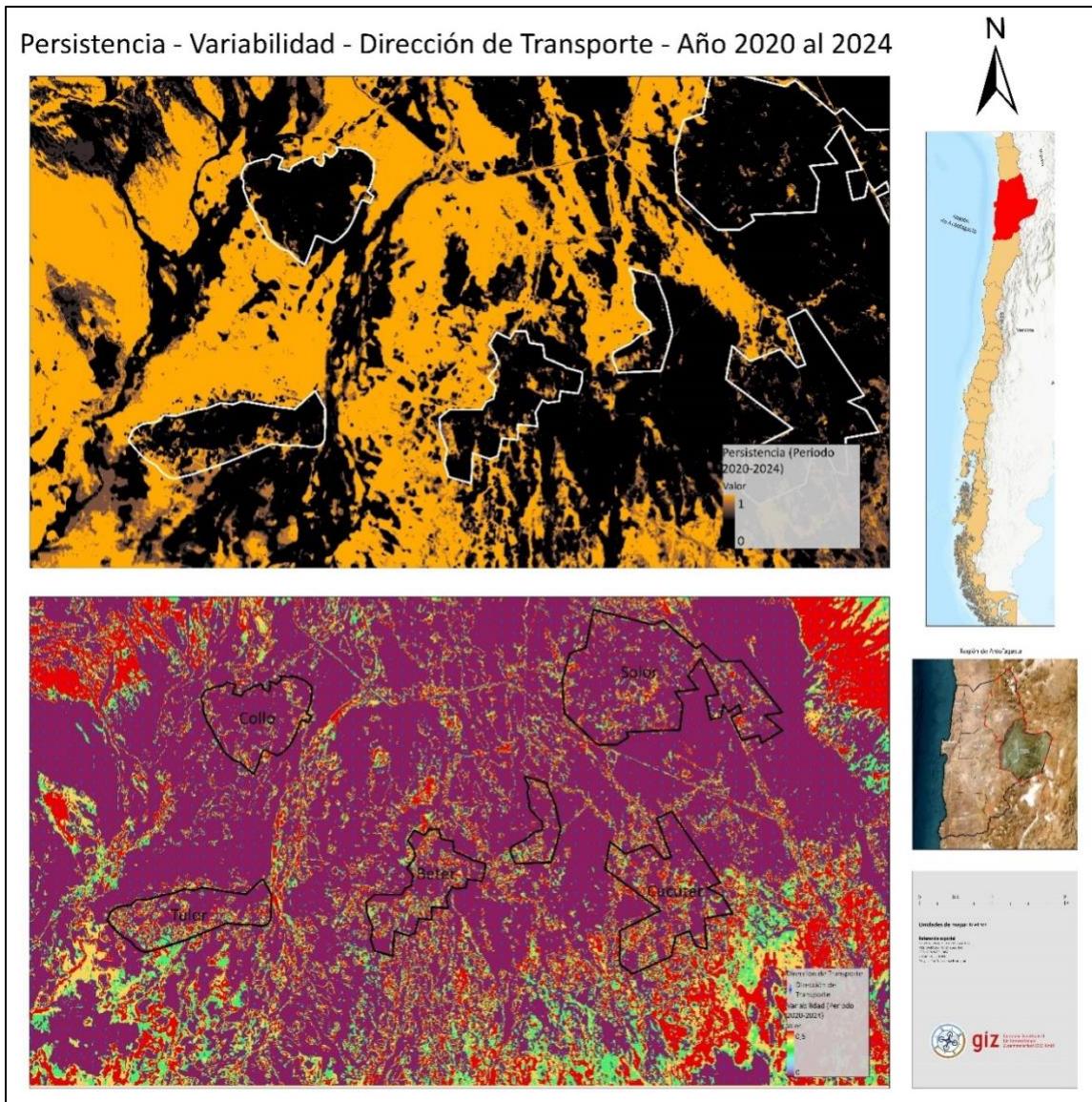
CARTOGRAFÍA 5: TOPOGRAFÍA Y PENDIENTES



Elaborado por Geo&Medio Ambiente. Fuente: DEM ASTER, 2020



CARTOGRAFÍA 6: COMPORTAMIENTO DE SEDIMENTOS – PERÍODO ENTRE LOS AÑOS 2020 Y 2024



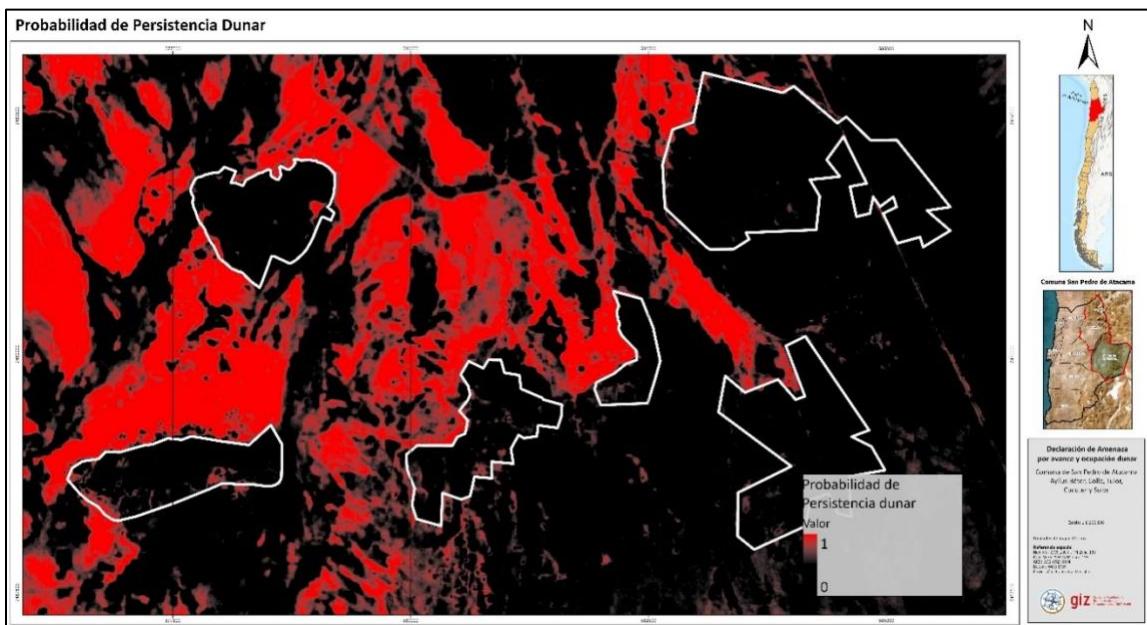
Elaborado por Geo&MedioAmbiente. Fuente: Sentinel-2

Las actividades de limpieza y remoción de arena organizadas por la comunidad han sido identificadas como un factor clave en la evolución del avance dunar. En varios periodos, se han registrado retrocesos en la línea dunar que no pueden explicarse únicamente por la dinámica natural del transporte eólico, sino que están directamente relacionados con las intervenciones humanas. Estas acciones han permitido contener temporalmente el avance de las dunas sobre cultivos e infraestructura, pero generan una dependencia estructural: sin estos esfuerzos, el proceso de acumulación de arena podría intensificarse nuevamente, afectando de manera más agresiva las áreas de producción agrícola y los canales de regadío.



La presencia de esta variable antrópica impide establecer una correlación directa entre el avance dunar y las condiciones meteorológicas, lo que dificulta la aplicación de modelos predictivos cuantitativos. En este contexto, la incertidumbre en la evolución futura de las dunas se incrementa, y su gestión no puede basarse exclusivamente en parámetros físicos y climáticos. En lugar de una proyección basada únicamente en datos numéricos, la evolución del sistema dunar debe ser analizada considerando factores sociales y de gobernanza, ya que la capacidad organizativa de la comunidad juega un papel determinante en la contención del fenómeno y en la mitigación de sus impactos a futuro.

CARTOGRAFÍA 7: PROBABILIDAD DE PERSISTENCIA DUNAR



Elaborado por Geo&MedioAmbiente mediante el uso de herramientas de ArcGIS Pro

3. Vulnerabilidad Social y Ambiental/Territorial

Los ayllus de San Pedro de Atacama presentan niveles diferenciados de vulnerabilidad, dependiendo de una serie de factores socioeconómicos, ambientales y culturales. No se trata solo de la exposición física a la amenaza eólica, sino de la capacidad de cada comunidad para responder a la progresiva acumulación y movilidad de las dunas. Tular y Béter emergen como los sectores más vulnerables debido a la combinación de una alta dependencia agrícola, la progresiva pérdida de suelos productivos, la afectación directa de su patrimonio arqueológico y una limitada capacidad organizativa para sostener acciones de mitigación a largo plazo.

Desde una perspectiva territorial, estos ayllus han experimentado un proceso continuo de reducción de áreas cultivables, lo que ha generado una creciente incertidumbre sobre la sostenibilidad de sus



prácticas productivas. La acumulación de arena en los canales de riego y la interrupción de caminos afectan directamente el acceso a recursos esenciales, limitando la conectividad con otras zonas y dificultando la movilidad de sus habitantes. En este contexto, la dependencia estructural de la limpieza manual de dunas por parte de la comunidad se ha convertido en una estrategia de adaptación, pero al mismo tiempo en una fuente de vulnerabilidad: sin estos esfuerzos, el avance dunar podría intensificarse y generar impactos aún mayores.

Collo, Cucuter y Poconche, aunque con niveles de vulnerabilidad relativamente menores, comparten deficiencias estructurales como la falta de infraestructura hídrica adecuada, el deterioro del suelo agrícola y la erosión de tierras, lo que los hace igualmente sensibles a las dinámicas de acumulación sedimentaria. La distancia a centros de salud y la exposición a eventos climáticos extremos agravan su situación cuando los caminos quedan bloqueados por dunas, configurando un riesgo latente para la movilidad y seguridad de sus habitantes.

Un aspecto clave en la evaluación de la vulnerabilidad es la percepción del riesgo. Los testimonios recopilados en la comunidad (anexo 3) evidencian que, si bien existe una comprensión general sobre la amenaza, la respuesta a ella se basa en la acción inmediata y la cooperación entre vecinos, más que en una planificación a largo plazo. En varios ayllus, se ha documentado un disminuido nivel de alerta frente al avance dunar, ya que los procesos de acumulación han sido incorporados como parte del paisaje y la vida cotidiana, lo que retrasa la implementación de medidas preventivas más efectivas.

Solor, aunque con la menor vulnerabilidad relativa, no está exento de riesgos. Su cercanía a áreas con un alto potencial de acumulación dunar y la presión ejercida por el turismo y el crecimiento urbano emergente pueden modificar su situación en los próximos años. Si bien este ayllu presenta una mayor diversificación económica, lo que reduce su dependencia de la agricultura, la expansión de asentamientos y la intensificación de actividades turísticas podrían generar nuevas formas de impacto ambiental que alteren el equilibrio actual.

Finalmente, la vulnerabilidad en estos ayllus no solo está determinada por factores ambientales o físicos, sino también por la capacidad de respuesta de las comunidades y la falta de intervención por parte de las autoridades. La ausencia de programas de gestión del riesgo específicos para el avance dunar y la escasa inversión en soluciones de mitigación estructural dejan a los habitantes en una situación de alta dependencia de estrategias informales de control, como la remoción manual de arena o la construcción improvisada de barreras.

El reconocimiento de esta vulnerabilidad es fundamental para la declaración de amenaza eólica por avance dunar, ya que permite justificar la necesidad de medidas urgentes para evitar que la progresiva acumulación de arena genere impactos irreversibles en la seguridad, la habitabilidad y la sostenibilidad de estos ayllus.



TABLA 1: VULNERABILIDAD SOCIAL – EVALUACIÓN CUALITATIVA

Ayllu	Sensibilidad Cultural / Paisajística	Dependencia Agrícola y Territorial	Disponibilidad / Acceso a Agua	Deterioro de Suelo / Avance Dunar	Capacidad de Respuesta Comunitaria	Grado de Vulnerabilidad Global
Tulor	Muy Alta: Patrimonio arqueológico y ancestral. - Alta valoración de tierras y rituales.	Muy Alta: Agricultura y riego esenciales para la identidad.- Terrenos con larga historia de cultivo.	Alta: Menos precipitaciones y sobreexplotación de recursos. - Canales entubados que a veces no funcionan por arena.	Muy Alta: Duna entierra casas antiguas y zonas de siembra. - Pérdida acelerada de predios.	Media: Hay organización (asoc. regantes), pero recursos escasos.- Dependencia de proyectos externos.	Muy Alta: Por la confluencia de factores sociales (desplazamiento) y ambientales (duna agresiva).
Béter	Alta: Reconocimiento cultural histórico. - Menor arraigo que Tulor, pero con fuerte sentido comunitario.	Alta: Agricultura antes esencial; ahora mixta con turismo o minería. - Grandes parcelas afectadas.	Alta: Extracción minera en cercanías. - Menos lluvia y riego deficitario.	Muy Alta: Terrenos sepultados, bosques de algarrobo perdidos.- Fuertes efectos del viento.	Baja: Desarticulación por migración y falta de cohesión. - Dependencia de pocos líderes y escasos fondos.	Muy Alta: Alto deterioro de suelos y agua, con poca respuesta colectiva.
Collo	Media-Alta: Menor presión inmediata de la duna, pero valor cultural notable. - Transmisión de	Alta: Siguen cultivando maíz/alfalfa, pero muchos jóvenes migran. - Turismo incipiente aporta	Media: Depende de proyectos concursables para entubado y mejoras. - Escasez de agua no tan drástica como en Béter/Tulor.	Alta: La duna avanza, pero no tanto como en Béter/Tulor. - Riego comprometido en áreas distantes.	Media: Asociación de regantes con cierta fortaleza. - Falta de apoyo municipal sistemático.	Alta: Menor que Béter/Tulor, pero todavía elevada por la progresión del problema.

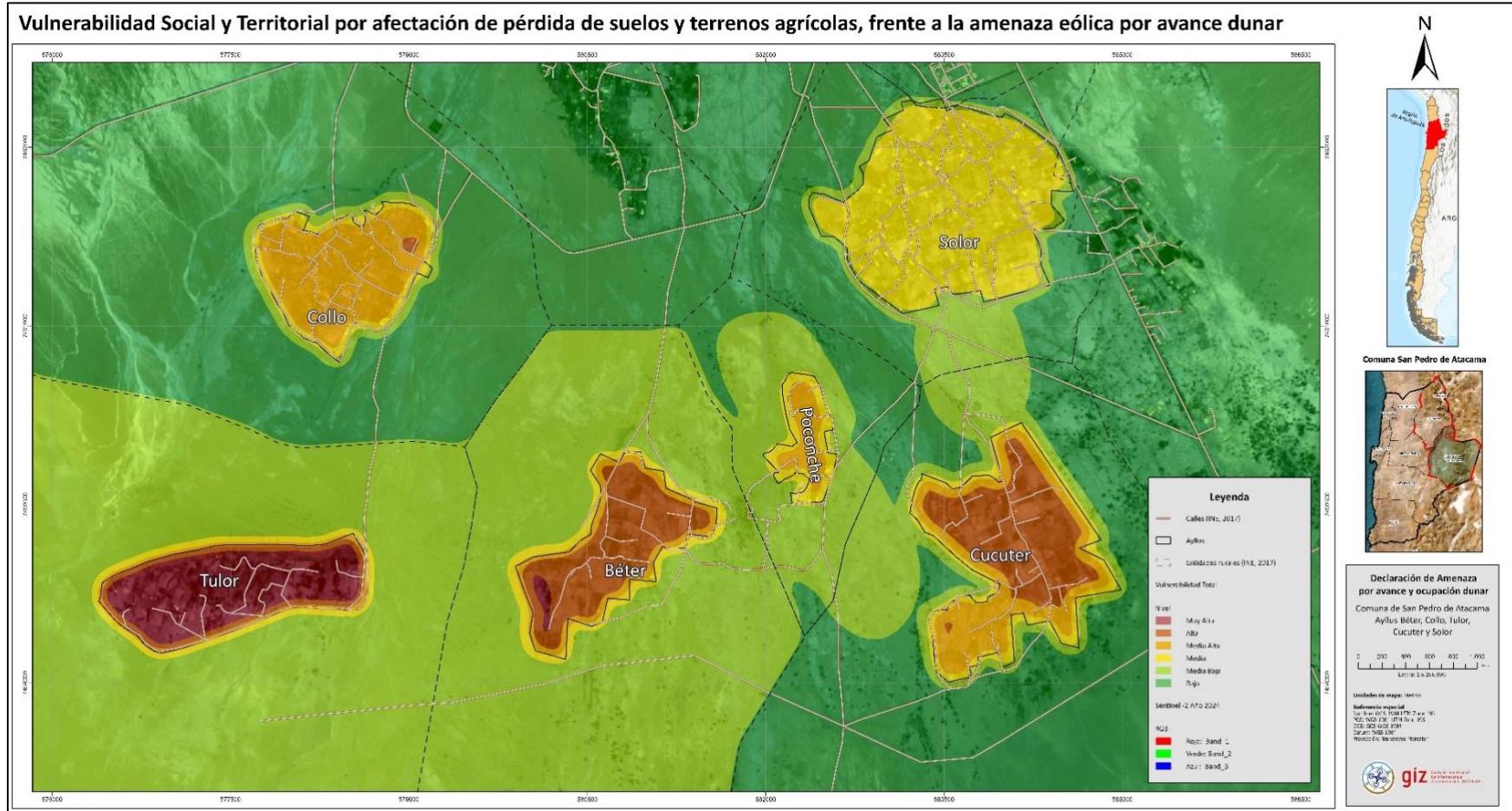


	costumbres en retroceso.	ingresos alternativos.				
Poconche	Media: Identidad cultural, pero menos visibilidad. - Menos continuidad de prácticas ceremoniales.	Alta: Agricultura se mantiene en sectores claves; - Migración juvenil moderada.	Media-Alta: Conexión al río Vilama; si el caudal baja, afecta a varios. - Falta de embalses y almacenes comunitarios.	Alta: Zonas ya tapadas, aunque no tan extendido como en Béter/Tulor. - Riesgo creciente en partes críticas.	Media: Pertenece a la misma directiva que Béter/Tulor, cierto respaldo. - Menos proyectos específicos.	Alta: Nivel de riesgo considerable por factores de suelo y agua, si bien en menor escala que Tulor/Béter.
Cucuter	Media: Presencia de costumbres indígenas, pero fragmentadas. - Poca difusión cultural.	Alta: Agricultura mínima; la mayoría depende de otras actividades. - Alto valor simbólico del territorio.	Media-Alta: Suministro de agua muy deficitario. - Extracción minera cercana.	Alta: Combinación de menor cobertura vegetal y presión antrópica. - Duna en sectores puntuales.	Media-Baja: Falta de redes comunitarias fuertes. - Escasa articulación con CNR.	Alta: Riesgo elevado por suma de problemas socioeconómicos y ambientales.
Solor	Media: Identidad atacameña no tan consolidada como Tulor/Béter. - Crece la influencia turística.	Media: Agricultura relegada por el turismo, falta mano de obra. - Bajo porcentaje de auto subsistencia.	Media: Reduce caudal, pero con algunos proyectos en marcha. - Turistas consumen parte del recurso.	Media: Menor invasión de la duna que en Béter/Tulor. - Potencial riesgo futuro.	Media-Baja: Estructuras comunitarias limitadas. - Proyecto incipiente de canalización.	Media: Problemas serios, pero no tan pronunciados como en los otros ayllus.

Elaborado por Geo&MedioAmbiente de acuerdo a la evaluación cualitativa de las entrevistas y revisión bibliográficas (Anexo 3)



CARTOGRAFÍA 8: MAPA DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD TOTAL POR AFECTACIÓN DE PERDIDA DE SUELO Y TERRENOS AGRÍCOLAS, FRENTE A LA AMENAZA EÓLICA POR AVANCE DUNAR.



Elaborada por Geo&MedioAmbiente



4. Descripción de la Amenaza

La amenaza por avance y acumulación de dunas en los ayllus de San Pedro de Atacama (anexo 4) se configura a partir de la interacción entre la movilidad sedimentaria, la persistencia de los cuerpos dunares y los factores potenciadores que facilitan su desplazamiento. Esta amenaza no es uniforme en todo el territorio, sino que presenta variaciones espaciales dependiendo de la intensidad del transporte eólico, las características geomorfológicas locales y la influencia de la actividad humana sobre la dinámica dunar.

Los resultados obtenidos en el análisis de la amenaza han permitido diferenciar zonas de alta, media y baja criticidad, evidenciando que algunos sectores presentan una tendencia clara de avance sedimentario, mientras que otros mantienen una menor susceptibilidad debido a la discontinuidad de los procesos de acumulación.

- **Áreas de Alta Amenaza**

Los sectores con mayor nivel de amenaza se localizan en los ayllus de Tular, Béter y Poconche, donde la movilidad dunar no solo es persistente, sino que también se combina con trayectorias definidas que facilitan su avance hacia áreas habitadas. Estos sectores han sido identificados con niveles de amenaza alta y muy alta, reflejando una dinámica sedimentaria activa y sostenida en el tiempo.

- Tular: Es el sector más crítico en términos de amenaza, con un área extensa clasificada en nivel muy alto (representada en color rojo en la cartografía). La alta persistencia de los sedimentos, junto con la influencia de los vientos predominantes y la pendiente del terreno, favorecen el avance dunar hacia zonas productivas y habitadas. La evidencia histórica indica que las dunas en este sector han mantenido su movilidad a lo largo de los años, afectando terrenos de uso agrícola y generando acumulaciones en vías de acceso.
- Béter: Presenta áreas de amenaza alta y muy alta, particularmente en sus bordes periféricos, donde la interacción entre la persistencia sedimentaria y las condiciones geomorfológicas potencia el desplazamiento de arena. En este sector, el avance dunar ha sido documentado en distintos períodos, mostrando fluctuaciones en su intensidad, pero manteniendo una tendencia general de progresión.
- Poconche: Aunque con una extensión menor en comparación con Tular y Béter, Poconche presenta sectores de amenaza alta, especialmente en sus zonas expuestas al transporte eólico predominante. La movilidad dunar en este sector ha mostrado una variabilidad significativa, con períodos de estabilización alternados con episodios de avance más acelerado.



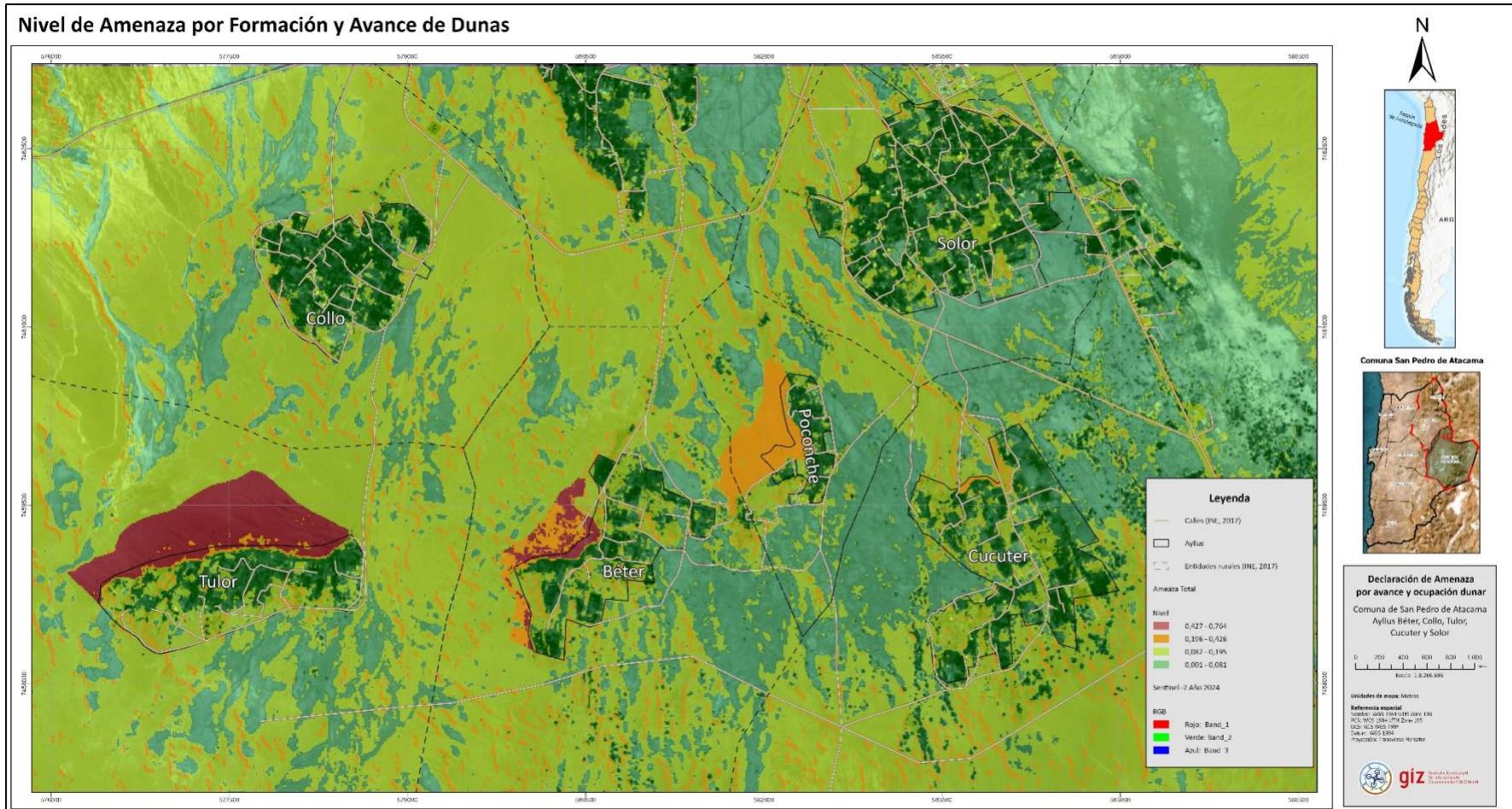
- **Áreas de Amenaza Moderada y Baja**

En los ayllus de **Solor, Cucuter y Collo**, la amenaza por movilidad dunar se clasifica como **moderada**, debido a la menor persistencia de los sedimentos y a factores ambientales menos propicios para la acumulación de arena. En estos sectores, la presencia de cuerpos dunares activos es más dispersa, lo que reduce la posibilidad de impactos significativos en el corto y mediano plazo.

- **Solor:** Si bien presenta algunas áreas con acumulación sedimentaria, la amenaza es **moderada**, ya que la actividad eólica y la configuración del terreno no favorecen un avance sostenido de las dunas hacia zonas críticas.
- **Cucuter:** Exhibe una amenaza moderada, debido a la combinación de su ubicación geográfica y las características del terreno que limitan la persistencia de los cuerpos dunares. No obstante, el riesgo de acumulación local sigue presente en algunos sectores puntuales.
- **Collo:** Se clasifica en nivel moderado de amenaza, ya que, aunque la presencia de dunas activas no es tan extensa como en Tular o Béter, la persistencia de los sedimentos y la influencia de factores potenciadores pueden generar afectaciones progresivas en el territorio habitado. La exposición a vientos predominantes y la limitada capacidad de contención natural contribuyen a una amenaza sostenida en el tiempo.



ARTOGRAFÍA 9: AMENAZA TOTAL



Elaborado por Geo&MedioAmbiente mediante ArcGIS



En términos generales, la amenaza total por avance dunar en San Pedro de Atacama se configura como un proceso dinámico y diferenciado, donde algunos ayllus enfrentan una exposición crítica y sostenida, mientras que otros mantienen un riesgo más contenido. La identificación y delimitación de estas zonas de amenaza resulta fundamental para la planificación territorial y la implementación de medidas que permitan mitigar sus efectos a largo plazo.



El peligro de impacto por acumulación y avance dunar se obtiene al combinar la amenaza total con la probabilidad de ocurrencia del fenómeno, permitiendo identificar las zonas donde la afectación es más probable y significativa (Anexo 4).

La cartografía generada en este análisis muestra que la distribución del peligro no es homogénea en el territorio, sino que responde a la intensidad de la movilidad sedimentaria, las condiciones climáticas y geomorfológicas, y la persistencia de los sedimentos en interacción con áreas habitadas y productivas.

Las zonas de peligro muy alto coinciden con los sectores donde la amenaza total ha sido clasificada en niveles críticos, evidenciando áreas en las que el avance de las dunas es constante y dirigido hacia zonas sensibles, lo que incrementa la probabilidad de afectación directa sobre la infraestructura, los terrenos agrícolas y los sistemas de acceso vial. En este contexto, Tular se posiciona como la zona más crítica, presentando una gran extensión territorial con peligro muy alto, lo que se explica por la alta persistencia de los sedimentos, la influencia de factores potenciadores como la dirección predominante del viento y la pendiente del terreno, y la probabilidad de acumulación de arena sobre superficies de uso habitacional y agrícola. La movilidad dunar en este sector ha sido continua y sostenida a lo largo del tiempo, lo que representa un riesgo significativo para la estabilidad de la actividad productiva y la habitabilidad de la zona.

El ayllu de Béter presenta sectores con peligro alto y muy alto, especialmente en sus áreas limítrofes, donde el avance de las dunas ya ha generado signos visibles de afectación en el territorio. La combinación de persistencia sedimentaria y condiciones ambientales favorables para el transporte de arena contribuye a la consolidación del peligro en este sector.

En Poconche, el peligro se mantiene en niveles altos, aunque con menor extensión que en Tular y Béter. La movilidad de los sedimentos en esta zona ha sido menos agresiva, pero la persistencia de la duna y la probabilidad de acumulación de arena sobre superficies agrícolas y de circulación vial continúan representando un riesgo considerable para el territorio.

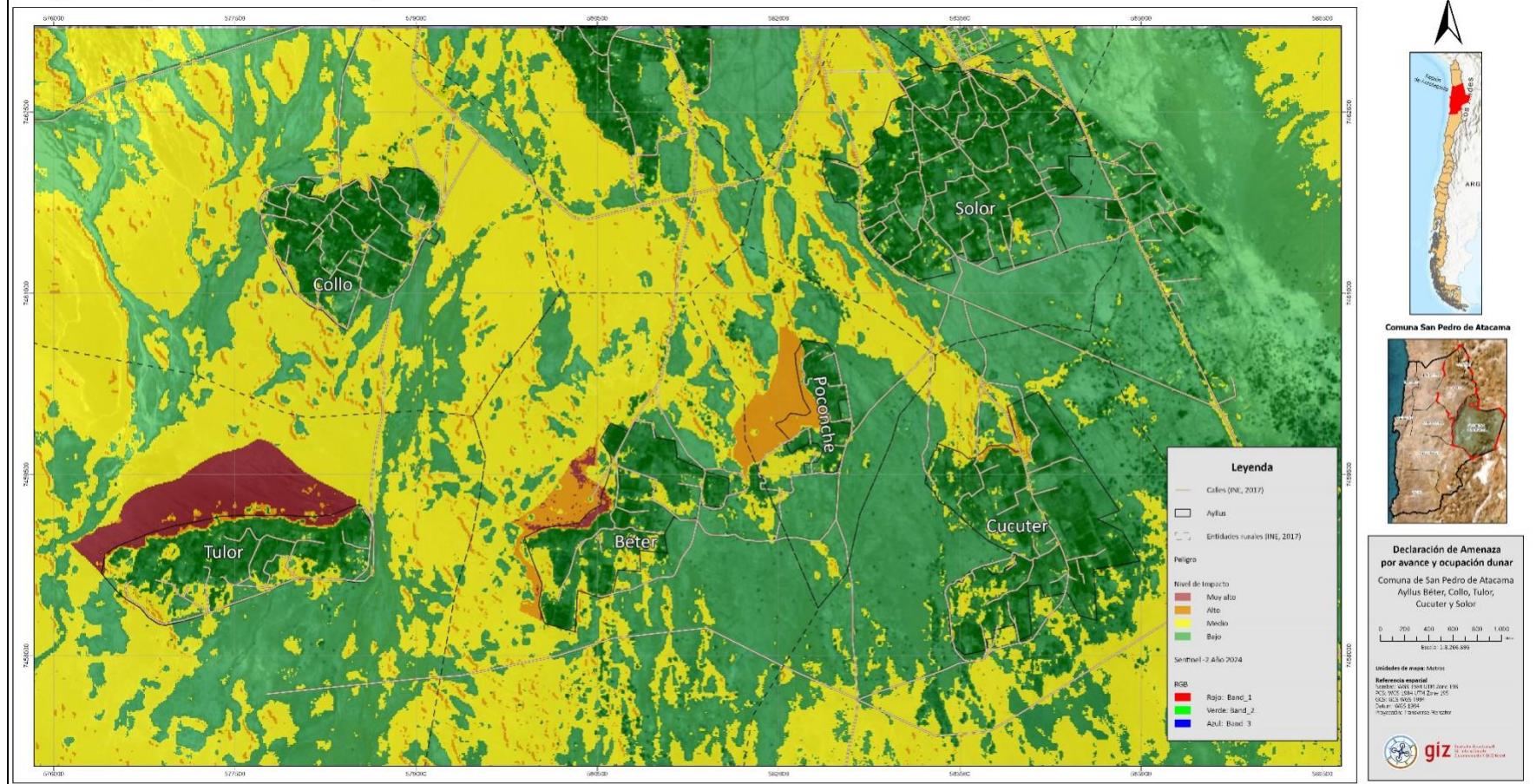
En contraste, en los sectores de Solor, Cucuter y Collo, el nivel de peligro se encuentra en rangos moderados a bajos, reflejando que la probabilidad de afectación por acumulación de arena es menor en comparación con las zonas más críticas. Estos sectores, si bien presentan algunas áreas con movilidad dunar, no cuentan con condiciones que favorezcan una afectación significativa en el corto o mediano plazo, ya sea por la menor persistencia de los sedimentos o por factores geomorfológicos que dificultan el transporte sostenido de arena hacia áreas habitadas.

La identificación del peligro en el área de estudio permite reconocer que el avance dunar, si bien no representa una amenaza homogénea en todo el territorio, sí se comporta como un fenómeno localizado con impactos diferenciados. En los sectores de mayor peligrosidad, la combinación de una alta probabilidad de ocurrencia y la existencia de elementos expuestos a la acumulación de sedimentos refuerzan la necesidad de considerar medidas de mitigación y planificación territorial que permitan reducir la vulnerabilidad de los ayllus más afectados.



CARTOGRAFÍA 10: PELIGRO DE IMPACTO DE AMENAZA

Peligro de Impacto por Acumulación y Avance de Dunas



Elaborado por Geo&MedioAmbiente mediante ArcGIS



5. Exposición Física al Peligro (Vulnerabilidad Física)

La exposición al peligro de acumulación y avance dunar se define por la presencia de elementos vulnerables dentro de las áreas con mayor probabilidad de afectación por movilidad sedimentaria. En este análisis, se han identificado y evaluado los principales elementos expuestos (anexo 4), incluyendo cultivos, canales de regadío y caminos, asignándoles niveles de exposición en función de su proximidad a las dunas activas y la persistencia de los sedimentos en el tiempo.

Tulor se posiciona como el sector con mayor nivel de exposición, presentando extensas áreas en niveles alto y muy alto debido a la ubicación de cultivos y canales de regadío dentro de zonas activas de acumulación sedimentaria. La presencia de caminos intersectando áreas con alta movilidad de arena refuerza la vulnerabilidad física del sector, ya que la interrupción de vías de acceso afecta directamente la conectividad.

En Béter, la exposición también es alta, especialmente en los bordes Norte y Noreste del ayllu, donde los canales de riego y terrenos agrícolas están en contacto directo con las dunas en movimiento. La progresiva acumulación de arena en estos sectores compromete la funcionalidad del sistema de regadío, lo que a mediano plazo puede traducirse en pérdida de capacidad productiva y mayores costos de mantenimiento para la comunidad.

Los ayllus de Poconche y Cucuter presentan niveles de exposición moderados, con infraestructura productiva y áreas agrícolas situadas en sectores de movilidad sedimentaria, aunque con una menor extensión en comparación con Tulor y Béter. En estos sectores, la afectación se ha registrado de manera más puntual, pero la progresión del fenómeno podría aumentar la exposición en el futuro si las dinámicas de acumulación continúan avanzando.

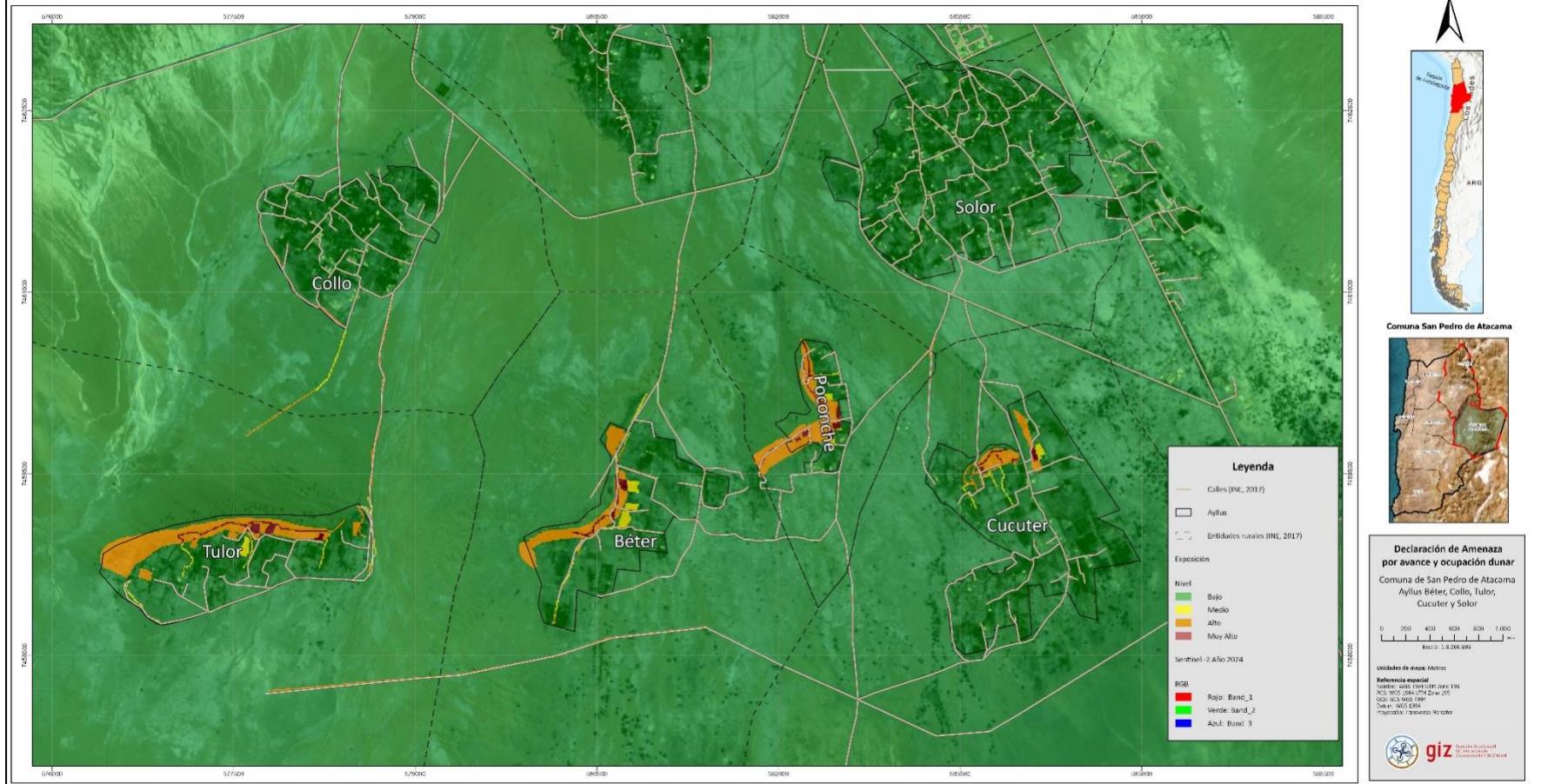
En contraste, los sectores de Solor y Collo presentan baja o nula exposición, debido a la ausencia de elementos vulnerables dentro de las áreas de peligro identificadas. La mayor distancia entre los asentamientos y las dunas activas reduce significativamente la probabilidad de impacto en estos ayllus, limitando la presencia de acumulación de sedimentos sobre terrenos de uso agrícola o infraestructuras esenciales.

La distribución espacial de la exposición física en el territorio demuestra que, si bien la amenaza por avance dunar está presente en distintos niveles en toda la zona de estudio, su impacto varía en función de la cercanía de los elementos expuestos a las áreas de mayor movilidad sedimentaria. Esta diferenciación resulta clave para la implementación de estrategias de mitigación enfocadas en los sectores más críticos, asegurando la protección de cultivos, infraestructura hídrica y accesibilidad dentro de las zonas de mayor afectación.



CARTOGRAFÍA 11: EXPOSICIÓN FÍSICA

Exposición al Peligro de Acumulación y Avance de Dunas



Elaborado por Geo&MedioAmbiente mediante ArcGIS



6. Impactos Asociados a la Acumulación y Avance de dunas

La movilidad dunar en los ayllus de San Pedro de Atacama ha generado una serie de impactos ambientales, económicos, sociales y culturales, afectando tanto la infraestructura productiva como las dinámicas tradicionales de la comunidad. La combinación de pérdida de suelos agrícolas, interferencia en los sistemas de regadío, amenaza al patrimonio arqueológico y alteraciones en las rutas de acceso ha llevado a un proceso progresivo de transformación territorial, donde la capacidad de adaptación de la población se encuentra limitada por la falta de medidas de contención efectivas.

Los efectos más críticos se observan en Tular y Béter, donde la duna ha cubierto por completo áreas de cultivo y amenaza la estabilidad de los bosques de algarrobo, un ecosistema clave en la identidad paisajística y cultural de la zona. La dependencia agrícola es muy alta en estos sectores, por lo que la acumulación de arena sobre los suelos fértiles representa una amenaza directa a la producción local. En otros ayllus como Collo, Poconche, Cucuter y Solor, la agricultura sigue siendo una actividad relevante, aunque existe una mayor diversificación económica, con un crecimiento del turismo como alternativa de sustento. No obstante, la progresiva reducción de áreas productivas podría obligar a un mayor desplazamiento de la población hacia sectores con menos afectación dunar o a la búsqueda de empleos fuera del territorio.

El sistema de regadío también se ha visto gravemente afectado por la acumulación de arena en los canales de conducción, lo que ha generado pérdidas de caudal y dificultades en la distribución del agua para el riego. La escasez hídrica, provocada por la extracción minera y la reducción de precipitaciones, agrava este problema, ya que la acumulación de sedimentos en las estructuras de captación aumenta la ineficiencia del sistema de distribución y eleva los costos de mantenimiento para los agricultores locales.

A nivel cultural, la progresiva transformación del territorio está generando cambios en la estructura socioeconómica de los ayllus, con una tendencia al abandono de la actividad agrícola y un crecimiento del turismo como principal fuente de ingresos. En muchos casos, la disminución de terrenos cultivables ha llevado a que las familias busquen nuevas oportunidades económicas, lo que ha alterado las dinámicas comunitarias tradicionales basadas en el intercambio de bienes y la cooperación en la producción de alimentos. Si bien el turismo ha permitido la generación de empleos, su expansión sin planificación ha generado conflictos con la conservación del paisaje y el acceso a recursos naturales esenciales, como el agua y el suelo productivo.

El patrimonio arqueológico también enfrenta una amenaza directa, particularmente en Tular y Béter, donde las dunas avanzan sobre sitios de alto valor histórico, poniendo en riesgo la preservación de estructuras antiguas y limitando las posibilidades de investigación y conservación. La falta de estrategias para la protección de estos vestigios aumenta la probabilidad de que estos sean cubiertos de manera irreversible por la arena, afectando no solo la identidad cultural de la comunidad, sino también el atractivo turístico de la zona.



Otro impacto relevante identificado a partir de las entrevistas es la afectación de los caminos, ya que varias rutas de acceso han sido históricamente cubiertas por la arena, generando interrupciones en la movilidad y el transporte de bienes y personas. En sectores donde la duna avanza con mayor rapidez, la acumulación de sedimentos en las vías ha obligado a la comunidad a realizar constantes esfuerzos de limpieza, lo que se traduce en un mayor gasto de recursos y una creciente dependencia de estas acciones para garantizar la conectividad del territorio.

En términos generales, los impactos asociados al avance de las dunas no solo se limitan a la transformación del paisaje y la pérdida de suelos productivos, sino que afectan la estabilidad económica, la cohesión social y la identidad cultural de los ayllus. La falta de una gestión integral de este problema está generando una reducción progresiva de la resiliencia comunitaria, dejando a las poblaciones expuestas a la incertidumbre sobre el futuro de su territorio. La combinación de escasez de agua, degradación de suelos, presión turística y disminución de la capacidad organizativa configura un escenario donde los efectos del avance dunar se amplifican, incrementando la vulnerabilidad de los sectores más afectados y poniendo en riesgo la continuidad de su modo de vida tradicional.

TABLA 2: IMPACTOS ASOCIADOS A LA ACUMULACIÓN Y MOVILIDAD DUNAR

Categoría de Impacto	Descripción del Impacto	Zonas más afectadas
Agrícola	Pérdida de suelos cultivables debido a la acumulación de arena, reducción de áreas productivas y disminución de la actividad agrícola.	Tulor, Béter, Poconche, Cucuter
Sistema de Regadío	Obstrucción de canales de riego por acumulación de sedimentos, reducción del caudal de agua disponible, aumento de costos de mantenimiento.	Tulor, Béter, Collo, Poconche
Cultural y Social	Desvinculación progresiva de la comunidad con la actividad agrícola, dependencia creciente del turismo, pérdida de dinámicas tradicionales de intercambio y trabajo comunitario.	Tulor, Béter, Collo, Poconche, Cucuter
Turismo y Transformación Económica	Crecimiento del turismo como actividad económica principal, cambio en los usos del suelo, aumento de la presión sobre recursos naturales como el agua.	Collo, Solor, Poconche



Patrimonio Arqueológico	Amenaza directa sobre monumentos y sitios arqueológicos por el avance de las dunas, riesgo de sepultamiento de vestigios históricos.	Tulor, Béter
Infraestructura Vial	Interrupción de caminos por acumulación de arena, necesidad de mantenimiento constante, aislamiento de sectores en ciertas épocas del año.	Tulor, Béter, Poconche, Cucuter
Agua y Recursos Hídricos	Reducción progresiva del caudal disponible debido a la extracción minera y la escasez de precipitaciones, afectación de la calidad y distribución del agua.	Todos los ayllus, con mayor impacto en Tulor, Béter y Collo
Deterioro de Suelo	Pérdida de suelos fértiles, erosión acelerada, disminución de la capacidad de regeneración de la tierra para uso agrícola.	Tulor, Béter, Cucuter, Poconche
Capacidad de Respuesta Comunitaria	Dependencia de la limpieza manual para contener el avance de la arena, baja organización local en algunos ayllus, falta de apoyo institucional.	Tulor, Béter, Collo, Poconche

Elaborado por Geo&MedioAmbiente

7. Incertidumbre y Proyección

La evolución futura del avance dunar en los ayllus de San Pedro de Atacama no puede ser estimada con precisión mediante modelos de correlación climática o geomorfológica, debido a la influencia directa que ejerce la intervención humana en la limpieza de las dunas (Anexo 2 y 5). A diferencia de otros fenómenos naturales cuya dinámica puede predecirse con base en variables físicas y meteorológicas, el comportamiento del avance dunar en esta zona está condicionado por la capacidad organizativa de la comunidad y la continuidad de sus esfuerzos de mitigación.

El análisis de incertidumbre ha permitido establecer que el control del fenómeno depende en gran medida de la estabilidad social, económica y política de los habitantes del territorio. En el escenario actual, la comunidad ha logrado contener parcialmente la acumulación de arena mediante intervenciones periódicas, pero no existe certeza sobre la permanencia de esta capacidad de respuesta en el tiempo. La falta de apoyo institucional, la creciente precarización de los recursos hídricos y el abandono progresivo de la actividad agrícola podrían generar condiciones que dificulten o imposibiliten la continuidad de estas acciones.

Para cuantificar esta incertidumbre, se han generado proyecciones a 5, 10 y 15 años, considerando factores de riesgo social, económico y ambiental. Estas proyecciones han sido plasmadas en



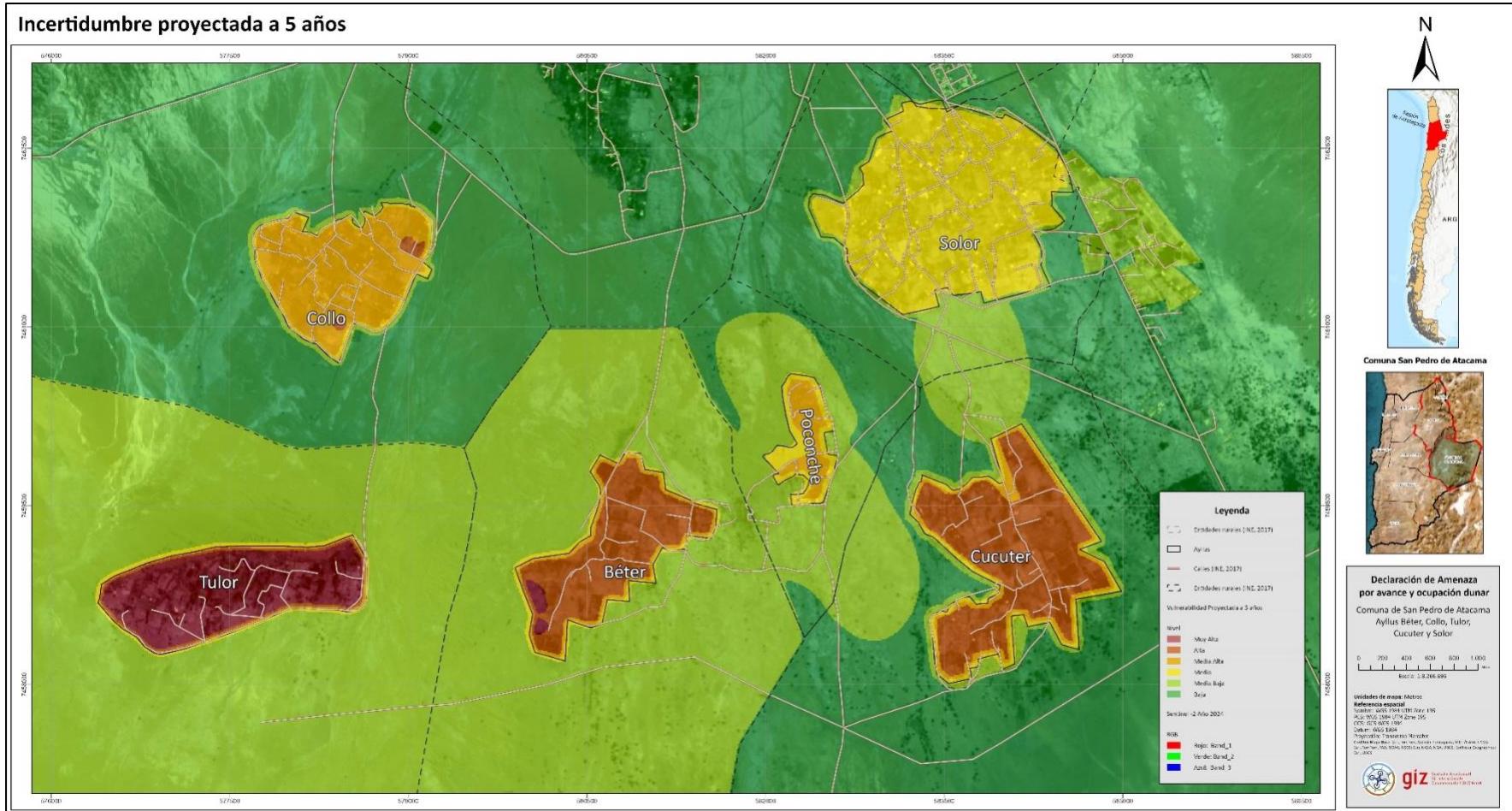
cartografía, evidenciando que el grado de incertidumbre se incrementa con el tiempo, conforme disminuye la capacidad organizativa de la comunidad y se profundizan los efectos del cambio climático y la degradación del territorio.

En el corto plazo (5 años), la incertidumbre se mantiene en niveles medios a altos en los ayllus más afectados, pero aún con una capacidad de respuesta relativamente activa. Sin embargo, en un escenario de 10 años, la vulnerabilidad proyectada se incrementa considerablemente en sectores como Tular y Béter, debido a la posibilidad de debilitamiento de las redes comunitarias y la reducción de recursos para la gestión del problema. Finalmente, en 15 años, el nivel de incertidumbre alcanza valores críticos, ya que, en caso de que no se implementen medidas de mitigación más estructurales, la dinámica dunar podría volverse incontrolable, superando la capacidad de intervención de la comunidad y generando un impacto irreversible en la producción agrícola, la infraestructura y el patrimonio cultural.

Las proyecciones de riesgo a futuro indican que la vulnerabilidad de los ayllus más afectados seguirá aumentando, incluso si la amenaza natural no se intensifica significativamente. Esto refuerza la importancia de considerar la incertidumbre como un factor clave en la planificación territorial y en la toma de decisiones a nivel local y regional. La gestión del avance dunar no puede basarse exclusivamente en la intervención comunitaria, sino que requiere de acciones coordinadas entre la población, las autoridades y otros actores involucrados, con el fin de garantizar la sostenibilidad del territorio y reducir la dependencia de estrategias informales de control.



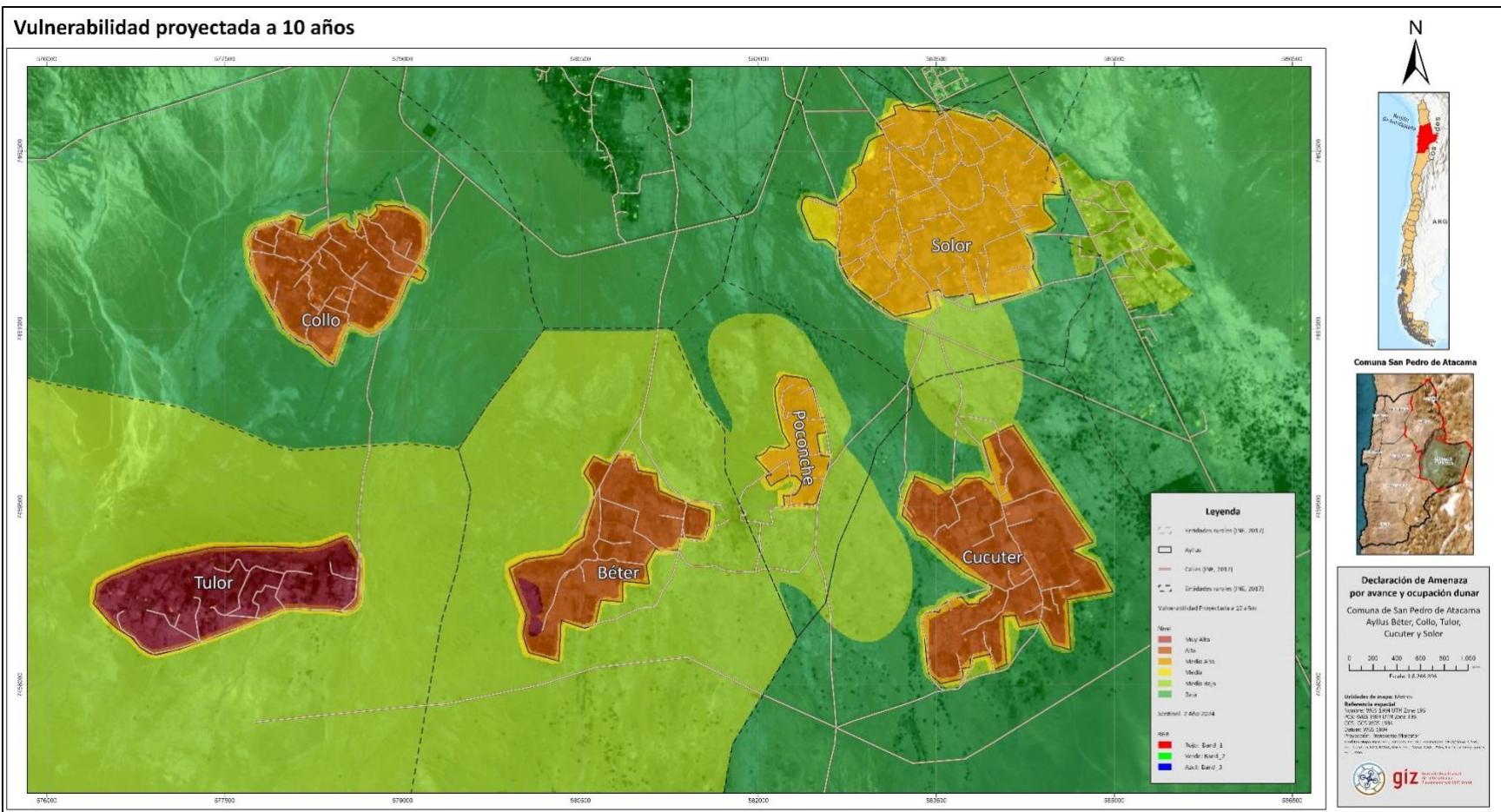
CARTOGRAFÍA 12: VULNERABILIDAD PROYECTADA A 5 AÑOS



Elaborado por Geo&MedioAmbiente mediante ArcGIS



CARTOGRAFÍA 13: VULNERABILIDAD PROYECTADA A 10 AÑOS

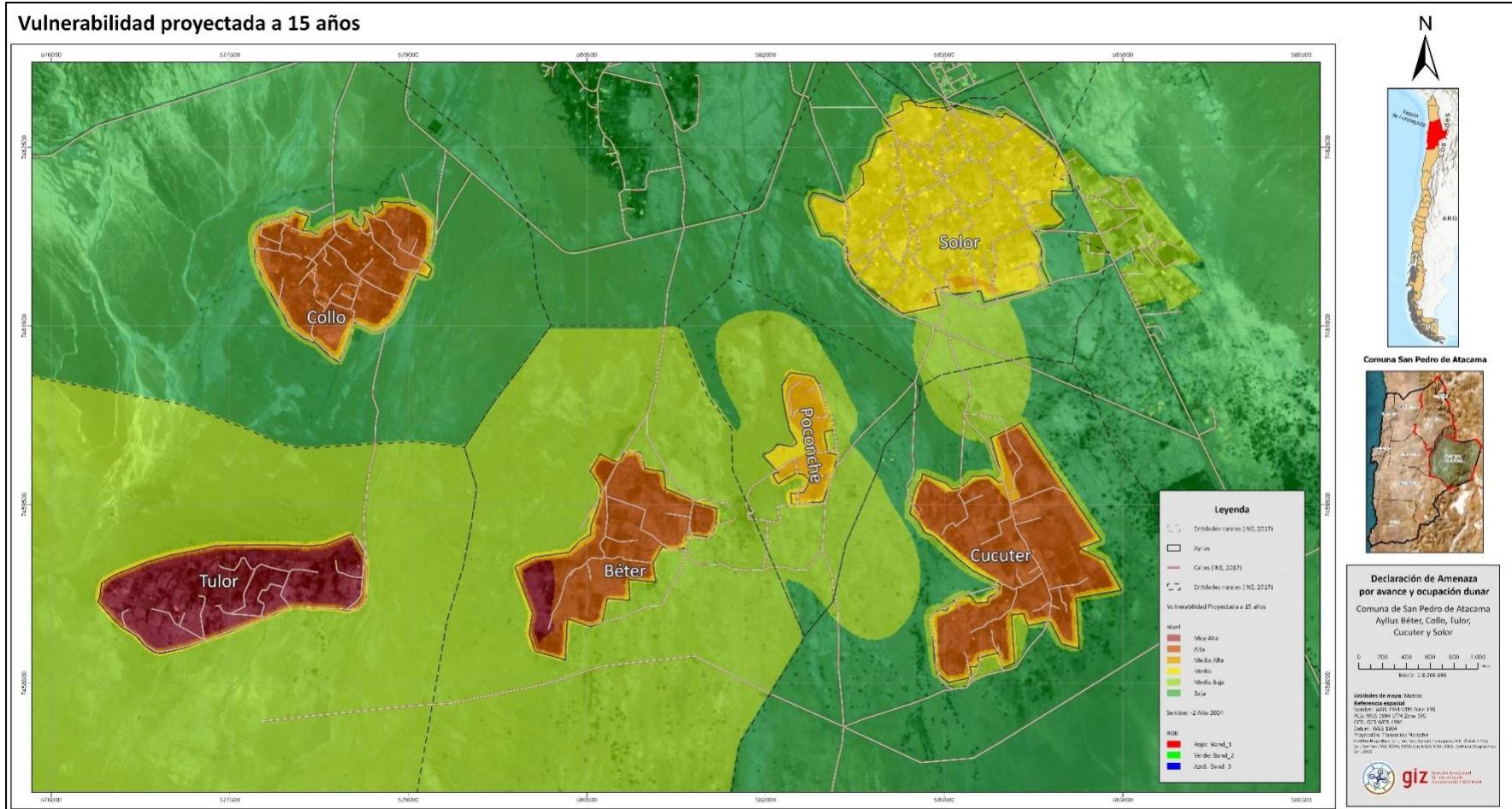


Elaborado por Geo&MedioAmbiente mediante ArcGIS



CARTOGRAFÍA 14: VULNERABILIDAD PROYECTADA A 15 AÑOS

Vulnerabilidad proyectada a 15 años



Elaborado por Geo&MedioAmbiente mediante ArcGIS



8. Niveles de Riesgo por Impacto de Acumulación y Avance Dunar

El análisis integrado de amenaza, peligro, exposición y vulnerabilidad ha permitido determinar que los ayllus de San Pedro de Atacama presentan niveles diferenciados de riesgo frente al avance y acumulación de dunas. La combinación de factores ambientales, geomorfológicos y sociales ha dado lugar a un escenario donde algunos sectores enfrentan una amenaza inminente, mientras que otros, aunque menos expuestos en la actualidad, pueden ver incrementada su vulnerabilidad en el mediano y largo plazo.

Los resultados del estudio identifican a Tular y Béter como los sectores de mayor riesgo, con un nivel muy alto, debido a la interacción de una amenaza constante, una alta probabilidad de acumulación de arena y la presencia de elementos críticos expuestos, tales como cultivos, canales de regadío y caminos. En estas zonas, la movilidad dunar ha mostrado un comportamiento persistente y dirigido, afectando directamente la productividad agrícola y la conectividad territorial. Además, la creciente degradación de los suelos y la reducción progresiva de los recursos hídricos agravan aún más la situación, disminuyendo la capacidad de recuperación de la comunidad.

En Poconche y Cucuter, el nivel de riesgo es alto, ya que, si bien la amenaza no es tan crítica como en Tular y Béter, los procesos de acumulación de arena han comenzado a afectar infraestructura productiva y vías de acceso, comprometiendo la sostenibilidad de las actividades económicas y la movilidad de la población. Estos sectores presentan una combinación de vulnerabilidad social y territorial que incrementa el impacto potencial del avance dunar a mediano plazo.

En Collo, el riesgo se clasifica como moderado a alto, con una menor persistencia de la amenaza en comparación con los ayllus más críticos, pero con una exposición relevante en ciertas áreas. La vulnerabilidad social y la presión sobre los recursos hídricos siguen siendo factores determinantes en la configuración del riesgo en este sector.

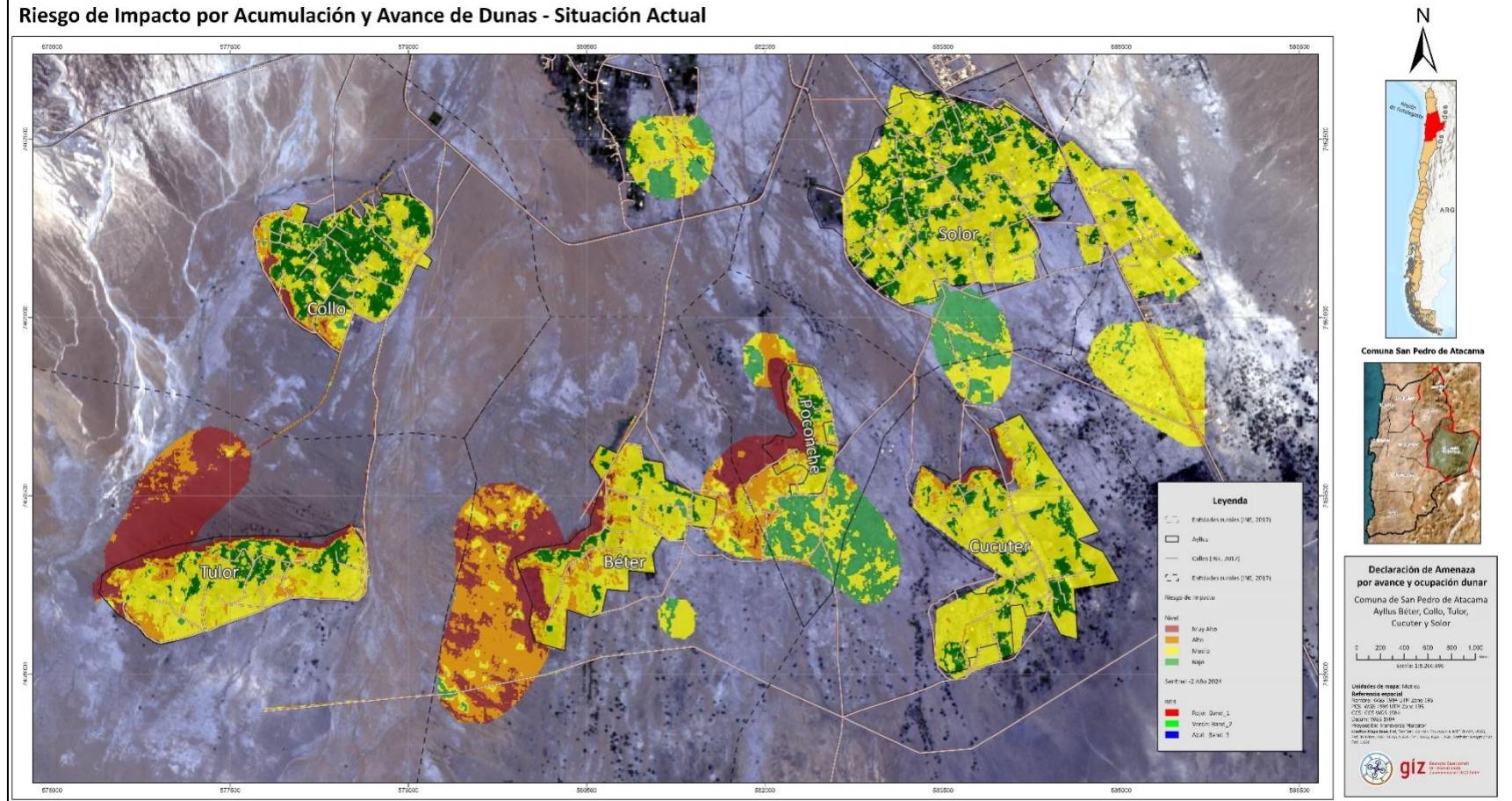
Por otro lado, Solor presenta el nivel de riesgo más bajo dentro del área de estudio, ya que la movilidad dunar no se manifiesta con la misma intensidad, y los elementos expuestos son menos numerosos. Sin embargo, la presencia de condiciones ambientales y económicas cambiantes podría modificar este escenario en el futuro, especialmente considerando la expansión del turismo y la reducción de fuentes hídricas.

En síntesis, la evaluación de riesgo confirma que la problemática del avance dunar es un fenómeno localizado pero con impactos diferenciados en cada ayllu, dependiendo del grado de exposición y de la capacidad de respuesta de la comunidad. Los niveles muy alto y alto en sectores como Tular, Béter, Poconche y Cucuter justifican la urgencia de una declaración formal de amenaza, ya que la progresiva acumulación de arena compromete la seguridad del territorio y la estabilidad de los sistemas productivos y de abastecimiento de agua.



CARTOGRAFÍA 15: RIEGO ACTUAL

Riesgo de Impacto por Acumulación y Avance de Dunas - Situación Actual



Elaborado por Geo&MedioAmbiente mediante ArcGIS



9. Escenarios Proyectivos

Las proyecciones realizadas a 5, 10 y 15 años permiten visualizar un escenario progresivo de incremento del riesgo, donde la continuidad de la afectación dependerá de la disponibilidad de recursos, la organización comunitaria y la intervención de las autoridades en la gestión del problema.

Los resultados obtenidos muestran que, en el corto plazo (5 años), los niveles de riesgo se mantienen elevados en Tular y Béter, mientras que en Poconche y Cucuter la amenaza sigue en ascenso, aumentando la presión sobre los sistemas agrícolas y la infraestructura vial. Collo, si bien no presenta un incremento abrupto, mantiene una tendencia sostenida de afectación, mientras que en Solor el riesgo sigue siendo bajo, sin grandes variaciones en el periodo proyectado.

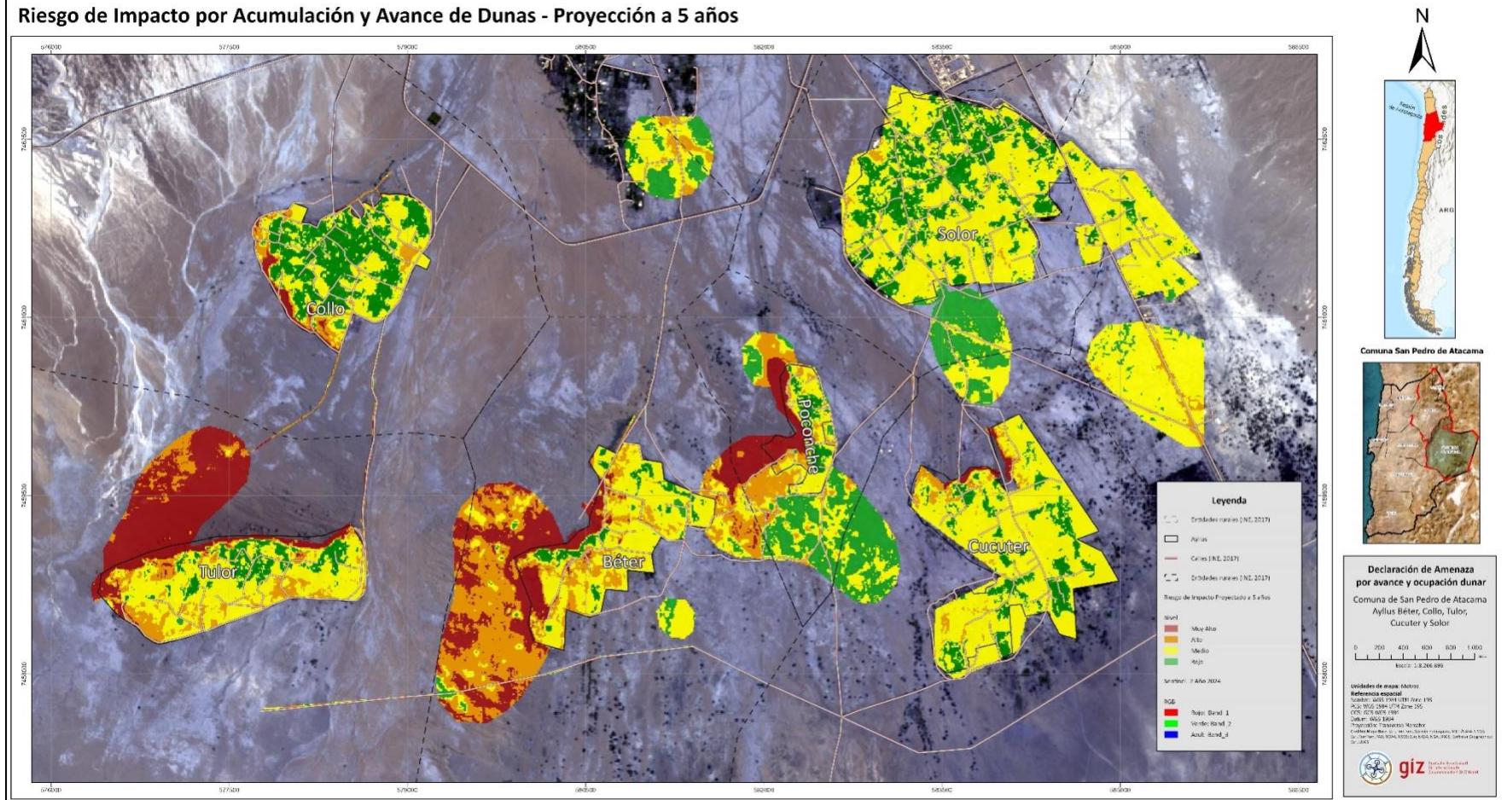
En un escenario de 10 años, el riesgo se intensifica en todos los ayllus, pero con un impacto crítico en Tular y Béter, donde la degradación de los suelos y la escasez hídrica pueden acelerar el abandono de la actividad agrícola, incrementando la vulnerabilidad social. En Poconche y Cucuter, el aumento del riesgo es evidente, con un posible colapso de los sistemas de regadío y mayor afectación de los caminos, dificultando la movilidad y conectividad territorial. Collo empieza a reflejar una vulnerabilidad creciente, mientras que en Solor, el riesgo podría empezar a manifestarse en zonas puntuales, debido a la expansión del turismo y la transformación del uso del suelo.

A 15 años, el escenario más crítico se proyecta en Tular y Béter, donde el riesgo alcanza niveles máximos, ya que la continuidad del avance dunar podría superar cualquier capacidad de respuesta comunitaria, con un impacto irreversible en la infraestructura productiva y en la habitabilidad del territorio. Poconche y Cucuter se suman a este nivel de alerta, mientras que Collo experimenta un incremento significativo del riesgo, derivado de la expansión del fenómeno y la disminución de opciones de mitigación. Solor, aunque aún menos afectado, enfrenta la incertidumbre de cambios en la dinámica territorial que podrían influir en su estabilidad a largo plazo.

Las proyecciones realizadas confirman que el riesgo por avance dunar no solo se mantiene en el tiempo, sino que tiende a intensificarse debido a la combinación de factores físicos y socioeconómicos. La creciente incertidumbre sobre la capacidad de respuesta comunitaria, junto con la ausencia de medidas estructurales de mitigación, refuerza la necesidad de una intervención urgente, con estrategias que no solo se enfoquen en la limpieza de dunas, sino que integren una planificación territorial a largo plazo para evitar el colapso de las actividades productivas y la pérdida de calidad de vida en los ayllus más afectados.



CARTOGRAFÍA 16: RIESGO PROYECTADO A 5 AÑOS

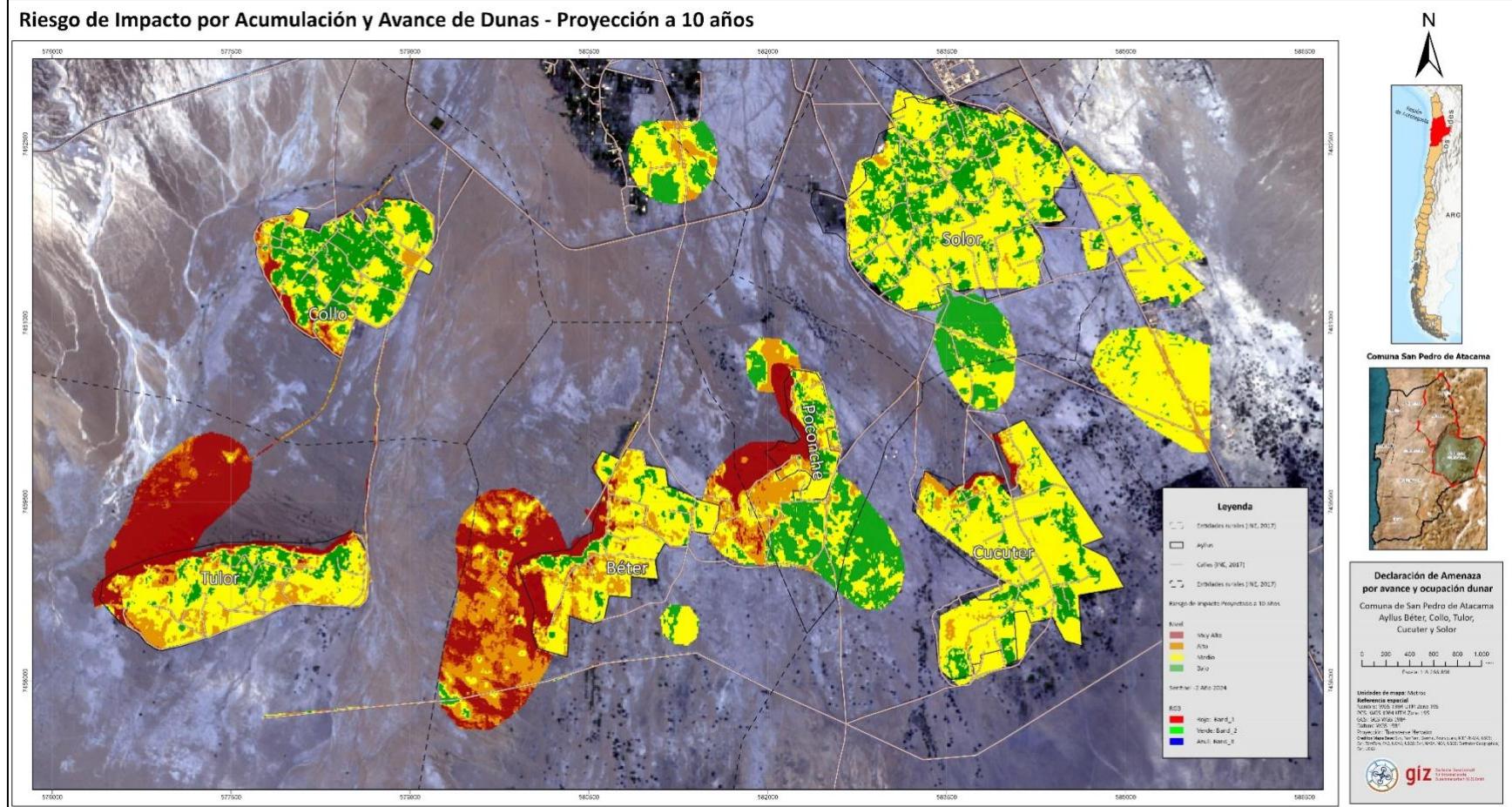


Elaborado por Geo&MedioAmbiente mediante ArcGIS



CARTOGRAFÍA 17: RIESGO PROYECTADO A 10 AÑOS

Riesgo de Impacto por Acumulación y Avance de Dunas - Proyección a 10 años

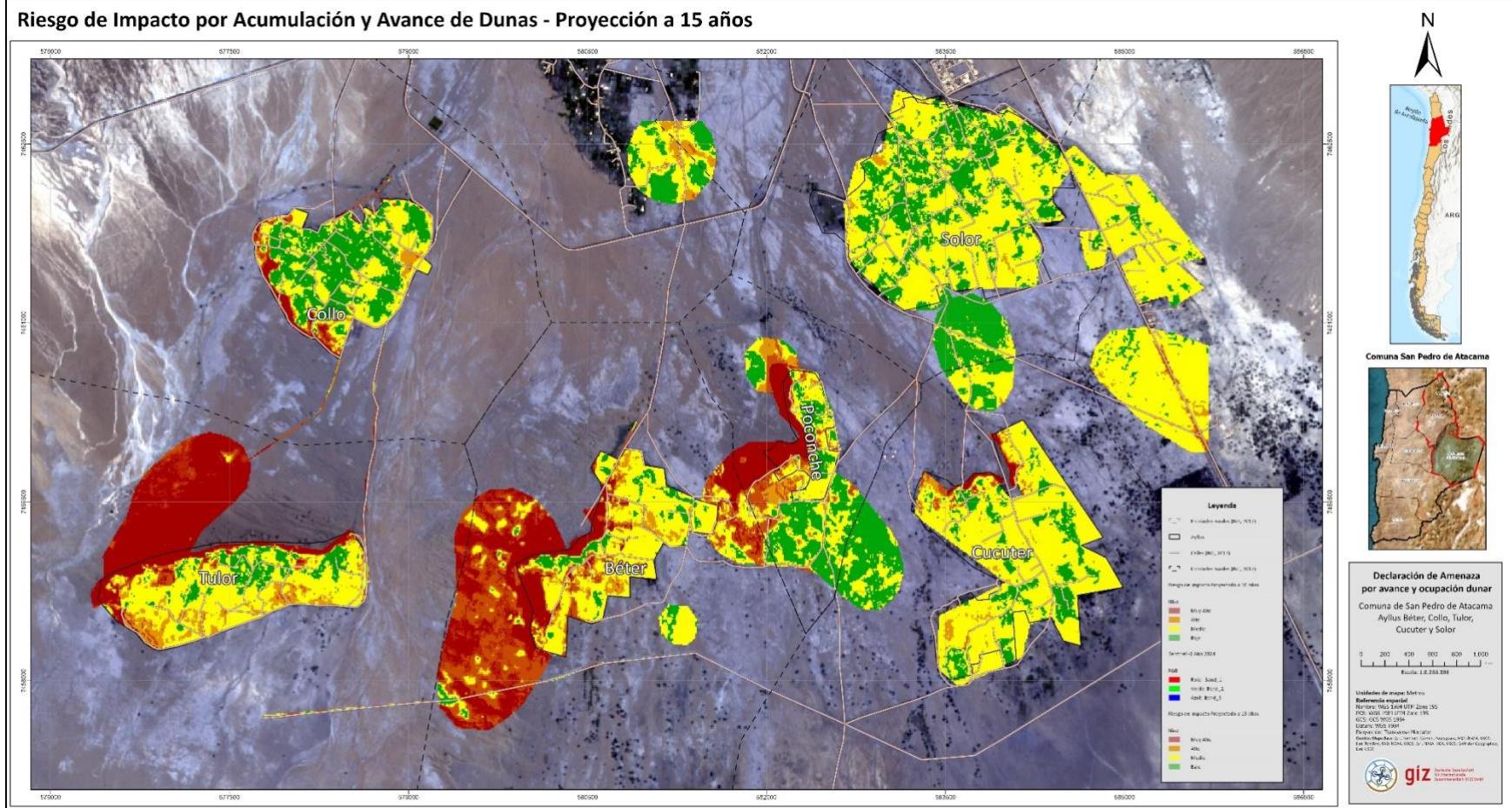


Elaborado por Geo&MedioAmbiente mediante ArcGIS



CARTOGRAFÍA 18: RIESGO PROYECTADO A 15 AÑOS

Riesgo de Impacto por Acumulación y Avance de Dunas - Proyección a 15 años



Elaborado por Geo&MedioAmbiente mediante ArcGIS



III. Normativa aplicable y responsabilidades institucionales (Marco legal y normativo que sustenta la necesidad de acción)

Este capítulo detalla el marco legal que sustenta la identificación y gestión del avance dunar como una amenaza, así como las responsabilidades de las instituciones involucradas.

1. Marco General de Gestión del Riesgo de Desastres

Ley N° 21.364 sobre Gestión del Riesgo de Desastres:

- Define qué es una amenaza y el deber del Estado en su gestión:

Texto de la ley:

"Créase el Sistema Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres, en adelante 'el Sistema', conformado por el conjunto de entidades públicas y privadas con competencias relacionadas con las fases del ciclo del riesgo de desastres, que se organizan descentralizada o descentralizadamente y de manera escalonada, desde el ámbito comunal, provincial, regional y nacional, para garantizar una adecuada Gestión del Riesgo de Desastres."

- Establece la obligación de identificar y reducir riesgos ambientales:

Texto de la ley:

"El Sistema tendrá por objeto planificar, coordinar y ejecutar acciones destinadas a la Gestión del Riesgo de Desastres, entendida esta como el proceso continuo, integrado y transversal de formulación, implementación, monitoreo y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones y medidas específicas, orientadas a la comprensión y reducción del riesgo de desastres en sus distintas dimensiones, así como a la preparación y respuesta ante situaciones de emergencia y desastres, con el fin de proteger a las personas, los bienes y el medio ambiente."

- Rol de SENAPRED y municipios en la planificación y mitigación de desastres:

Texto de la ley:

"El Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres, en adelante 'el Servicio', será el organismo encargado de asesorar, coordinar, organizar, planificar y supervisar las actividades relacionadas con la Gestión del Riesgo de Desastres del país. [...] Corresponderá a las municipalidades, en el ámbito de su territorio comunal, participar en la Gestión del Riesgo de Desastres, en conformidad con lo dispuesto en la presente ley y en la ley N° 18.695, Orgánica Constitucional de Municipalidades."

Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres (PNRRD):

- Directrices sobre identificación, monitoreo y prevención de amenazas naturales:

*Texto de la política:*

"La Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres establece las directrices para la identificación, análisis y monitoreo de amenazas y vulnerabilidades, promoviendo la implementación de medidas de prevención y mitigación que contribuyan a la reducción del riesgo de desastres en el país."

- **Principios de gestión territorial sostenible para prevenir impactos:**

Texto de la política:

"Se promoverá una gestión territorial sostenible, que considere la integración de la reducción del riesgo de desastres en los instrumentos de planificación territorial, con el fin de prevenir y reducir los impactos de eventos adversos en las comunidades y sus medios de vida."

2. Protección del Recurso Hídrico y del Sistema de Regadío

Código de Aguas (DFL N° 1 de 1981):

- **Derechos de aprovechamiento de agua y su protección ante amenazas:**

Texto del código:

"Las aguas son bienes nacionales de uso público. Sin embargo, los derechos de los particulares sobre las aguas, reconocidos o constituidos en conformidad a este Código, otorgan a sus titulares la propiedad de los mismos."

- **Obligación del Estado de garantizar la continuidad del recurso hídrico:**

Texto del código:

"El Estado velará por la protección y conservación de los recursos hídricos, adoptando las medidas necesarias para garantizar su disponibilidad y calidad para las generaciones presentes y futuras."

Ley Indígena N° 19.253:

- **Protección del agua como recurso vital para comunidades indígenas:**

Texto de la ley:

"El Estado reconoce el derecho de las comunidades indígenas a la protección y uso de las aguas que históricamente han utilizado en sus tierras, facilitando su acceso y conservación."

- **Reconocimiento del uso ancestral del agua y su relación con la cultura local:**

Texto de la ley:

"Se reconoce el uso consuetudinario de las aguas por las comunidades indígenas, considerando su importancia cultural, espiritual y de subsistencia."

Convención 169 de la OIT (ratificada por Chile en 2008):



- **Respaldo al derecho de los pueblos indígenas sobre sus recursos naturales:**

Texto de la convención:

"Los pueblos interesados deberán tener el derecho de participar en la utilización, administración y conservación de los recursos naturales existentes en sus tierras."

- **Obligación del Estado de proteger y consultar a las comunidades afectadas:**

Texto de la convención:

"Deberán establecerse procedimientos mediante los cuales los pueblos interesados puedan participar en la formulación, aplicación y evaluación de los planes y programas de desarrollo nacional y regional susceptibles de afectarlos directamente."

3. Protección del Suelo y la Actividad Agrícola

El avance dunar en los Ayllu de San Pedro de Atacama representa una pérdida progresiva de suelos fértiles, impactando la actividad agrícola tradicional y generando un riesgo de desertificación. La normativa aplicable en este contexto se relaciona con la conservación del suelo, la gestión del riesgo ambiental y los compromisos internacionales de Chile en la lucha contra la desertificación.

- **Conservación de Suelos y Prevención de la Erosión**

Decreto N° 158 del Ministerio de Agricultura (2004):

"Las medidas de conservación y rehabilitación de suelos estarán dirigidas a prevenir procesos de erosión, degradación y desertificación que afecten la productividad agrícola y la estabilidad ambiental de los territorios."

- Regula la conservación de suelos y la protección contra la erosión en Chile.
- Establece medidas para evitar la degradación de tierras agrícolas, incluyendo la estabilización de suelos en riesgo.
- Promueve estrategias para frenar el avance de la desertificación en zonas vulnerables.

El avance dunar puede ser considerado un proceso de degradación severa del suelo, por lo que el Decreto N° 158 respalda la necesidad de acciones preventivas y correctivas en la zona afectada.

- **Gestión del Riesgo de Desertificación y Degrado del Suelo**

Ley N° 21.364 sobre Gestión del Riesgo de Desastres:



“La Gestión del Riesgo de Desastres comprende el proceso de formulación, implementación y monitoreo de estrategias destinadas a la reducción del riesgo, incluidas aquellas orientadas a la protección de suelos agrícolas frente a amenazas ambientales.”

- Establece la obligación del Estado de identificar y gestionar amenazas naturales que afecten el medio ambiente y la producción agrícola.
- Incluye los fenómenos de desertificación dentro del concepto de riesgos ambientales.

El avance dunar genera un riesgo progresivo de desertificación, lo que obliga a las instituciones responsables a tomar medidas de mitigación según lo establecido en esta ley.

- **Compromisos Internacionales de Chile en Lucha contra la Desertificación**

Texto relevante de la UNCCD:

“Los países Partes, particularmente aquellos afectados por la desertificación, deberán adoptar medidas eficaces para combatir la degradación del suelo, incluyendo programas de reforestación, rehabilitación de tierras y estrategias de gestión sostenible.”

- Compromete al Estado chileno a implementar estrategias para frenar la degradación de suelos y la desertificación.
- Obliga a realizar monitoreos periódicos en zonas vulnerables y a desarrollar planes de acción contra la desertificación.

El Estado chileno está obligado por tratados internacionales a implementar estrategias de mitigación en zonas afectadas por la desertificación, lo que justifica la necesidad de acciones específicas en la zona de los Ayllu de San Pedro de Atacama.

4. Protección del Patrimonio Cultural y Modo de Vida Indígena

El avance dunar no solo afecta recursos naturales y productivos, sino que también impacta el patrimonio arqueológico, la identidad cultural y las dinámicas tradicionales de los pueblos indígenas en los Ayllu de San Pedro de Atacama.

- **Protección del Patrimonio Arqueológico y Cultural**

Ley N° 17.288 sobre Monumentos Nacionales

Texto relevante de la Ley N° 17.288:



"Son Monumentos Nacionales los lugares, ruinas, construcciones y objetos de carácter histórico o artístico, y los documentos, manuscritos e impresos de interés histórico o científico. Los Monumentos Nacionales son inalienables e imprescriptibles y su conservación es de utilidad pública."

- Protege los sitios arqueológicos y patrimoniales en el territorio nacional.
- Obliga a la conservación y protección de vestigios culturales en riesgo.
- Permite la declaración de zonas de interés patrimonial afectadas por fenómenos ambientales.

Los Ayllu de San Pedro de Atacama contienen sitios arqueológicos de valor histórico, cuya conservación se encuentra protegida por esta ley. El avance dunar representa un riesgo para la preservación de estos bienes patrimoniales.

- **Protección del Territorio Indígena y las Prácticas Tradicionales**

Ley Indígena N° 19.253*Texto relevante de la Ley N° 19.253:*

"El Estado reconoce que las tierras indígenas tienen un carácter especial y, en consecuencia, promoverá su protección y desarrollo, asegurando su acceso a los recursos naturales que en ellas existan."

- Reconoce y protege el territorio y los recursos naturales utilizados por los pueblos indígenas.
- Garantiza la continuidad de las prácticas culturales y productivas tradicionales.

El avance dunar amenaza el acceso al agua y la actividad agrícola tradicional en los Ayllu, lo que puede traducirse en una pérdida de prácticas culturales protegidas por esta ley.

- **Protección del Territorio Indígena y las Prácticas Tradicionales**

Convenio 169 de la OIT (ratificado por Chile en 2008)

"Los pueblos interesados deberán tener el derecho de participar en la utilización, administración y conservación de los recursos naturales existentes en sus tierras."

Cualquier intervención en el territorio indígena afectado por el avance dunar debe considerar la participación de la comunidad atacameña y su derecho a decidir sobre medidas de protección.

IV. Impacto sobre el sistema de regadío y el agua (Consecuencias y normativa específica del agua)



El avance dunar en los ayllus de San Pedro de Atacama ha generado afectaciones directas sobre el sistema de regadío y la disponibilidad de agua, comprometiendo la sustentabilidad de la actividad agrícola y la estabilidad de los ecosistemas locales. La acumulación de sedimentos en los canales de conducción reduce la eficiencia del sistema de riego, obstruyendo el flujo del agua y aumentando los costos de mantenimiento para la comunidad. Además, la escasez hídrica derivada de la extracción minera y la disminución de precipitaciones agrava el impacto de la arena en la infraestructura de riego, ya que la disminución del caudal dificulta la limpieza y el uso eficiente del recurso.

Desde una perspectiva de protección de los recursos naturales y derechos indígenas, la Ley Indígena N° 19.253 establece que el Estado debe garantizar el acceso y conservación de los recursos hídricos utilizados históricamente por las comunidades indígenas. En el caso de los ayllus de San Pedro de Atacama, la progresiva obstrucción de los canales de riego por acumulación de arena constituye una vulneración de este principio, ya que compromete el uso consuetudinario del agua por parte de la comunidad atacameña. La Convención 169 de la OIT, ratificada por Chile en 2008, refuerza este marco normativo al establecer que los pueblos indígenas tienen derecho a participar en la administración y conservación de los recursos naturales en sus tierras, lo que obliga al Estado a considerar medidas de mitigación para evitar el deterioro del sistema de riego.

El impacto del avance dunar sobre el agua y el sistema de regadío no solo es un problema de infraestructura, sino también un factor de vulnerabilidad territorial y social, ya que la reducción del acceso al recurso hídrico limita la capacidad de la comunidad para mantener sus sistemas productivos y su calidad de vida. La Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres (PNRRD) establece la necesidad de identificar y mitigar los riesgos ambientales que puedan afectar la seguridad de los recursos hídricos, promoviendo estrategias de manejo territorial que integren la conservación del agua y la prevención de impactos por amenazas naturales.

Dado que la gestión del agua es un factor crítico para la resiliencia del territorio, la interferencia del avance dunar en los sistemas de regadío constituye una amenaza directa a la sostenibilidad agrícola y a la seguridad hídrica de la comunidad. En este sentido, la obligación del Estado de velar por la protección y continuidad del recurso hídrico, establecida en el Código de Aguas, la Ley Indígena y la Convención 169 de la OIT, refuerza la necesidad de implementar medidas para prevenir la obstrucción de los canales de riego y garantizar el acceso equitativo al agua en los ayllus afectados.

V. Impacto sobre la agricultura y suelos fértiles (*Consecuencias y normativa específica agrícola y ambiental*)

El avance dunar en los ayllus de San Pedro de Atacama ha generado una pérdida progresiva de suelos fértiles, afectando la productividad agrícola y comprometiendo la seguridad alimentaria de la comunidad. La acumulación de arena sobre terrenos cultivables reduce la disponibilidad de tierra apta para el cultivo, lo que ha llevado a la disminución de la superficie agrícola y, en algunos casos, al abandono forzado de la actividad.



La Ley N° 21.364 sobre Gestión del Riesgo de Desastres establece que el Estado tiene la obligación de identificar y gestionar amenazas ambientales que afecten la estabilidad del territorio y las actividades productivas. En este sentido, el avance de las dunas representa una amenaza ambiental activa, ya que genera procesos de degradación del suelo que afectan directamente la capacidad de producción de los agricultores locales. La reducción de suelos fértilles no solo impacta la economía local, sino que también incrementa la vulnerabilidad de la población, ya que limita su capacidad de autosustento y la disponibilidad de recursos básicos.

Desde una perspectiva ambiental, el Decreto N° 158 del Ministerio de Agricultura (2004) regula la conservación de suelos y la protección contra la erosión en Chile. Este decreto establece que las medidas de conservación deben prevenir la degradación del suelo agrícola y garantizar su estabilidad a largo plazo, promoviendo estrategias como la estabilización de suelos en riesgo y la reforestación de áreas vulnerables. En el contexto de los ayllus de San Pedro de Atacama, la progresiva acumulación de arena sobre las tierras agrícolas representa un proceso de degradación severa del suelo, lo que respalda la necesidad de implementar medidas preventivas y correctivas según lo establecido en esta normativa.

El Código de Aguas (DFL N° 1 de 1981) también tiene un papel fundamental en la protección de la actividad agrícola, ya que la reducción de la superficie cultivable afecta directamente la disponibilidad de agua para riego y la eficiencia de los sistemas de distribución. La acumulación de arena en los suelos fértilles genera una mayor demanda de recursos hídricos para compensar la pérdida de productividad, lo que intensifica el conflicto por el acceso al agua en un territorio donde este recurso ya es limitado.

En el contexto de los derechos indígenas, la Ley N° 19.253 sobre Protección y Desarrollo Indígena establece que el Estado debe garantizar el acceso de las comunidades indígenas a sus tierras y recursos naturales, asegurando la continuidad de sus prácticas productivas tradicionales. La progresiva disminución de suelos agrícolas debido al avance dunar representa una amenaza directa al sustento de la comunidad atacameña, ya que impide la continuidad de sus actividades agropecuarias y afecta su relación histórica con el territorio.

A nivel internacional, la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD) obliga a los países afectados por la degradación del suelo a implementar estrategias de mitigación, rehabilitación y gestión sostenible de la tierra. Chile, como parte de este tratado, tiene el compromiso de desarrollar planes de acción para prevenir la desertificación y proteger los suelos agrícolas en zonas vulnerables. En este contexto, el avance dunar en los ayllus de San Pedro de Atacama constituye un riesgo de desertificación, lo que refuerza la urgencia de implementar medidas para frenar la degradación del suelo y garantizar la viabilidad de la actividad agrícola en el territorio.

En conclusión, la acumulación de arena sobre los suelos fértilles no solo impacta la productividad agrícola y la seguridad alimentaria de la comunidad, sino que también representa un problema ambiental de largo plazo que puede acelerar el proceso de desertificación en la zona. La normativa



agrícola y ambiental vigente, tanto a nivel nacional como internacional, respalda la necesidad de adoptar medidas de protección y rehabilitación de suelos, asegurando la estabilidad del territorio y la continuidad de la actividad agrícola en los ayllus más afectados.

VI. Afectación cultural y alteración de las dinámicas de vida (*Consecuencias y normativa sobre patrimonio y cultura indígena*)

El avance dunar en los ayllus de San Pedro de Atacama no solo impacta el territorio desde una perspectiva ambiental y productiva, sino que también afecta profundamente la identidad cultural y las dinámicas de vida de la comunidad. La acumulación de arena sobre terrenos agrícolas y caminos tradicionales altera las formas de habitar el espacio, modifica el uso del territorio y genera cambios en las prácticas económicas y sociales, debilitando el vínculo histórico entre la población atacameña y su entorno.

La Ley N° 17.288 sobre Monumentos Nacionales establece la obligación de proteger los sitios arqueológicos y patrimoniales, los cuales son considerados bienes de interés histórico y cultural. En los ayllus afectados por el avance dunar, se han identificado monumentos y vestigios arqueológicos en riesgo de ser sepultados por la arena, lo que representa una amenaza directa a la conservación del patrimonio atacameño. La misma normativa establece que la conservación de estos bienes es de utilidad pública y debe ser garantizada por el Estado, lo que justifica la necesidad de adoptar medidas de protección frente a los efectos del avance dunar sobre estos sitios.

Además de la afectación al patrimonio arqueológico, la acumulación de sedimentos también genera una transformación en las prácticas culturales y económicas de la comunidad, modificando sus dinámicas tradicionales. Históricamente, los ayllus de San Pedro de Atacama han dependido de la agricultura, el pastoreo y la artesanía como actividades de subsistencia, pero el avance de las dunas ha provocado la reducción de tierras cultivables y el abandono progresivo de la actividad agrícola, obligando a muchas familias a diversificar su economía hacia el turismo o empleos externos. Este cambio, si bien puede representar una alternativa económica viable, también implica la pérdida de conocimientos ancestrales y la transformación de las relaciones sociales en la comunidad.

La Ley Indígena N° 19.253 reconoce el derecho de los pueblos indígenas a la protección y desarrollo de su identidad cultural, sus prácticas productivas tradicionales y su vínculo con el territorio. El impacto del avance dunar sobre los sistemas agrícolas y las formas de vida de la comunidad puede considerarse una vulneración de este derecho, ya que impide la continuidad de una actividad que ha sido históricamente central en la organización social y económica de los ayllus. La misma ley establece que las tierras indígenas tienen un carácter especial y deben ser protegidas del deterioro ambiental, lo que refuerza la necesidad de adoptar estrategias para mitigar la pérdida de suelos fértiles y la transformación del paisaje.

Desde una perspectiva internacional, la Convención 169 de la OIT, ratificada por Chile en 2008, establece que los pueblos indígenas deben participar en la gestión y conservación de los recursos naturales en sus territorios, y que cualquier acción que afecte su modo de vida debe ser consultada



y planificada con su participación activa. En este sentido, la falta de medidas de mitigación y protección frente al avance dunar puede considerarse una omisión en la aplicación de este principio, ya que los impactos sobre el territorio están alterando de manera directa la organización social y productiva de la comunidad atacameña sin que existan soluciones estructurales para enfrentar la problemática.

Además de la transformación de la actividad económica, el avance dunar ha generado impactos en la conectividad y movilidad de la población, ya que varios caminos tradicionales han sido cubiertos por arena, dificultando el acceso a ciertos sectores y limitando la comunicación entre los ayllus. Esta afectación a la infraestructura vial tiene consecuencias directas en el acceso a servicios básicos, como la salud y la educación, aumentando la dependencia de la población hacia centros urbanos y reduciendo la autonomía de la comunidad en la gestión de su territorio.

En conclusión, la afectación cultural y la alteración de las dinámicas de vida en los ayllus de San Pedro de Atacama son impactos directos del avance dunar, que no solo comprometen la conservación del patrimonio arqueológico, sino que también generan transformaciones en las prácticas productivas, la organización social y la movilidad de la comunidad. La legislación vigente en materia de patrimonio cultural, derechos indígenas y conservación del territorio establece la obligación del Estado de proteger estos elementos y garantizar la continuidad de las prácticas culturales tradicionales, lo que refuerza la necesidad de adoptar estrategias que mitiguen los efectos del avance dunar y aseguren la sostenibilidad del modo de vida atacameño.

VII. Declaración de Amenaza

A partir del análisis exhaustivo de la dinámica dunar, la evaluación de la amenaza, el peligro, la exposición y la vulnerabilidad territorial y social en los ayllus de San Pedro de Atacama, se declara que la acumulación y el avance de dunas representan una amenaza activa y progresiva, cuyos efectos generan impactos significativos sobre la infraestructura productiva, los sistemas de regadío, la movilidad territorial, la seguridad hídrica y la continuidad de las prácticas culturales y económicas de la comunidad.

Si bien las dunas han sido parte del paisaje natural del territorio, los cambios ambientales, climáticos y sociales han modificado su equilibrio con el entorno, potenciando su capacidad de generar afectaciones directas sobre las actividades humanas y los bienes materiales de la comunidad. El análisis de persistencia y variabilidad ha demostrado que la movilidad dunar no es uniforme ni estable, sino que responde a múltiples factores, incluyendo el viento, la pendiente, la disponibilidad de sedimentos y la intervención humana, lo que aumenta la incertidumbre respecto a su comportamiento futuro.



La evidencia recopilada en este estudio indica que los efectos del avance dunar no pueden ser subestimados, ya que han generado pérdida progresiva de suelos fértiles, obstrucción de canales de regadío, alteración de caminos y una creciente presión sobre los recursos hídricos de la zona. Además, la presencia de sedimentos en las áreas de cultivo ha llevado al abandono de la actividad agrícola en algunos sectores, modificando las dinámicas económicas de los ayllus y obligando a la diversificación hacia otras actividades, como el turismo.

Desde una perspectiva social y cultural, el impacto de la amenaza dunar afecta la estabilidad del modo de vida atacameño, alterando sus prácticas ancestrales y reduciendo la capacidad de resiliencia de la comunidad frente a un fenómeno que, aunque natural, ha sido potenciado por factores externos. La afectación a sitios arqueológicos y patrimoniales compromete la identidad cultural del territorio, poniendo en riesgo elementos de alto valor histórico que forman parte del legado de la comunidad atacameña.

El presente estudio confirma que la acumulación y el avance dunar constituyen una amenaza de carácter ambiental y territorial, con potencial de generar impactos graves en los ayllus de Tular, Béter, Poconche, Cucuter y Collo, y en menor medida en Solor. Las proyecciones realizadas advierten que, sin medidas de mitigación y planificación territorial, el riesgo asociado a este fenómeno continuará aumentando en los próximos años, afectando no solo la infraestructura física del territorio, sino también la sostenibilidad de las actividades económicas y la cohesión social de la comunidad.

Por lo tanto, se reconoce y declara formalmente la amenaza por impacto de acumulación y avance dunar en los ayllus de San Pedro de Atacama, como un fenómeno que requiere atención urgente y planificación estratégica para evitar la progresiva degradación del territorio, la pérdida de recursos hídricos y agrícolas, y la alteración de la calidad de vida de la población local.

VIII. Conclusiones

La evaluación integral del avance dunar en los ayllus de San Pedro de Atacama ha permitido establecer que su impacto sobre el territorio no puede ser comprendido únicamente desde una perspectiva geomorfológica, sino que debe analizarse en el contexto de las dinámicas culturales, ambientales y sociales que han definido la relación histórica entre la comunidad y su entorno. Para los habitantes de los ayllus, las dunas no son concebidas como una amenaza en sí misma, sino como un componente natural del paisaje, cuya presencia ha sido parte de su territorio desde tiempos inmemoriales. Sin embargo, factores externos como las alteraciones climáticas, la reducción de los recursos hídricos y el debilitamiento de las prácticas agrícolas tradicionales han modificado el equilibrio que existía entre la comunidad y el ecosistema dunar, transformando lo que antes era una presencia estable en una fuente de impacto y afectación sobre el territorio.

Los resultados del estudio evidencian que la dinámica de las dunas es altamente variable en el tiempo y no sigue un patrón uniforme de avance, lo que implica que su comportamiento está condicionado no solo por la acción del viento y la disponibilidad de sedimentos, sino también por



las intervenciones humanas y los cambios en el uso del suelo. En este sentido, las actividades de limpieza y remoción de arena, realizadas por los propios habitantes de los ayllus, han tenido un rol clave en la contención del fenómeno, pero al mismo tiempo han generado una dependencia estructural de la comunidad hacia estas acciones, haciendo que la mitigación del problema recaiga casi exclusivamente en el esfuerzo colectivo de las personas afectadas.

El estudio ha demostrado que los sectores con mayor riesgo de afectación son Tular y Béter, donde la movilidad dunar se combina con una alta vulnerabilidad social y territorial. La pérdida progresiva de suelos cultivables, la obstrucción de canales de regadío y la alteración de caminos han puesto en jaque la continuidad de las actividades productivas tradicionales, incrementando la incertidumbre sobre el futuro del territorio y su capacidad de resiliencia. En otros sectores como Poconche, Cucuter y Collo, el riesgo es igualmente significativo, pero con menor intensidad en comparación con los ayllus más críticos. En tanto, Solor presenta un nivel de riesgo menor, aunque sigue expuesto a los efectos indirectos del fenómeno, como la escasez hídrica y la transformación del paisaje productivo.

Las proyecciones realizadas han permitido identificar que el riesgo asociado al avance dunar tiende a intensificarse con el tiempo, no solo por la persistencia de la amenaza natural, sino porque los factores de vulnerabilidad social y territorial pueden agravarse en el futuro, especialmente si la capacidad de respuesta comunitaria se ve debilitada por la falta de apoyo institucional o por cambios en la estructura económica y social de los ayllus. El análisis de incertidumbre ha sido clave para comprender que el impacto futuro del avance dunar dependerá en gran medida de la capacidad de la comunidad para seguir gestionando su territorio y adaptándose a los cambios ambientales y climáticos, lo que refuerza la necesidad de una planificación territorial que integre tanto la dimensión física del fenómeno como sus implicancias socioculturales.

Desde una perspectiva cultural, el avance de las dunas no solo representa un problema material y productivo, sino que también afecta la identidad y la forma de vida de la comunidad atacameña, cuya organización y cosmovisión han estado históricamente ligadas al equilibrio del territorio. La alteración de este equilibrio, provocada por factores climáticos y externos, ha generado un escenario donde la duna, antes percibida como parte del paisaje, se ha convertido en un agente de transformación con consecuencias negativas para la población. Este cambio en la percepción del fenómeno refleja cómo las amenazas naturales pueden estar determinadas no solo por sus características físicas, sino también por la manera en que son interpretadas y enfrentadas por las comunidades locales.

Dado lo anterior, la gestión del avance dunar no puede abordarse únicamente desde una perspectiva de mitigación estructural, sino que debe incorporar un enfoque integral que considere la interacción entre los factores ambientales, territoriales y socioculturales. La comunidad ha demostrado una capacidad de adaptación y respuesta significativa, pero el futuro del territorio dependerá de la implementación de estrategias que no solo mitiguen los efectos inmediatos del fenómeno, sino que también fortalezcan la resiliencia social y ambiental de los ayllus, asegurando



la sostenibilidad del paisaje y la continuidad de las prácticas culturales y productivas que han definido la vida en San Pedro de Atacama por generaciones.