



Estudio de *Lama Guanicoe*

**Mina Los Colorados
Compañía Minera del Pacífico S.A.**

Preparado para:



Elaborado por:

MyMA



Diciembre, 2025.



Informe Técnico de *Lama guanicoe*
(Documento de cierre a brechas MUT RE 1979/2024)

Compañía Minera del Pacífico S.A.
Mina Los Colorados

1	15-12-2025	Aprobación Cliente	MV/FS	PO	JA	BS/JB	BS/JB
0	04-11-2025	Revisión Cliente	MV/FS	PO	JA	BS/JB	BS/JB
B	10-09-2025	Revisión Cliente	MV/FS	PO	JA	BS/JB	
A	09-09-2025	Revisión Interna	MV/FS	PO			
REV	FECHA	EMITIDO PARA	POR	J. Proy.	Aprobó	J. Proy	Aprobó
			MYMA			CLIENTE	
CONSULTOR			Nº Documento			REV	
MyMA			CODIGO MYMA MY-057-2024			1	

CONTENIDO

1.	1
2.	4
3.	6
3.1	6
4.	7
4.1	7
4.2	7
5.	8
5.1	8
5.1.1	8
5.1.2	8
5.2	8
5.2.1	8
5.2.2	8
5.2.3	9
5.2.4	9
5.2.5	9
5.3	9
5.3.1	9
5.3.2	10
5.3.3	10
5.3.4	10
5.3.5	10
5.3.6	11
5.4	11
5.4.1	11
5.4.2	12
5.4.3	12
5.4.4	13
5.4.5	14

5.4.6	15
5.4.7	15
5.5	15
5.5.1	15
5.5.2	16
5.5.3	16
5.5.4	16
5.5.5	16
5.5.6	17
5.6	17
5.6.1	17
5.6.2	17
6.	19
6.1	19
6.1.1	19
6.1.2	20
6.1.3	21
6.1.4	21
6.2	22
6.2.1	22
6.2.2	25
6.3	26
6.3.1	26
6.3.2	29
6.4	31
6.4.1	31
6.4.2	38
6.4.3	43
6.4.4	48
6.5	50
6.5.1	50
6.5.2	50

6.5.3	51
6.6	51
6.6.1	51
6.6.2	54
6.6.3	56
7.	58
8.	60
9.	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Fuentes de Información históricas utilizadas para la realización del estudio	11
Tabla 2: Clasificación del NDWI	13
Tabla 3: Clasificación NDVI	14
Tabla 4: Segmentación de los valores de Pendiente según fricción	14
Tabla 5: Contribución de las variables al modelo de idoneidad de hábitat	24
Tabla 6: Estadígrafos evaluados para la tendencia poblacional	25
Tabla 7: Estadígrafos evaluados para la tendencia poblacional por estación	26
Tabla 8: Estadígrafos evaluados para el quiebre de datos	27
Tabla 9: Estadígrafos evaluados para la tendencia poblacional en Mina Los Colorados	28
Tabla 10: Puntos y superficies de zonas de interés para <i>Lama guanicoe</i>	30
Tabla 11: Métricas de referencia a nivel clase	43
Tabla 12: Umbrales de co-ocurrencia entre registros de guanaco y tronaduras	46
Tabla 13: Análisis estadísticos sobre el patrón del NDVI en las dos zonas comparadas	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Comparación de pisos vegetacionales entre el Parque Nacional Llanos de Challe y Mina Los Colorados	22
Figura 2: Idoneidad de hábitat	23
Figura 3: Tendencia Poblacional de guanacos en el Parque Nacional Llanos de Challe	25
Figura 4: Tendencia Poblacional de guanacos en el Parque Nacional Llanos de Challe en estación estival (izquierda) e invernal (derecha)	26
Figura 5: Análisis de ruptura o quiebre de datos	27
Figura 6: Tendencia Poblacional de guanacos en Mina Los Colorados	28
Figura 7: Variación multitemporal del NDVI	29
Figura 8: Variación multitemporal del NDWI	30
Figura 9: Zonas de interés para <i>Lama guanicoe</i> en base a zonas de vegetación con alto vigor y cuerpos de agua (NDVI y NDWI)	34
Figura 10: Sistematización de los registros de <i>Lama guanicoe</i>	36

Figura 11: Densidad de Kernel de los registros de presencia de <i>L. guanicoe</i>	37
Figura 12: AUC y comportamiento de variables bioclimáticas utilizadas en el modelo	38
Figura 13: Mapa de idoneidad de hábitat de <i>Lama guanicoe</i> resultante del análisis con Maxent	39
Figura 14: Zonas de interés para <i>Lama guanicoe</i> y resistencia según variables utilizadas	41
Figura 15: Rutas de mínimo costo energético	42
Figura 16: Concentración de tronaduras y co-ocurrencia de guanacos en el período evaluado	45
Figura 17: Distancia de tronadura a registros de guanacos en el periodo de un año	46
Figura 18: Serie NDVI Normalizada de los sectores con y sin influencia de MPS	47
Figura 19: Representación de riesgo de atropello para el área de estudio	49

ACRÓNIMOS

- EIA: Estudio de Impacto Ambiental
- DIA: Declaración de Impacto Ambiental
- CAV: Compromiso Ambiental Voluntario
- MLC: Mina Los Colorados
- PNLC: Parque Nacional Llanos de Challe
- NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
- NDWI: Índice Diferencial de Agua Normalizado
- MPS: Material Particulado Sedimentable
- FV: Fotovoltaico
- BESS (Battery Energy Storage System): Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías

1. RESUMEN EJECUTIVO

Este estudio constituye una consolidación de antecedentes respecto de la presencia de grupos de la especie de Lama guanicoe (guanaco) en el entorno de CMP – Mina Los Colorados. Integra fuentes oficiales y propias (CONAF AR0003T-0009119; monitoreos de Mina Los Colorados 2012–2024), y aplica métodos estandarizados y reproducibles: modelos de conteo (GLM/NB2) para tendencias, modelación de idoneidad (Maxent), análisis de estructura y conectividad del paisaje (FRAGSTATS, Conefor), series multitemporales NDVI/NDWI (Landsat 8/9) y rutas de mínimo costo. Adicionalmente, incorpora los factores intrínsecos de la operación (tronaduras y MPS) requeridos en el Acta ORA N°96/2025, subsanando las brechas detectadas por la autoridad.

A escala local, Mina Los Colorados y el Parque Nacional Llanos de Challe (PNLC – ítem 6.2) forman parte de una misma matriz ecogeográfica costera árida. El modelo de idoneidad delimita una franja costera continua de alta aptitud de $\approx 358,8 \text{ km}^2$ que incluye PNLC y Mina Los Colorados. Las obras de la Faena Los Colorados equivalen a aproximadamente 200 ha ($2,0 \text{ km}^2$), es decir 0,56% de dicha franja y $<0,01\%$ del total regional de idoneidad, por lo que no constituye un cuello de botella ni un punto crítico en la distribución local de la especie.

En PNLC (2009–2024) se confirma una disminución anual significativa de $\approx -5,8\%$, con un quiebre en 2011 que da paso a un descenso más marcado ($\approx -8-9\%/año$). Los conteos invernales son en promedio 43% superiores a los estivales, sin diferencias en la pendiente temporal entre estaciones. En el área de Mina Los Colorados (MLC) (2012–2024) no se detecta una tendencia monótona estadísticamente significativa (pendiente estimada $-5,6\%/año$; $p > 0,05$), aunque el signo es coherente con el patrón regional. Este contraste es consistente con variables forzantes regionales (sequías prolongadas, aridez) y presiones extrínsecas (p. ej., perros asilvestrados, cercos perimetrales, sarna).

El análisis de fragmentación y conectividad en la franja de hábitat idóneo ($\approx 358,8 \text{ km}^2$) muestra que la huella de la Faena Los Colorados ($\approx 200 \text{ ha}$) representa menos del 1% de la superficie de hábitat de alta idoneidad para la especie. Las métricas de paisaje (PC, ECA, LPI, ED) indican que no se generan nuevos “cuellos de botella” ni se pierde la continuidad entre los principales parches de hábitat idóneo. Además, el polígono intervenido no coincide con núcleos de alto vigor vegetal. En consecuencia, la pérdida de hábitat atribuible a la Faena se considera reducida y localizada, sin fragmentación estructural significativa ni afectación relevante de la conectividad ecológica para *Lama guanicoe* en la franja costera evaluada. En el marco de los factores operacionales analizados, se evaluó de forma específica la relación entre los eventos

de tronadura en Mina Los Colorados y el uso del espacio por parte de los guanacos. Respecto de tronaduras, la distancia entre los registros de guanacos y el blast más próximo se distribuye principalmente entre 4 y 6 km, con aproximadamente un 12% de observaciones a ≤ 2 km y más del 95% a ≤ 10 km. Cuando se considera co-ocurrencia espacio-temporal estricta (registros a ≤ 2 km de un blast y dentro de una ventana de 7 días), los eventos se concentran en ventanas cortas y no muestran un patrón sistemático de alejamiento progresivo posterior a las tronaduras. Esta evaluación se realizó utilizando el plan de tronaduras vigente para MLC, de modo que es representativa de las condiciones reales de operación. En síntesis, el análisis indica que el efecto de las tronaduras sobre el uso del paisaje por parte de *Lama guanicoe* es bajo y no significativo a la escala evaluada: la especie sigue utilizando el entorno de la faena, no se detecta una “zona de exclusión” espacial en torno a los puntos de tronadura y no se observan evidencias de desplazamiento regional inducido por este factor operacional.

Las series NDVI (2000–2024) obtenidas para sectores con influencia del MPS y para áreas de control comparables presentan correlaciones muy altas tanto en los niveles como en los cambios interanuales, sin desfases temporales relevantes. Esto implica que la operación del MPS no ha generado una señal detectable de empobrecimiento diferencial de la vegetación respecto de áreas control, por lo que, a la escala de análisis utilizada, no se reconoce una pérdida significativa de productividad del hábitat atribuible a este factor. Se identificaron y priorizaron zonas de interés para alimentación y tránsito mediante NDVI/NDWI y rutas de mínimo costo, con una red densa de parches (220 de alto vigor, 112 de alta humedad) y 246 rutas “teóricas” que convergen hacia la costa y el noroeste del área de influencia¹. Esta cartografía proporciona insumos operativos para gestión focalizada (permeabilidad, tránsito seguro, validación con cámaras trampa). En conjunto, este análisis permitió identificar un subconjunto acotado de parches que combinan alto vigor de la vegetación (NDVI) y alta disponibilidad de humedad (NDWI), los cuales se interpretan como áreas prioritarias de alimentación y paso para *Lama guanicoe* dentro del entorno de Mina Los Colorados. Estos parches constituyen los principales focos espaciales para orientar medidas de manejo y monitoreo.

Con la evidencia integrada, se concluye que:

- (i) la población costera de guanacos asociada a PNLC presenta una tendencia de disminución significativa a escala regional, atribuible principalmente a factores extrínsecos (sequía prolongada, perros de libre deambular, caza furtiva y otros disturbios regionales);
- (ii) en el área del Mina Los Colorados no se acredita una tendencia poblacional propia (al alza o a la baja) que difiera de este patrón regional; y
- (iii) los factores operacionales evaluados para MLC (tronaduras, MPS, pérdida/ocupación de superficie y tránsito vehicular) muestran efectos no significativos sobre la disponibilidad de hábitat, la conectividad ecológica y el uso del paisaje por la especie. Por lo que, la especie se comporta en el entorno de Mina Los Colorados de manera consistente con lo evaluado ambientalmente: mantiene el uso del paisaje y no se identifican evidencias de que la operación del Mina Los Colorados esté generando por sí misma un proceso de disgregación o colapso local de la población costera de guanacos

¹ De DIA/EIA anteriores del Titular.

Por lo anterior, y conforme a los criterios técnicos definidos en el propio estudio, no se acreditan impactos significativos atribuibles a la operación de CMP–Mina Los Colorados que expliquen una disminución de la población costera de guanacos en el entorno de Mina Los Colorados. La evidencia disponible indica que la especie mantiene el uso del paisaje aledaño a la faena, que el patrón de declive observado a escala regional responde principalmente a factores extrínsecos y que los factores operacionales analizados (tronaduras, material particulado, pérdida/ocupación de superficie y tránsito vehicular) generan efectos bajos o no significativos sobre la conectividad y la disponibilidad de hábitat en la franja costera donde se emplaza Mina Los Colorados. En este contexto, el informe satisface lo exigido en el Resuelvo N°1 de la MUT (identificación de factores, áreas prioritarias y acciones de protección), incorpora el análisis de factores intrínsecos señalado en el ORA N°96/2025 y complementa la evaluación de impactos sobre fauna contenida en las RCA vigentes del Mina Los Colorados, resultando coherente con sus conclusiones respecto de la ausencia de impactos significativos sobre *Lama guanicoe*.

En consecuencia, a partir de la información contenida en el presente estudio, se atiende suficientemente el requerimiento de la autoridad, por cuanto se dispone de antecedentes técnicos que permiten establecer que los grupos de guanacos que habitan en torno a la operación, mantienen su conducta y presencia, con independencia de la actividad minera, y los eventos registrados constituyen situaciones no deseadas, por lo tanto, no se trata de impactos, sino de riesgos y como tal, serán gestionados por los planes de prevención de contingencias y emergencias, sin perjuicio de la continuidad de los trabajos de seguimiento y mejora a las condiciones de cercados.

2. INTRODUCCIÓN

Compañía Minera del Pacífico (CMP) es el principal productor de minerales de hierro en la costa americana del Pacífico. Sus principales operaciones se encuentran en las regiones de Atacama y Coquimbo, donde posee una fuerte identidad regional, con un 98% de dotación local, distribuida geográficamente en los valles de Copiapó, Huasco y Elqui. La Unidad Fiscalizable objeto del presente informe corresponde a CMP – Los Colorados, en el marco del proyecto “Ampliación y Mejoras Operacionales Mina Los Colorados”, la cual se encuentra ubicada en la comuna de Huasco, a 47 km al noroeste de la ciudad de Vallenar. Las instalaciones minero-industriales están ubicadas a 400 m sobre el nivel del mar y ocupan parcialmente un área de 500 ha.

En el marco del proyecto “EIA Ampliación y Mejoras Operacionales Mina Los Colorados” de Compañía Minera del Pacífico S.A. se identificó durante la evaluación ambiental la presencia del *Lama guanicoe* (guanaco), especie clasificada como Vulnerable en esta región según el Decreto Supremo N°33/2012. En consecuencia, la Resolución de Calificación Ambiental N°246/2010 estableció el compromiso de realizar monitoreos semestrales para esta especie, compromiso ratificado en la Resolución Exenta N°68/2021 que calificó favorablemente el Proyecto “Modificación Plan Minero Mina Los Colorados”.

Posteriormente, a raíz del hallazgo de restos óseos de *L. guanicoe* en zonas destinadas al rescate y relocalización de vegetación del proyecto, la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) emitió la Resolución Exenta N°1979 del 17 de octubre de 2024, ordenando la aplicación de Medidas Urgentes y Transitorias (MUT) a Compañía Minera del Pacífico S.A. en relación a la Unidad Fiscalizable “CMP – Los Colorados”. Estas medidas se orientan según Resolución Exenta N°1979 a una intervención preventiva frente a la posible disminución de poblaciones de *Lama guanicoe*, situación considerada por la SMA como un riesgo de daño inminente y grave al medio ambiente. La Resolución estableció cuatro requerimientos específicos, en los resuelvo 1 al 4.

El Resuelvo N°1 ordena preparar y remitir un estudio que explique los factores asociados a la disminución de la especie *Lama guanicoe* en el área de influencia de Mina Los Colorados, considerando un buffer adicional de 4 kilómetros. Este estudio debe incluir la identificación de áreas prioritarias de alimentación y tránsito, especialmente aquellas no consideradas en la evaluación ambiental como el área de reubicación de flora y vegetación, así como la definición de acciones de protección para cada área identificada, entre ellas la ampliación de áreas de monitoreo y el seguimiento de desplazamientos poblacionales.

El Resuelvo N°2 exige actualizar las metodologías de monitoreo de guanacos, incorporando actividades pedestres que permitan identificar otros indicios de presencia, como huellas, revolcaderos y fecas.

El Resuelvo N°3 establece la preparación e implementación de un protocolo interno para que personal del titular o terceros relacionados denuncien incidentes vinculados a individuos de *Lama guanicoe*, tanto por causas operacionales como por otras razones ocurridas en el área de influencia o sus inmediaciones. Este protocolo debe asegurar que la información sea informada al Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) de Atacama y a la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).

El Resuelvo N°4 ordena reportar en el sistema correspondiente una versión actualizada del plan de prevención de contingencias y emergencias ambientales asociado a la RCA N°246/2010, incorporando variables de fauna. Dicho plan debe incluir protocolos para prevenir y enfrentar atropellos de fauna, como

los considerados en el procedimiento MP-024-2022, y las acciones recomendadas en el estudio solicitado en el Resuelvo N°1.

Dicho lo anterior, en cumplimiento a la Resolución Exenta N°1979, el titular presentó a la SMA el estudio requerido en el Resuelvo 1. Posteriormente, en el marco de la actividad de Inspección Ambiental efectuada el día 28 de julio de 2025, cuyas actividades quedan registradas en el Ord. ORA N°96 de 30 de julio de 2025, se indica que el estudio presentado anteriormente considera las siguientes brechas:

- A) Falta de factores operacionales en el estudio: SMA señala que el informe se centró en factores “externos” (perros, atropellos, etc.) y omitió analizar factores los propios del proyecto: tronaduras, emisiones de material particulado (pluma observada), pérdida/ocupación de superficie.
- B) Las medidas propuestas no cubren todas las variables de análisis y, por ende, las propuestas de acciones a ser implementadas no se hacen cargo de los efectos producidos directamente por la operación del proyecto. Además, se indica que las acciones propuestas no fueron más allá de los propios productos solicitados en las medidas indicadas en la resolución.

Con el fin de dar cumplimiento efectivo al Resuelvo N°1 de la MUT y subsanar las brechas constatadas en el Acta de Inspección Ambiental (Ord. ORA N°96, 30 de julio de 2025), Compañía Minera del Pacífico (CMP) encargó a MYMA (Minería y Medio Ambiente) la elaboración de un estudio integral sobre *Lama guanicoe* en el Área de Influencia y buffer de 4 km. Este informe establece la línea base y el uso de hábitat, evalúa la incidencia de factores operacionales (tronaduras, material particulado y ocupación/pérdida de superficie) sobre la presencia y actividad de la especie, identifica áreas prioritarias de tránsito y alimentación, y establece acciones para el fortalecimiento de la información actual. En síntesis, se entrega una base técnica suficiente y verificable para la toma de decisiones, la implementación inmediata de acciones y el seguimiento mediante indicadores que permitan evaluar su eficacia en el tiempo.

3. CONTEXTO LOCAL CMP – LOS COLORADOS

3.1 Otros Proyectos presentes en el área

Considerando un buffer de 50 km en torno a Mina Los Colorados (corte 03-11-2025) y conforme al Anexo 1, se verifican 149 proyectos dentro del área de análisis, conformando una cartera amplia y heterogénea con predominio de proyectos energéticos FV/BESS y obras lineales, además de iniciativas mineras y sanitarias. Dentro de ella, un subconjunto de EIA aprobados reconoce alteración de hábitat de *Lama guanicoe* y establece medidas de mitigación/compensación (p. ej., habilitación de hábitat, pasos de fauna, corredores internos, cese de obras en pariciones, disuasión pasiva, señalética y límites de velocidad; ver Délano, Don Carlos, Sol de Vallenar, Tamarico/Tamarico Fase II, Cerro Blanco). En DIA y EIA en calificación se observan CAV convergentes (monitoreo semestral 3–5 años, educación/inducciones, señalética, control de velocidad y diseños de cercos permeables). En el Anexo 1 se presenta un resumen de los proyectos revisados.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Elaborar un informe técnico que analiza técnicamente los antecedentes disponibles sobre guanacos y poder determinar si la operación de Mina Los Colorados tiene incidencia en la población especie *Lama guanicoe* en el área de influencia del Proyecto Mina Los Colorados (RCA 68/2021), considerando un buffer adicional de 4 km, e identificando áreas prioritarias de uso y medidas de manejo que permitan salvaguardar la especie frente a los potenciales impactos de Mina Los Colorados y su entorno. En esta misma línea, se considerarán las brechas levantadas en el Ord. ORA N°96 de 30 de julio de 2025 por la SMA, integrando tanto los factores intrínsecos de la actividad como acciones para salvaguardar la población de la especie tanto dentro como en zonas aledañas a Mina Los Colorados.

4.2 Objetivos específicos

- Describir la biología y ecología de *Lama guanicoe* en ambientes áridos, considerando su distribución, organización social, hábitos reproductivos, patrones de movilidad y rol ecológico.
- Evaluar la dinámica de *Lama guanicoe* a escala local considerando los antecedentes del seguimiento de las poblaciones de la especie en el Parque Nacional Llanos de Challe (CONAF), entendiéndose esta zona con la de Mina Los Colorados como paisajes ecogeográficos similares.
- Identificar áreas prioritarias de alimentación y tránsito de *Lama guanicoe* en el área de estudio, incorporando aquellas áreas que no fueron consideradas en la evaluación ambiental del Proyecto (RCA 68/2021).
- Analizar los factores operacionales propios de Mina Los Colorados que podrían incidir en la disminución de *Lama guanicoe*, considerando emisiones de material particulado, tronaduras, pérdida y ocupación de superficie, y su interacción con la calidad y disponibilidad del hábitat.
- Proponer acciones de manejo y protección para cada una de las áreas identificadas, incluyendo la ampliación de las áreas de monitoreo utilizadas para determinar la presencia de individuos y dar seguimiento a los patrones de desplazamiento poblacional.

5. METODOLOGÍA

5.1 Revisión de antecedentes generales de la especie, tanto en su contexto general de distribución, ecología y conservación.

5.1.1 Diseño

Se realizó una revisión narrativa sistematizada para compilar antecedentes de distribución histórica y actual, rasgos ecológicos (organización social, reproducción, movilidad/ámbitos de hogar) y estado de conservación del guanaco a escala sudamericana, nacional (Chile) y regional (Región de Atacama).

5.1.2 Fuentes y búsqueda

Se efectuaron búsquedas en Web of Science, Scopus y Google Scholar, complementadas con sitios oficiales (p. ej., UICN/Red List, CONAF/MMA) y literatura técnica institucional. Se usaron combinaciones en español e inglés del tipo: ("*Lama guanicoe*" OR *guanaco*) AND (*distribution* OR *ecology* OR *conservation* OR "*home range*" OR *telemetry* OR "*social structure*") AND (*Chile* OR *Atacama* OR *coastal*).

Se incluyeron (i) artículos con datos primarios o revisiones sobre distribución, historia natural, estructura social, movilidad o conectividad; (ii) documentos oficiales con metodología explícita (p. ej., IUCN, CONAF/MMA); (iii) literatura técnica institucional cuando aportó datos únicos, buscando corroboración independiente. Se excluyeron fuentes sin método o no verificables.

5.2 Revisión y análisis de información de tamaño y tendencias poblacionales a nivel local.

5.2.1 Datos y alcance

Se obtuvo la base oficial de CONAF mediante el requerimiento de acceso a información pública AR0003T-0009119, correspondiente al monitoreo de guanacos del Parque Nacional Llanos de Challe entre el período estival de 2009 y el invernal de 2024, junto con series estivales históricas (1998–2022). Se integró, además, la información de monitoreos desarrollados por CMP, desde el año 2012 al 2024 en el entorno de Mina Los Colorados. La unidad de análisis fueron conteos de individuos por año y época (Estival/Invernal), tanto dentro del parque como en su periferia y área de influencia.

5.2.2 Enfoque de modelación

La tendencia y la estacionalidad se evaluaron con modelos de conteo (GLM con enlace log): Poisson y Binomial Negativa (NB2). La selección entre ambos se basó en sobredispersión (factor de Pearson) y AICc; ante evidencia de sobredispersión se privilegió NB2. Los efectos principales incluyeron Año (pendiente temporal) y Época (Invernal vs Estival), y se exploró la interacción Año×Época para detectar pendientes estacionales distintas. Los resultados se reportaron como razones de incidencia (IRR) e intervalos de

confianza al 95%, además de valores p . Para capturar posibles cambios de régimen, se ensayó un término de quiebre temporal (modelo con "bisagra") y se seleccionó el año de quiebre por perfil de AICc; se informaron pendientes pre y post-quiebre.

5.2.3 Autocorrelación y robustez

La dependencia temporal se diagnosticó con Durbin–Watson y autocorrelación de primer orden. La inferencia sobre la pendiente anual se robusteció con errores HAC (Newey–West) y, como sensibilidad, con un ajuste GLSAR AR(1). Se consideró robusta cuando el signo y la significancia de la pendiente se mantuvieron con estos tratamientos.

5.2.4 Reproducibilidad y software

El flujo de trabajo se implementó en Python (3.10): pandas (manejo de datos), numpy (operaciones numéricas y bootstrap), statsmodels (GLM Poisson/NB2, HAC, GLSAR), patsy (matrices de diseño), scipy (Mann–Kendall y Theil–Sen) y matplotlib (gráficos). Se fijaron semillas aleatorias y se versionaron los scripts, insumos (CONAF AR0003T-0009119; CMP) y salidas.

5.2.5 Salida estandarizada

Se analizaron tanto el tamaño muestral y cobertura temporal; modelo seleccionado (AICc) y diagnósticos (sobredispersión, autocorrelación); tendencia anual (IRR, IC95%, p), efecto estacional (IRR Invernal/Estival), quiebre temporal (año y pendientes pre/post, Δ AICc), resultados no paramétricos (τ de Mann–Kendall y pendiente de Theil–Sen), comparación de periodos (razón con IC95%) y consistencia por fuente. Los productos gráficos incluyen serie temporal con predicción e intervalos, perfil de AICc para el quiebre y figuras del índice estacional.

5.3 Área de Mina Los Colorados y su relación con el Parque Nacional Llanos de Challe

5.3.1 Área de estudio y comparabilidad ecológica.

El análisis se planteó a escala local costera en la Región de Atacama, contrastando el área de influencia de Mina Los Colorados con el Parque Nacional Llanos de Challe (PNLC), ubicado a 13,52 km al NO. La comparabilidad espacial se estableció bajo el supuesto de matriz ecogeográfica compartida (franja costera árida) y pisos vegetacionales afines. Para ello se cartografiaron los polígonos del PNLC y de Mina Los Colorados, y se intersectaron con la cartografía de pisos vegetacionales (clasificación de referencia nacional). Se cuantificó la representación de cada piso y su solapamiento con los polígonos (áreas y proporciones), de modo de verificar que Mina Los Colorados constituye un subconjunto de la diversidad fisonómica presente en el PNLC (Luebert & Pliscoff, 2017). Esta etapa justifica el uso de un marco comparativo entre ambas zonas frente a los mismos motores bióticos y abióticos (aridez, estacionalidad de lluvias, productividad, etc).

5.3.2 Datos poblacionales y curaduría.

Para caracterizar tamaño y tendencia a nivel local se integraron dos fuentes: (i) la base oficial de CONAF obtenida vía acceso a la información (AR0003T-0009119) con censos semestrales en PNLC (serie 1998–2024 con foco 2009–2024), y (ii) los monitoreos semestrales de Mina Los Colorados (2012–2024). Se estandarizaron campos (Año, Época/Semestre, Individuos, Fuente), se codificaron ausencias como NA, se verificó unicidad por combinación Año–Época–Fuente, y se construyó Año centrado para facilitar la modelación.

5.3.3 Modelamiento de tendencias (conteos).

Dado que los datos son conteos y muestran alta varianza, se ajustaron GLM con enlace log bajo Poisson y Binomial Negativa NB2; la elección del modelo se basó en AICc y en el factor de sobredispersión de Poisson. Los efectos principales incluyeron Año (pendiente temporal) y la variable estacional (Época/semestre), y se probó la interacción Año×Época para evaluar pendientes estacionales distintas. Los resultados se reportaron como razones de tasas de incidencia (IRR) con IC95% y *p*. Además, se exploraron rupturas temporales mediante un término tipo “bisagra” (modelo piecewise) para detectar cambios de régimen en la serie (Burnham & Anderson, 2002; Hilbe, 2011; Muggeo, 2003).

5.3.4 Modelo de idoneidad de hábitat (nicho).

Para contextualizar la población local en la franja costera se utilizó un modelo de idoneidad de *Lama guanicoe* construido con Maxent (presencias + *background*), replicando el enfoque de referencia para Chile: estandarización de capas a $\approx 9 \text{ km}^2$ y predictores bioclimáticos (subconjunto de BIOs, con énfasis en precipitación anual y estacionalidad), topográficos (SRTM: elevación, pendiente, exposición, rugosidad), vegetación (EVI; coberturas de suelo) y densidad humana (Phillips et al., 2006; Phillips & Dudík, 2008; Elith et al., 2011; González et al., 2013). El desempeño se evaluó con AUC, y la importancia de variables con jackknife y curvas de respuesta. El mapa continuo (0–1) se umbralizó mediante un porcentaje de exclusión de presencias (p. ej., percentil 10%) para derivar un binario presencia/ausencia y calcular superficies idóneas a nivel regional y local. Con esta capa se estimó la proporción que representa Mina Los Colorados dentro de la matriz costera idónea, y se verificó si su huella constituye un caso puntual o está inserta en un continuo regional (González et al., 2013).

5.3.5 Comparación PNLC–Mina Los Colorados e integración.

Con la representatividad de pisos vegetacionales y la idoneidad de hábitat como líneas de base ambientales —y los GLM/NB2 como línea de base demográfica— se realizó una lectura integrada: (i) coherencia ecogeográfica entre PNLC y Mina Los Colorados; (ii) congruencia de la franja costera idónea; (iii) comparación de tendencias y estacionalidad; y (iv) búsqueda de quiebres temporales consistentes con forzantes regionales (p. ej., sequías, productividad pos-precipitación, desierto florido) y presiones locales

(p. ej., tránsito, cercos, perros asilvestrados). Esta integración permite interpretar la dinámica local de Mina Los Colorados dentro de la dinámica regional del PNLC, bajo supuestos explícitos de esfuerzo, detectabilidad y continuidad ambiental.

5.3.6 Software y reproducibilidad.

La sistematización y los análisis se implementaron en Python (pandas, numpy, statsmodels, scipy, matplotlib). El modelado de nicho se ejecutó con Maxent 3.4.x (vía *maxent.jar* o *wrappers* R/Python), registrando semillas, lotes, parámetros y archivos de entrada/salida. Se mantuvo control de versiones para scripts, insumos y productos, y se documentó una bitácora de edición/decisiones.

5.4 Identificación de áreas prioritarias de alimentación y tránsito de *Lama guanicoe* en el área de estudio

Con el propósito de caracterizar el uso del espacio por *Lama guanicoe* en el área de estudio, en primera instancia se sistematizó la información histórica, además de aplicar un análisis espacial de la vegetación y modelación de la probabilidad de distribución de la especie y estimación de rutas teóricas de tránsito para la especie. Para ello se recopilaron bases de datos provenientes de campañas previas y de seguimientos realizados por CONAF y consultoras en el período 2009–2025, complementadas con registros obtenidos en Inaturalist. Sobre esta base se aplicaron técnicas de análisis espacial que incluyeron la estimación de densidad de Kernel, la modelación de distribución potencial mediante Maxent, el cálculo de índices espectrales a partir de imágenes satelitales y la construcción de superficies de fricción para la obtención de rutas de mínimo costo.

El análisis combinado de la información levantada permitió identificar áreas prioritarias de alimentación y tránsito. Esta última, acorde con la evidencia de la presencia de la especie en terreno. A continuación, se describe cada etapa.

5.4.1 Sistematización de los datos de presencia de la especie

Se sistematizaron diversas fuentes de información históricas desde el año 2009 hasta el año 2025 en el marco de Minera Los Colorados y seguimientos de la especie por la Corporación Nacional Forestal [CONAF] (Tabla 1). Las técnicas de muestreo utilizadas incluyeron transectos lineales, recorridos vehiculares y trampas cámara, permitiendo la obtención de datos tanto directos como indirectos sobre la presencia y comportamiento de la especie.

A continuación, se detallan las fechas de cada actividad desarrollada en terreno:

Tabla 1: Fuentes de Información históricas utilizadas para la realización del estudio

Estudio	Fuente y Año
Base de datos de los monitoreos de guanacos del PN Llanos de Challe desde el período estival del año 2009 hasta el último período invernal del año 2024.	CONAF, 2024.
Línea de Base Ambiental Componente Fauna Vertebrada Terrestre Proyecto "Modificación Proyecto Mina Los Colorados: Ajustes y Continuidad Operacional".	Gestiona, 2023.

Estudio	Fuente y Año
Estudio de las amenazas para la población de guanacos <i>Lama guanicoe</i> del Proyecto "Ampliación y Mejoras Operacionales en Mina Los Colorados, comuna de Huasco, provincia de Huasco, región de Atacama.	Ecodiversidad, 2024, en base a datos de monitoreo recopilados por GESTAM.
Campaña de Revalidación Línea de Base Ambiental Componente Fauna Vertebrada Terrestre Primavera 2024, en el marco del Proyecto "Modificación Proyecto Mina Los Colorados: Ajustes y Continuidad Operacional".	Conciencia Soluciones Ambientales, 2024.
Caracterización Complementaria de Fauna Terrestre Otoño 2025 en el marco del Proyecto "Modificación Proyecto Mina Los Colorados: Ajustes y Continuidad Operacional".	Conciencia Soluciones Ambientales, 2025.

Fuente: MyMA, 2025.

5.4.2 Análisis de densidad de Kernel

El análisis de densidad de Kernel complementó los hallazgos previos al proporcionar una visualización espacial de la concentración de los puntos de presencia. Las áreas de mayor densidad de puntos coinciden con las rutas de menor costo identificadas, lo que sugiere que los guanacos prefieren moverse a lo largo de estos corredores naturales. Las áreas de mayor concentración de puntos, observadas en el mapa de calor, pueden considerarse como zonas críticas de conectividad ecológica.

El análisis de Kernel permite identificar "cuellos de botella" o zonas donde las rutas de dispersión se estrechan, lo que las hace más vulnerables a la fragmentación causada por actividades antrópicas (Cushman, 2012).

5.4.3 Modelo de distribución de la especie

Para modelar la distribución potencial de *guanacos*, se utilizó Maxent, un software ampliamente validado que se basa en el principio de maximización de la entropía (Phillips, Dudík, & Schapire, 2024). Este modelo permite predecir la distribución de la especie en función de registros de ocurrencia y variables ambientales. Se incluyeron como datos de entrada:

- **Puntos de Presencia:** Se utilizaron puntos de ocurrencia locales y nacionales obtenidos del Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF, 2024). Estos puntos representan tanto observaciones directas como indirectas de las especies de guanacos dentro del área de interés de la especie.
- **Variables Bioclimáticas:** Las 19 variables bioclimáticas estándar obtenidas de WorldClim versión 2 fueron utilizadas para modelar la distribución de la especie. Estas variables abarcan información sobre temperatura, precipitación y estacionalidad, factores clave para la supervivencia de *guanacos* en ambientes áridos (Fick & Hijmans, 2017).

El modelo de Maxent fue evaluado mediante el uso del Área Bajo la Curva (AUC), y el resultado fue transformado a formato .tiff mediante el paquete "raster" en Rstudio para su integración en el análisis de fricción.

El objetivo del modelo de idoneidad de hábitat (Maxent) no es estimar abundancia, sino identificar las áreas del paisaje con mayor probabilidad relativa de presencia de la especie dadas las condiciones ambientales

actuales. Esta superficie de idoneidad se utiliza luego como base para: (i) definir la franja de hábitat idóneo donde se evaluó la pérdida y fragmentación asociada a Mina Los Colorados, y (ii) apoyar la identificación de zonas prioritarias y conectividad para *Lama guanicoe* en el entorno de MLC.

5.4.4 Identificación de zonas prioritarias de alimentación para *Lama guanicoe*

Para identificar zonas que puedan actuar como fuentes de recursos para guanacos, dentro del área de estudio definida en el punto anterior, se utilizó un análisis de imágenes satelitales de alta resolución. Utilizando las escenas de los satélites Landsat 8 y 9, se realizó un análisis multitemporal desde 2013 a 2025, con una resolución espacial de 30m². Las escenas utilizadas ya se encontraban corregidas topográfica y atmosféricamente (Gómez Santos *et al.*, 2024). A partir de estas imágenes, se calcularon dos índices clave:

- Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI): este índice resalta la presencia de agua superficial y suelos o vegetación con alta humedad. Valores altos de NDWI indican sectores con mayor contenido hídrico (p.ej., vegas, aguadas, cauces con agua), mientras que valores bajos corresponden a áreas secas. En este estudio se utilizó el NDWI para identificar parches con disponibilidad de agua o humedad significativa que, al combinarse con un NDVI alto, podrían funcionar como sectores clave de alimentación, descanso y paso para los guanacos en un paisaje predominantemente árido. Se utilizó la clasificación propuesta por La clasificación utilizada se basa en McFeeters (1996).

Tabla 2: Clasificación del NDWI

Clasificación	Valor NDWI
Agua clara / cuerpos de agua	> 0.5
Alta humedad del suelo	0.2 – 0.5
Humedad moderada	0.0 – 0.2
Suelo seco o vegetación baja	–0.3 – 0.0
Zonas áridas o construidas	< –0.3

Fuente: MyMA, 2025 a partir de McFeeters (1996).

- Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI): Se utilizó para evaluar el vigor de la vegetación en el área. Los valores de NDVI superiores a 0,1 indicaron zonas con vegetación activa, como matorrales, que son utilizados por *guanacos* para alimentación y refugio (Gómez Santos *et al.*, 2024). Se ocupó la clasificación propuesta por López-Pérez *et al.* (2015) y Merg *et al.* (2011).

Las zonas con un NDWI $\geq 0,3$ y un NDVI $\geq 0,1$ fueron seleccionadas como zonas de interés, que representan áreas potenciales para el uso y tránsito de la especie. Estas zonas fueron delimitadas en función de su conectividad y su proximidad a recursos esenciales como agua y vegetación.

De esta manera, el análisis conjunto de NDVI y NDWI no sólo caracteriza la distribución espacial de la vegetación y el agua, sino que permite delimitar áreas funcionales del paisaje especialmente relevantes

para *Lama guanicoe*, las cuales son insumo directo para la propuesta de medidas de conservación y manejo del hábitat en el entorno de Mina Los Colorados.

5.4.5 Análisis de Resistencia (Fricción)

La resistencia al movimiento fue modelada considerando dos factores principales: la cobertura vegetal, representada por el NDVI, y la pendiente del terreno. Estas variables fueron segmentadas en clases según su impacto sobre la movilidad de la especie:

- **NDVI:** Se asignaron valores de fricción bajos a áreas con alta vegetación (≥ 0.1), dado que ofrecen recursos alimentarios y cobertura. Las zonas con baja vegetación (< 0) o áreas industriales recibieron valores de fricción más altos.
- **Pendiente:** La pendiente del terreno fue obtenida del modelo digital de elevación (DEM) Alos Palsar con una resolución de 125 metros. Las pendientes más pronunciadas ($> 35^\circ$) recibieron mayores valores de fricción, ya que representan barreras físicas al movimiento de la fauna.

Se utilizó la siguiente ecuación para calcular la resistencia total del paisaje para *Lama guanicoe*:

$$NDVI \times 0,8 + PENDIENTE \times 0,2$$

Probabilidad ocurrencia *L. guanicoe*

Esta fórmula permite ponderar las contribuciones relativas de la vegetación y la topografía, priorizando la vegetación debido a su mayor relevancia en el comportamiento de desplazamiento de la especie.

Tanto la segmentación de cada variable como su valor de resistencia se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 3: Clasificación NDVI

Clasificación	Valor NDVI	Fricción
Nubes y agua	< 0.01	100
Suelo sin vegetación	$0.01 - 0.1$	50
Vegetación ligera	$0.1 - 0.2$	35
Vegetación mediana	$0.2 - 0.4$	20
Vegetación alta	> 0.4	5

Fuente: López-Pérez *et al.* (2015) y Merg *et al.* (2011)

Tabla 4: Segmentación de los valores de Pendiente según fricción

Pendiente ($^\circ$)		Fricción (n)
Mínimo	Máximo	
0	5	1

5	20	3
20	35	5
35	50	7
50	74,45	10

Fuente: MYMA, 2025.

5.4.6 Identificación de zonas de tránsito mediante el cálculo de Rutas de Mínimo Costo

Se estimó la ruta de mínimo costo entre cada sitio de interés entre todos los pares sin repetición utilizando el paquete "gdistance" 1.6.4 en Rstudio. La ruta de mínimo costo indica la ruta más corta y con menor resistencia acumulada entre dos zonas de interés para la especie, en consecuencia, se desarrolla por aquellas zonas del paisaje que representa teóricamente la mejor ruta de dispersión (LaRue & Nielsen, 2008.; Ruiz-González *et al.*, 2010).

5.4.7 Validación de las Rutas de Mínimo Costo

Las rutas modeladas fueron validadas mediante la intersección de datos de presencia de la especie en el área de estudio. Para ello, se utilizó el conjunto de puntos de presencia, que incluyeron tanto observaciones directas como indirectas de *Lama guanicoe*. La validación se realizó a través de tres métodos:

- **Índice de Vecino Más Cercano (NND):** Este índice se calculó utilizando el plugin Hannover en Qgis 3,16. Donde valores menores que 1 indican una tendencia hacia el agrupamiento entre puntos (registros de presencia) y valores superiores a 1 indican una tendencia hacia la dispersión. (Gómez Santos *et al.*, 2024).
- **Distancia Mínima a Rutas:** Se calculó la distancia mínima desde cada punto de presencia hasta la ruta de mínimo costo más cercana.
- **Análisis de Densidad de Kernel:** Se realizó un análisis de densidad de Kernel para identificar áreas con alta concentración de puntos de presencia.

5.5 Fragmentación y pérdida de hábitat

5.5.1 Ámbito espacial y datos.

El análisis se restringió a la franja costera de alta idoneidad para *Lama guanicoe* en la Región de Atacama, definida a partir del mapa de idoneidad (Maxent) umbralizado por criterio de omisión del 10% y generalizado topológicamente para continuidad espacial. Este polígono constituye la unidad de paisaje ($A_L = 358,8 \text{ km}^2$). La huella de Mina Los Colorados se incorporó como un polígono independiente (200 ha aproximadamente; $2,0 \text{ km}^2$). Todos los insumos se proyectaron a UTM 19S–WGS84 y se rasterizaron a 30 m (resolución compatible con Landsat/NDVI), aplicando limpieza de artefactos (eliminación de islotes $<1 \text{ ha}$) para evitar sesgos de píxel (USGS, 2021; Zhu & Woodcock, 2012).

5.5.2 Escenarios comparados

Se generaron dos estados del paisaje: (i) Base (sin faena) con la clase binaria "Alta idoneidad"; y (ii) Con faena, donde la huella se reclasificó como no hábitat dentro del polígono idóneo. Todas las métricas se calcularon a nivel de clase y se reportaron como Δ entre estados (McGarigal et al., 2012).

5.5.3 Métricas de estructura del paisaje

Se estimaron métricas FRAGSTATS a nivel de clase: CA (área de clase), PLAND (porcentaje del paisaje), NP (número de parches), LPI (porcentaje del mayor parche), ED (densidad de borde), y CLUMPY/COHESION (agregación/cohesión). Estas métricas permiten discriminar pérdida de hábitat (reducción de CA/PLAND), de fragmentación (aumento de NP y descenso de LPI/cohesión con generación de nuevos parches) (McGarigal et al., 2012). La huella de Mina Los Colorados se trató como "agujero" interno: si NP no aumenta y LPI se mantiene alto, el cambio estructural se interpreta como pérdida sin fragmentación.

5.5.4 Conectividad estructural y funcional.

La conectividad se evaluó con dos enfoques complementarios:

1. **Índices de disponibilidad/conectividad (grafo):** PC (*Probability of Connectivity*) y ECA (*Equivalent Connected Area*) calculados con Conefor, usando como nodos los parches de "Alta idoneidad" (>5 ha) y enlaces binarios por umbral de distancia (d) (Saura & Pascual-Hortal, 2007; Saura & Rubio, 2010). Dado el comportamiento espacial del guanaco (altas capacidades de movimiento y ámbitos de hogar estacionales de decenas a >100 km²), se adoptó un rango conservador de $d = 5-10 \text{ km}^*$ para la conectividad funcional (Raedeke, 1979; Franklin, 1983; Wheeler, 1995).
2. **Tamaño efectivo de malla (m_{eff} / division index):** para captar la fragmentación en términos de probabilidad de que dos puntos al azar queden en el mismo parche; su descenso refleja pérdida de conectividad estructural (McGarigal et al., 2012).

La interpretación se basó en cambios relativos: $\Delta\text{PC}/\text{ECA} < 5\%$ y NP sin aumento se consideran compatibles con conectividad mantenida a la escala de movimiento de la especie, mientras que descensos mayores o aparición de cuellos de botella implican riesgo de aislamiento.

5.5.5 Calidad del hábitat (NDVI) y pérdida "efectiva".

Para ponderar la pérdida por calidad forrajera, se procesó NDVI trimestral 2013–2025 (Landsat 8/9 SR; LaSRC), con enmascaramiento de nubes/sombras (QA_PIXEL/Fmask), agregación por mediana y estandarización de series. Se comparó el NDVI medio del área de Mina Los Colorados con el promedio del polígono idóneo y se estimó una pérdida ponderada (área \times calidad relativa), de modo que huellas situadas en vigor bajo generen una penalización menor que la pérdida geométrica (Tucker, 1979; Pettorelli et al., 2005; USGS, 2021; Zhu & Woodcock, 2012). Como control, se evaluó la sincronía entre NDVI del Mina Los Colorados y áreas colindantes para descartar patrones diferenciales de productividad (correlación de niveles y de cambios; HAC para autocorrelación). Por lo tanto, los parches identificados con alto NDVI y NDWI se

interpretan como hábitat de alta calidad para *Lama guanicoe* (por disponibilidad simultánea de forraje y agua), manteniéndose la funcionalidad ecológica del paisaje gracias a la continuidad de estos parches y a la ausencia de barreras estructurales que impidan el desplazamiento de la especie

5.5.6 Criterios de decisión.

Se consideró pérdida no significativa aquella $<1\%$ del hábitat de alta idoneidad (referido a A_L) y sin fragmentación cuando NP no aumenta y LPI permanece $>95\%$; se consideró conectividad mantenida cuando $\Delta PC/ECA$ fue $\leq 5\%$ bajo $d = 5-10$ km, umbral coherente con la movilidad de la especie (Raedeke, 1979; Franklin, 1983; Wheeler, 1995; McGarigal et al., 2012; Saura & Rubio, 2010).

5.6 Análisis de factores intrínsecos de la actividad minera

5.6.1 Tronaduras: proximidad y co-ocurrencia espacio-temporal

Se georreferenciaron 229 registros independientes de *Lama guanicoe* (UTM 19S; datum WGS84) y se emparejaron con el registro oficial de eventos de tronadura (fecha-hora exacta, coordenadas de tiro). Para la proximidad espacial se calculó la distancia euclidiana (m) desde cada registro de guanaco al blast más cercano ocurrido dentro del período de estudio (01-06-2024 a 25-08-2025), trabajando en sistema proyectado para evitar sesgos por curvatura (UTM 19S). Se generaron: (i) distribución empírica de distancias (histograma y CDF) y (ii) proporciones acumuladas en umbrales operativos (≤ 2 , ≤ 5 , ≤ 10 km), útiles para interpretar el solapamiento espacial entre uso del paisaje y focos operacionales (Burton et al., 2015).

La co-ocurrencia espacio-temporal se evaluó con una unión espaciotemporal: para cada registro de guanaco se buscó si existía al menos un blast dentro de 2 km y se computó la latencia temporal mínima (días) entre ambos eventos. Se estimaron porcentajes de co-ocurrencia para ventanas de 1, 3 y 7 días y se describió su distribución.

5.6.2 Vegetación y recurso forrajero (MPS): serie NDVI multitemporal

Se evaluó si la dinámica de la vegetación en el sector con influencia del MPS difiere de áreas colindantes sin influencia, usando Landsat 8/9 Surface Reflectance (30 m) para 2013–2025 (Colección 2; corrección atmosférica LaSRC). Se aplicó enmascaramiento de nubes/sombras con QA_PIXEL/Fmask, se compusieron agregados trimestrales (mediana) y se calculó $NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red)$ por polígono (USGS, 2021; Zhu & Woodcock, 2012; Rouse et al., 1974; Tucker, 1979). Para comparar formas se normalizaron ambas series (Z-score) y se estimaron: correlación de niveles (r de Pearson), correlación de cambios (primera diferencia trimestral), acuerdo direccional (proporción de trimestres con el mismo signo) y correlación cruzada de cambios (CCF) para detectar desfases. La significancia se evaluó ajustando la autocorrelación (grados de libertad efectivos o HAC) y, como sensibilidad, con Mann-Kendall y Theil-Sen para tendencias

monótonas (Box et al., 2016; Wilks, 2011; Mann, 1945; Sen, 1968; Newey & West, 1987; Pettoirelli et al., 2005).

6. RESULTADOS

6.1 *Lama guanicoe*: Biología, Distribución y Conservación

6.1.1 *Biología y ecología del Guanaco*

El guanaco (*Lama guanicoe*) es un gran mamífero herbívoro, perteneciente a la familia de los camélidos sudamericanos, se distingue por su tamaño (hasta ~1,3 m de altura al hombro, 90-140 kg) y pelaje de color café rojizo con partes inferiores blancas. Posee adaptaciones notables para sobrevivir en ambientes extremos: puede vivir desde el nivel del mar hasta altitudes sobre los 4.000 msnm. Su dieta es muy variada e incluye gramíneas, hierbas, arbustos, cactus, líquenes y hasta hongos, aprovechando prácticamente cualquier vegetación disponible en los áridos ecosistemas que habita. Esta dieta generalista le ayuda a sobrellevar las duras condiciones de zonas desérticas y de estepa. Además, al alimentarse y desplazarse, el guanaco cumple un rol ecológico importante dispersando semillas y abonando el suelo, contribuyendo así a la regeneración de la vegetación en zonas áridas.

En cuanto a comportamiento, el guanaco es un animal principalmente diurno y altamente social. Presenta una estructura social poligínica basada en tres unidades sociales básicas: (1) grupos familiares o “tropillas”, formados por un macho adulto territorial, varias hembras adultas y sus crías (chulengos) menores de un año; (2) grupos de machos solteros (subadultos no reproductivos que forman manadas aparte); y (3) machos solitarios, típicamente individuos viejos expulsados de sus grupos.

El ciclo reproductivo del guanaco está fuertemente estacional. Las cópulas suelen ocurrir a fines del verano u otoño y, tras una gestación de ~11 meses, las hembras paren una sola cría (chulengo) al año, generalmente durante el verano siguiente (entre diciembre y febrero). Los chulengos permanecen en el grupo familiar hasta aproximadamente el año de edad. Al llegar la siguiente época reproductiva, los chulengos machos son expulsados del grupo por el macho dominante y pasan a engrosar las tropillas de machos solteros. Las hembras jóvenes, por su parte, pueden ser reclutadas por otros machos o incluso permanecer si el grupo parental es pequeño. Este sistema asegura la renovación genética y evita la endogamia dentro de los grupos familiares.

Otro aspecto destacable de la ecología del guanaco es su movilidad y uso del espacio. En regiones con ambientes estacionales, los guanacos pueden realizar movimientos migratorios o desplazamientos altitudinales en busca de pastos frescos. Estudios con collares satelitales en la zona cordillerana del centro-norte de Chile han demostrado que los guanacos utilizan áreas de enorme extensión: una población monitoreada en la cordillera de Illapel (Región de Coquimbo) abarcó un área anual de aproximadamente 136.800 hectáreas, con rangos de hogar estacionales promedio entre 6.500 y 16.300 ha (65 a 163 km²). En el mismo sentido, el seguimiento con dispositivos GPS implementado como medida de compensación del Parque Solar Fotovoltaico Tamarico (RCA Ex. N°172/2016) aporta un antecedente reciente y local para el norte árido de Chile. Dos machos adultos de *Lama guanicoe* marcados entre junio de 2023 y mayo de 2024 presentaron ámbitos de hogar anuales de aproximadamente 186 y 88 km² (MPC100), con desplazamientos diarios promedio entre ~2,8 y ~3,7 km/día y máximos cercanos a 18–21 km/día. En casos extremos, un individuo llegó a usar alrededor de 24.400 ha en una sola temporada (primavera). Estos guanacos cordilleranos mostraron patrones estacionales claros, con desplazamientos más amplios durante las transiciones otoño-invierno a primavera, y primavera a otoño, indicando migraciones altitudinales entre

zonas de verano e invierno. De hecho, las áreas de uso de verano e invierno se superpusieron muy poco, evidenciando que los animales cambiaron casi completamente de localidad entre estaciones cálidas y frías. La movilidad también depende del tipo de grupo: los machos solteros tienden a recorrer distancias mayores y no mantienen territorios fijos, a diferencia de los machos territoriales de grupos familiares que muestran más fidelidad a un sitio. Esta estrategia mixta le permite al guanaco explotar recursos dispersos en entornos áridos y cambiar de zona cuando las condiciones ambientales (disponibilidad de agua, brotes de pastos tras lluvias, etc.) lo requieren.

6.1.2 Distribución Geográfica y Estado Poblacional

El guanaco posee una de las distribuciones geográficas más amplias entre los mamíferos sudamericanos, aunque hoy en día sus poblaciones están fragmentadas en comparación con tiempos prehistóricos y precolombinos. Históricamente, antes de la colonización europea, se estima que había decenas de millones de guanacos (30 a 50 millones según algunas extrapolaciones) distribuidos prácticamente en todos los ecosistemas abiertos de Sudamérica austral, desde el norte de Perú (8°S aprox.) hasta Tierra del Fuego en el extremo austral. A partir de los siglos XIX y XX, la intensa caza, la transformación del hábitat y la competencia con el ganado y especies invasoras provocaron fuertes declives poblacionales. Desde mediados del siglo XX, y con mayor énfasis en décadas recientes, gracias a la creación de áreas protegidas y medidas de manejo, varias poblaciones muestran signos de recuperación parcial —especialmente en la Patagonia—, aunque en otras regiones persisten núcleos relictuales y vulnerables. A nivel global, el guanaco se considera actualmente una especie No Amenazada (Least Concern según UICN) pero con una situación heterogénea a escala regional.

En Chile, la distribución del guanaco abarca desde la frontera con Perú por el norte hasta Cabo de Hornos por el sur, atravesando una enorme gradiente climática y ecológica. No obstante, como se mencionó, la presencia real es muy fragmentada fuera de la Patagonia. Hoy en día, existen dos grandes núcleos poblacionales en Chile separados por ~1.500 km de distancia: las poblaciones australes (Regiones de Aysén y Magallanes) y las poblaciones norte/centro (desde Arica y Parinacota hasta O'Higgins, aproximadamente). Las del extremo sur son las más numerosas y saludables, mientras que las del norte-centro son menores en número y están clasificadas como amenazadas a nivel nacional.

Su distribución desde la Región de Arica y Parinacota hasta la de O'Higgins es discontinua y reducida, restringida mayormente a terrenos altos de la precordillera de los Andes. Excepcionalmente, existen poblaciones costeras en el Desierto de Atacama: en el extremo sur de Antofagasta (sector Paposo y Parque Nacional Pan de Azúcar) y en la Región de Atacama (sector de Llanos de Challe), hábitats donde estos camélidos habitan casi al nivel del mar. Se presume que antiguamente los guanacos norteños podían moverse entre la cordillera y la costa, pero hoy esa conexión está prácticamente cortada por la intervención humana (Ruta 5); a pesar de ello, se han registrado individuos deambulando por los llanos interiores de Atacama fuera de áreas protegidas, lo que indica algún grado de movimiento dispersivo en la región.

En Chile, la normativa de clasificación reconoce diferencias regionales para *Lama guanicoe*. Las poblaciones del norte-centro están clasificadas como Vulnerable (VU) por su baja abundancia y tendencia decreciente, mientras que las poblaciones australes se encuentran en Preocupación Menor (LC) debido a tamaños poblacionales mayores y mayor estabilidad.

6.1.3 *El Guanaco en la Región de Atacama: Población Costera.*

La Región de Atacama (norte de Chile, ~26-29°S) representa un caso especial para la conservación del guanaco, pues alberga una de las poblaciones más septentrionales del país y adaptadas a condiciones desérticas costeras. En Atacama existen básicamente *dos subpoblaciones* de guanaco separadas geográficamente: una en la cordillera altoandina y otra en la franja costera del desierto (principalmente en la Provincia de Huasco). Esta última, conocida como la población de Llanos de Challe, es particularmente emblemática por habitar en uno de los desiertos más áridos del mundo, muy cerca del Océano Pacífico. El Parque Nacional Llanos de Challe (ubicado en la costa de Atacama, al norte de Huasco) protege parte de este hábitat costero único y alberga una importante población de guanacos dentro de sus 45.708 ha de superficie.

A diferencia de las grandes manadas patagónicas, la población costera de Atacama es relativamente menor y hasta hace poco mostraba signos de declive preocupante. Las amenazas históricas y actuales han mermado sus números: la fragmentación del hábitat (carreteras como la ruta 5), la caza furtiva (ilegal) y la introducción de perros de libre deambular han sido identificados como las principales causas de la disminución de guanacos observada en los censos regionales.

6.1.4 *Conservación*

A pesar de ser una especie ampliamente distribuida y adaptable, el guanaco enfrenta diversos desafíos de conservación que varían según la región. En la Patagonia chileno-argentina, las poblaciones han recuperado números importantes bajo regímenes de protección; allí el desafío es manejar los conflictos con la producción ganadera (los guanacos compiten con las ovejas por el pasto y pueden transmitir enfermedades o romper alambrados), así como regular eventualmente su caza sostenible en ciertos lugares. En cambio, en el norte de Chile, el guanaco requiere acciones para resguardar su población local.

En la Región de Atacama, las principales amenazas identificadas son:

- Pérdida y fragmentación del hábitat: La expansión de la actividad humana en el desierto costero y valles interiores ha reducido las áreas disponibles y cortado rutas de desplazamiento de los guanacos. Zonas que antes servían de corredores entre la costa y la cordillera ahora están ocupadas o presentan barreras, aislando a los grupos.
- Caza ilegal: Históricamente, los guanacos fueron cazados por su carne, cuero y como trofeo. Aunque actualmente la caza está prohibida, se han reportado casos esporádicos de furtivismo que diezman aún más a las poblaciones.
- Depredación por perros asilvestrados: Quizás la amenaza más urgente hoy en la Región de Atacama y su población costera de guanacos. Perros domésticos abandonados o que deambulan desde localidades rurales forman jaurías que acosan y atacan a los guanacos, especialmente a crías y ejemplares juveniles o debilitados. Se han documentado múltiples incidentes de muertes de guanacos por mordeduras, lo cual no solo reduce la población, sino que puede alterar sus patrones de actividad (los guanacos se vuelven más nerviosos y evitan ciertas áreas).
- Extrema aridez y cambio climático: Las poblaciones desérticas viven al límite de la disponibilidad de agua y vegetación. Periodos prolongados de sequía severa pueden provocar mortalidad por inanición o deshidratación. El cambio climático podría agravar la aridez del norte chico chileno, haciendo aún más infrecuentes eventos beneficiosos como el desierto florido en el futuro.

- Sarna especie-específica en Guanacos: Según datos otorgados por el SAG de la Región de Atacama, se reconoce la existencia de un episodio de sarna reportado para la población cordillerana de guanacos en la Región de Atacama, antecedentes que se consideran relevantes para la gestión sanitaria regional y la pérdida de ejemplares en dicha zona.

6.2 Área de Mina Los Colorados y su relación con el Parque Nacional Llanos de Challe

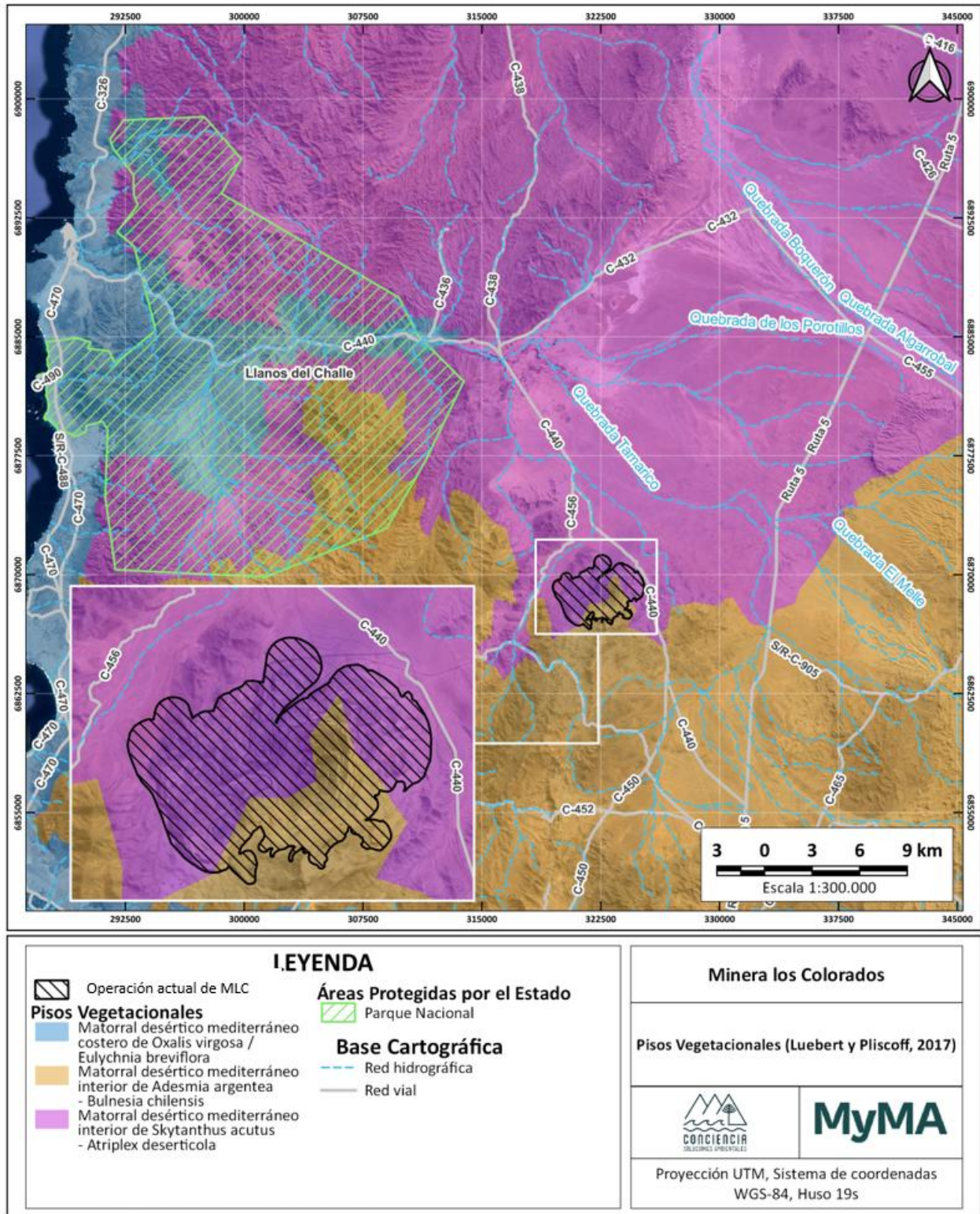
Con el fin de entender el contexto de la población de guanacos a nivel local (población costera de la Región de Atacama), se realiza una comparación con el Parque Nacional Llanos de Challe, el cual se encuentra a 13,52 km al noroeste de Mina Los Colorados, y forma parte de las Áreas Silvestres Protegidas del Estado. Este parque, abarca una superficie de 45.708 hectáreas, fue creado con el objetivo de proteger la formación vegetal del desierto costero del Huasco.

Con el fin de abordar el tamaño y tendencia poblacional de la especie y correlacionarla con la población residente y/o colindante a Mina Los Colorados, se realizó un requerimiento a CONAF de acceso a la información pública N° AR0003T-0009119, indicado en el antecedente "Solicitar información sobre la población de *Lama guanicoe* en el Parque Llanos de Challe - Base de datos del monitoreo de guanacos del PN Llanos de Challe desde el período estival del año 2009 hasta el último invernal del año 2024", base de datos que contiene los monitoreos estivales de guanacos entre 1998 y el 2022.

6.2.1 Relación de pisos vegetacionales

Al analizar la distribución de los pisos vegetacionales, se evidencia que los polígonos de Mina Los Colorados constituyen **un subconjunto de la diversidad representada** en el Parque Nacional Llanos de Challe. Mientras el Parque alberga los tres pisos descritos para la zona (matorral desértico mediterráneo costero de *Oxalis rigosa* – *Eulychnia breviflora*, y los matorrales interiores de *Adesmia argentea* – *Bulnesia chilensis* y de *Skytanthus acutus* – *Atriplex deserticola*; Ver Figura a continuación), Mina Los Colorados se emplaza únicamente sobre los dos pisos de carácter interior. Esto implica que las condiciones ambientales y de vegetación del área de Mina Los Colorados son parte de las ya presentes en el Parque, por lo que las variables ecológicas y presiones, tanto bióticas como abióticas, que afectan a las poblaciones de guanacos dentro del Parque Nacional, con alta probabilidad también incidirán en las poblaciones que habitan el área de Mina Los Colorados, reforzando la similitud entre ambas zonas y sujeta a un mismo régimen de factores de presión.

Figura 1: Comparación de pisos vegetacionales entre el Parque Nacional Llanos de Challe y Mina Los Colorados

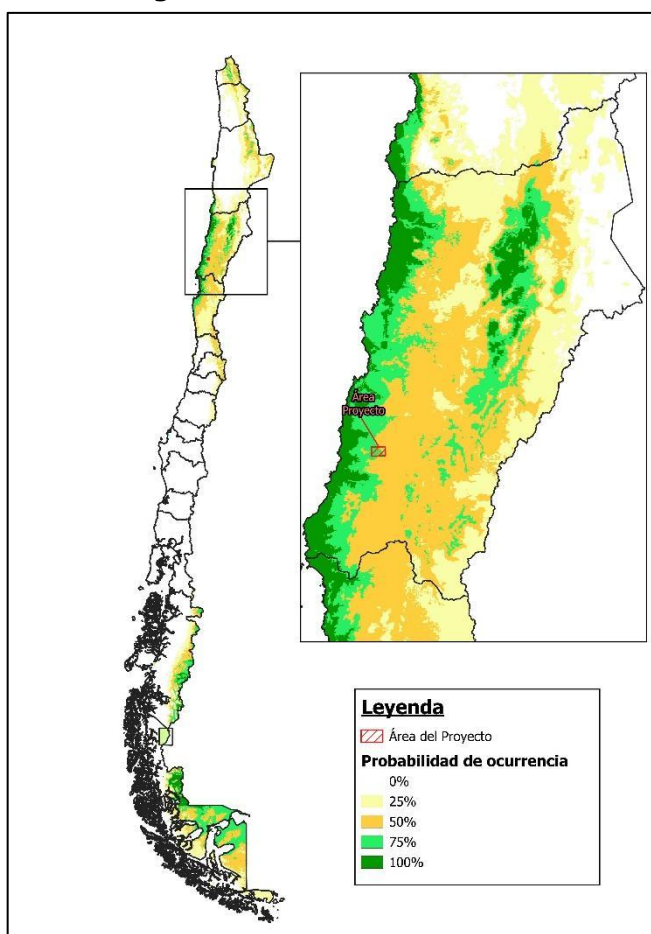


Fuente: Conciencia SpA, a partir de Luebert y Plissock, 2017.

6.2.2 Relación de idoneidad de hábitat para *Lama guanicoe*

Como resultado del modelo de idoneidad de hábitat para la especie *Lama guanicoe*, considerando además lo realizado en el estudio "Distribution in Chile Based upon Niche Structure of Phylogeographic Lineages: Andean Puna to Subpolar Forests" de González *et al.* (2013), se obtiene la siguiente figura.

Figura 2: Idoneidad de hábitat



Fuente: MyMA 2025.

La superficie idónea en la zona costera alcanza un valor de 358,80 km² en la Región de Atacama, con una extensión que alcanza a toda la región en esa latitud. Esta zona incluye tanto el Parque Nacional Llanos de Challe y el área de Mina Los Colorados. Con estos datos se entiende **Mina Los Colorados no es un caso puntual de su distribución, sino que se inserta en una gran matriz regional (costera) de alta idoneidad de hábitat para la especie.** Siendo el área de Mina Los Colorados menor a un 0,01% del área total de la franja costera idónea para la especie.

Considerando el estudio de González *et al.* (2013) para la población costera de la Región de Atacama, tenemos que las variables más relevantes para el modelo son la Precipitación anual (43,6%) y la Temperatura estacional (11,6%), lo cual tiene relación con la disponibilidad de alimento debido al régimen de precipitaciones en la zona y el fenómeno del desierto florido. Hay que recalcar además que la alteración

de origen antrópica contribuye en una baja proporción al modelo (0,9%), por lo que perturbaciones de este tipo no estarían afectando en gran proporción su distribución actual si las comparamos con las demás variables. En la Tabla 5 se presentan la contribución de las variables al modelo de idoneidad de hábitat.

Tabla 5: Contribución de las variables al modelo de idoneidad de hábitat

Variables	Porcentaje de contribución al modelo (%)
Bioclimáticas	
Temperatura media anual	0,9
Temperatura estacional	11,6
Temperaturas mínimas anuales promedio	6,3
Temperaturas máximas anuales promedio	0,0
Precipitación anual	43,6
Estacionalidad de la precipitación	13,9
Topográficas	
Elevación	6,1
Pendiente	0,6
Exposición (aspect)	1,4
Rugosidad	0,7
Vegetación	
EVI (Índice de Vegetación Mejorado)	7,7
Cobertura de suelo desnudo (%)	1,0
Cobertura de pastizal (%)	1,7
Cobertura de matorrales y árboles (%)	3,5
Antrópicas	
Densidad de población (personas/9 km ² , 2008)	0,9

Fuente: MyMA, 2025 en base a González et al 2013.

6.3 Tendencias poblacionales de *Lama guanicoe* en el Parque Nacional Llanos de Challe y Mina Los Colorados

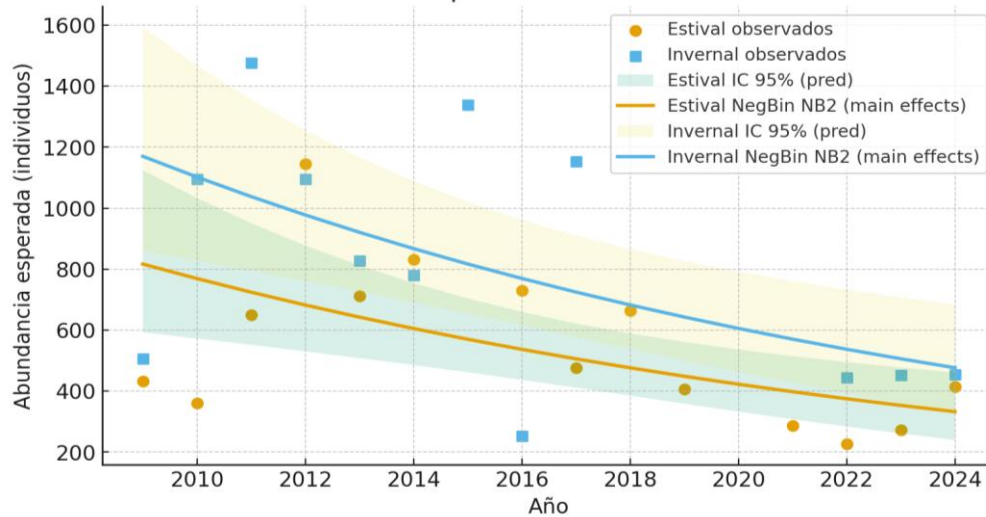
En este contexto, es importante destacar que tanto el Parque Nacional como el área de Mina Los Colorados forman parte de una misma matriz ecológica de alta similitud ecogeográfica. Bajo este entendido, los factores bióticos y abióticos que inciden sobre una de las zonas también repercuten, con alta probabilidad, sobre la otra, por lo que se espera que las tendencias poblacionales de la especie sean muy similares en ambas zonas.

6.3.1 Tendencia Poblacional en el Parque Nacional Llanos de Challe

Con los datos proporcionados por CONAF en sus seguimientos a la especie en estación estival e invernal, se realizan análisis de tendencia (NB2) a la especie, siendo los resultados los siguientes:

- A) **Tendencia temporal.** Se estima una disminución anual del 5,8% en la abundancia esperada de guanacos entre 2009–2024, con IC95% que respalda una caída estadísticamente significativa.
- B) **Estacionalidad.** Controlando por año, los conteos invernales son en promedio 43% mayores que los estivales.
- C) **Pendiente por época.** La interacción Año×Época no mejora el ajuste ($p \gg 0.05$); por tanto, la tasa de declive es similar en ambas épocas.

Figura 3: Tendencia Poblacional de guanacos en el Parque Nacional Llanos de Challe



Fuente: Conciencia Soluciones Ambientales, 2025.

Tabla 6: Estadígrafos evaluados para la tendencia poblacional

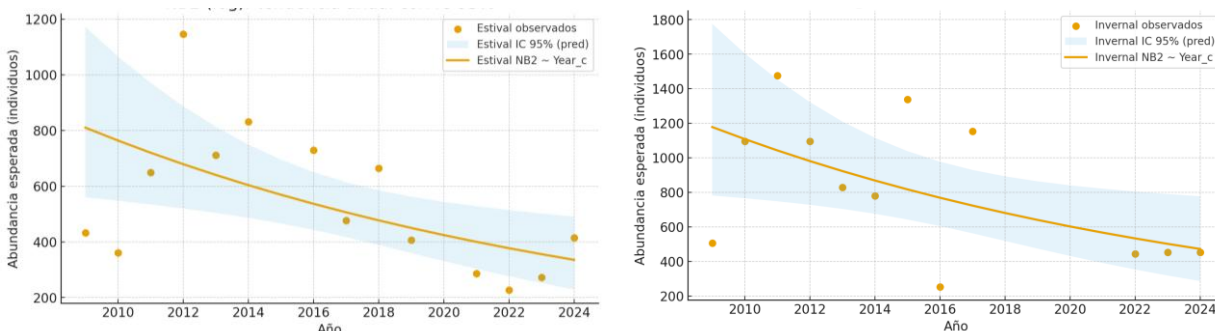
Variable	β (Coef.)	p-valor	IRR (Razón de tasas de incidencia)	Interpretación
Año	-0.0599	0.00042	0.9419	Disminución anual del 5.8% (IC95%: -8.9% a -2.6%)
Época (Invernal vs. Estival)	+0.3596	0.0203	1.433	En invierno la abundancia aumenta en un 43% (IC95%: +6% a +94%)

Fuente: Conciencia Soluciones Ambientales, 2025.

• Comparación entre épocas

Al comparar entre los valores obtenidos entre las épocas invernal y estival, obtenemos que no hay evidencia estadística de que la tasa de declive difiera entre estival e invernal; la caída anual es comparable en ambas. A continuación, los resultados obtenidos:

Figura 4: Tendencia Poblacional de guanacos en el Parque Nacional Llanos de Challe en estación estival (izquierda) e invernal (derecha)



Fuente: Conciencia Soluciones Ambientales, 2025.

Tabla 7: Estadígrafos evaluados para la tendencia poblacional por estación

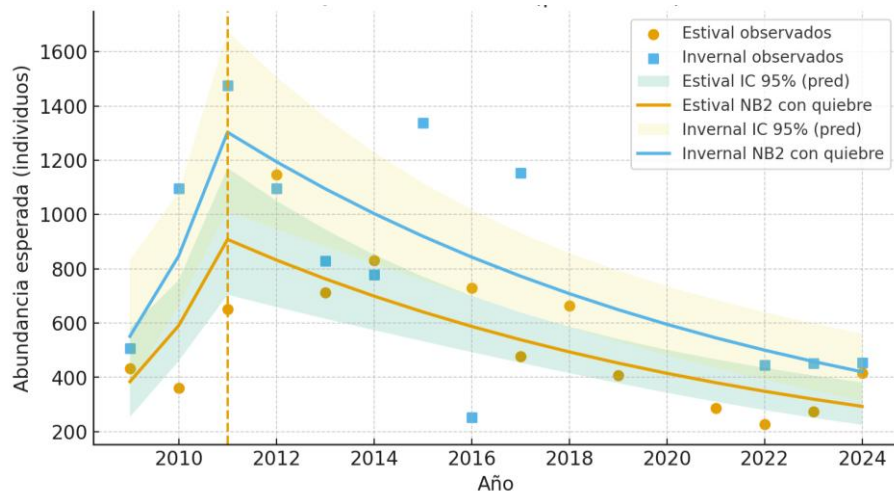
Prueba estadística	Hipótesis evaluada	Resultado	p-valor	Conclusión
Wald (β interacción)	Si la pendiente difiere significativamente entre épocas	No significativo	$p \gg 0.05$	No hay evidencia de diferencias en la tasa de declive entre épocas.
LR (Modelo con interacción vs. sin interacción)	Si el modelo con interacción mejora el ajuste	No significativo	$p \gg 0.05$	El modelo sin interacción es suficiente; la pendiente es comparable en ambas.

Fuente: Conciencia Soluciones Ambientales, 2025.

• Análisis de Ruptura o quiebre de datos

El análisis de rupturas temporales evidenció un punto de quiebre en la tendencia poblacional hacia el año 2011, el cual formaliza el máximo observado en 2011–2012 y la caída sostenida posterior. Tras este quiebre, la pendiente de la serie muestra un descenso más acentuado, con una tasa aproximada de -8 a -9% anual. Este patrón es compatible con un cambio en las condiciones ambientales y regionales —como las sequías prolongadas registradas en la zona—, así como con otros factores de presión antrópica, entre ellos la mortalidad asociada a perros asilvestrados. En conjunto, los resultados confirman que el periodo posterior a 2011 representa un escenario de declive más marcado en la población de guanacos.

Figura 5: Análisis de ruptura o quiebre de datos



Fuente: Conciencia Soluciones Ambientales, 2025.

Tabla 8: Estadígrafos evaluados para el quiebre de datos

Parámetro	Resultado	Interpretación
Año de quiebre (τ)	2011	Marca el máximo poblacional y el inicio de la caída sostenida.
Pendiente pre-2011	IRR ≈ 0.94 ($-6\%/año$)	Declive moderado previo al quiebre.
Pendiente post-2011	IRR $\approx 0.91-0.92$ ($-8-9\%/año$)	Declive más acentuado posterior al quiebre.
Efecto de Época (Inv. vs Est.)	Positivo	Los conteos invernales son consistentemente más altos, sin afectar la localización del quiebre.

Fuente: Conciencia Soluciones Ambientales, 2025.

Resultados esenciales:

- La población de guanacos en Llanos de Challe disminuye un 5,8% anual entre 2009–2024.
- Los conteos invernales son 43% mayores que los estivales.
- La tasa de declive es similar en ambas épocas (sin diferencias significativas).
- Se identificó un quiebre en 2011, que marca el máximo poblacional y el inicio de la caída sostenida.
- Antes de 2011, el declive era de -6% anual; después de 2011 se acentuó a $-8-9\%$ anual.
- El patrón posterior a 2011 es consistente con sequías prolongadas y mortalidad por perros asilvestrados como factores de presión.

6.3.2 Tendencia Poblacional en Mina Los Colorados

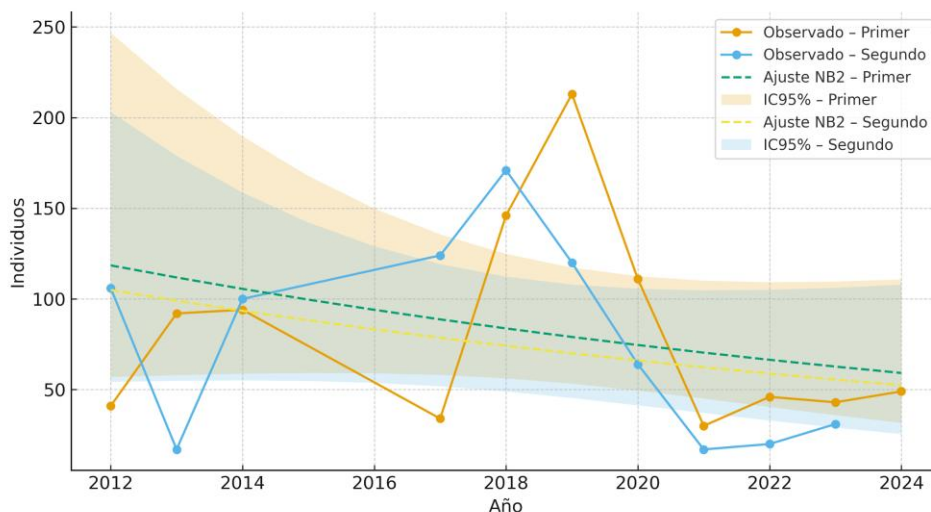
Desde el año 2012, se han realizado monitoreos semestrales de la especie en el área de influencia de Mina Los Colorados. Los valores han fluctuado entre un mínimo de 17 (segundo semestre de 2021) a 213 animales (primer semestre de 2019). La serie de censos ($n = 21$) presenta una alta variabilidad ($CV \approx 51\%$)

y una sobre-dispersión severa ($\phi \approx 40,7$), lo que hace inadecuado el modelo Poisson ($AICc \approx 835,8$) frente al modelo Binomial Negativa NB2 ($AICc \approx 229,3$).

En el modelo NB2 con efectos principales (Año + Semestre), la pendiente anual estimada indica un descenso promedio de $-5,6\%/año$ ($IRR = 0,944$; $IC95\% 0,861-1,035$), aunque no significativo ($p = 0,219$). El efecto estacional (conteos del segundo semestre vs primer semestre) no resultó significativo ($IRR = 0,885$; $p = 0,681$), y la interacción Año×Semestre tampoco aportó al ajuste ($p = 0,509$).

En consecuencia, no se detecta una tendencia poblacional monótona estadísticamente significativa en el área de influencia de Mina Los Colorados durante el período 2009–2024.

Figura 6: Tendencia Poblacional de guanacos en Mina Los Colorados



Fuente: Conciencia Soluciones Ambientales, 2025.

Tabla 9: Estadígrafos evaluados para la tendencia poblacional en Mina Los Colorados

Variable / Contraste	β (Coef.)	IRR	IC95%	p-valor	Interpretación
Año (pendiente)	-0,0586	0,944	0,861 – 1,035	0,219	Descenso estimado de $-5,6\%/año$, no significativo.
Semestre (2° vs 1°)	-0,1222	0,885	0,496 – 1,582	0,681	Diferencia no significativa entre semestres.
Interacción Año × Semestre	—	—	—	0,509	Sin evidencia de pendiente distinta entre semestres.

Fuente: Conciencia Soluciones Ambientales, 2025.

Resultados esenciales:

Si bien la baja de individuos registrados en la zona de Mina Los Colorados y sectores colindantes no es estadísticamente significativa, si se observa una tendencia similar a la observada en el Parque nacional Llanos de Challe, lo cual es esperable de acuerdo a los factores analizados.

6.4 Identificación de áreas prioritarias de alimentación y tránsito de *Lama guanicoe*

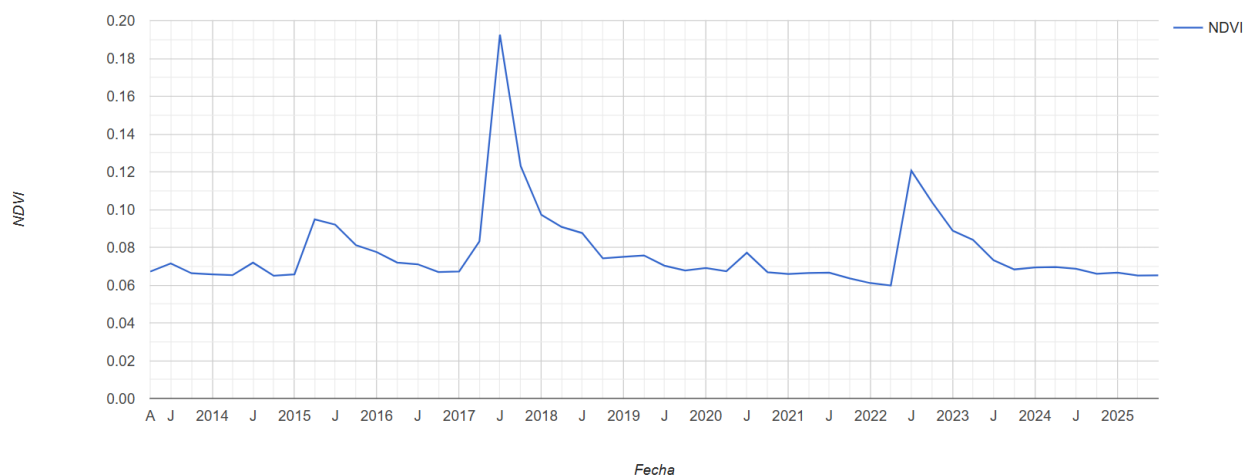
6.4.1 Identificación de zonas interés para *Lama guanicoe*

El análisis de NDVI y NDWI realizado, identificó un total de 220 zonas con vegetación de alto vigor y 112 con alta humedad, con un tamaño promedio de 142,64 ha y. Respecto de Mina Los Colorados, estos se encuentran distribuidos principalmente al noroeste del área de influencia. Estas zonas, con una superficie mínima de 1 hectárea, presentan características ecológicas adecuadas para el *Lama guanicoe*, como vegetación de alto vigor (matorrales en su mayoría) y/o humedad, las cuales son esenciales para el desplazamiento y la alimentación de la especie. Estas zonas se determinaron mediante el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).

En la Figura 9 se muestran las zonas con alto NDVI y NDWI, en la cual se visualiza que estas se concentran hacia el sector costero. Dentro de un área buffer de 4km alrededor de Mina Los Colorados que las zonas con NDVI alto se encuentran en los macizos al oeste de Mina Los Colorados. En el área de Mina Los Colorados no se registran zonas en que estas dos variables sean altas en su conjunto.

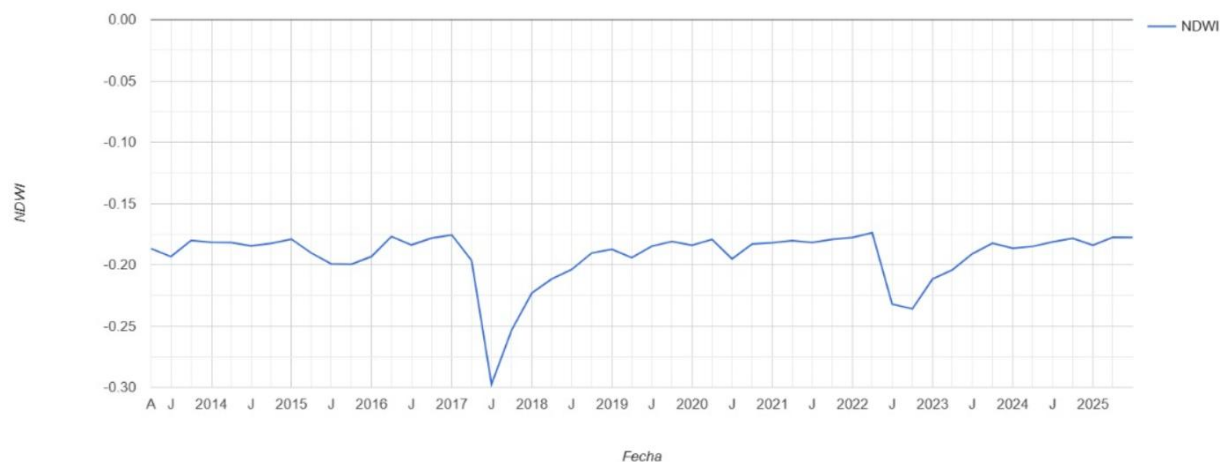
A continuación, se detallan los puntos de interés definidos para la especie, tanto en su ubicación, superficie y coordenada del centroide:

Figura 7: Variación multitemporal del NDVI



Fuente: Conciencia Soluciones Ambientales, 2025.

Figura 8: Variación multitemporal del NDWI



Fuente: Conciencia Soluciones Ambientales, 2025.

Tabla 10: Puntos y superficies de zonas de interés para *Lama guanicoe*

ID	Este (m)	Norte (m)	Superficie (ha)	ID	Este (m)	Norte (m)	Superficie (ha)
0	324.364	6.898.475	32,76	110	290.505	6.882.387	3981,09
1	322.777	6.898.122	10,52	111	334.850	6.874.096	16,14
2	290.161	6.898.160	17,48	112	315.530	6.873.724	13,77
3	289.361	6.897.820	11,07	113	311.002	6.873.472	10,36
4	323.487	6.897.983	25,4	114	305.538	6.873.339	15,74
5	324.786	6.897.278	10,05	115	314.240	6.871.790	10,21
6	306.602	6.897.379	16,69	116	311.312	6.871.792	15,35
7	300.115	6.896.531	26,74	117	314.228	6.871.163	11,39
8	289.884	6.897.166	66,21	118	330.014	6.870.722	12,11
9	310.091	6.896.312	11,16	119	287.676	6.870.613	39,95
10	332.399	6.896.774	17,57	120	310.787	6.870.587	11,08
11	326.392	6.896.231	23,5	121	288.191	6.870.037	10,36
12	315.572	6.896.058	12,58	122	304.364	6.870.151	13,69
13	297.859	6.895.803	10,68	123	309.813	6.870.043	10,36
14	288.609	6.895.826	18,43	124	331.737	6.870.320	30,15
15	309.406	6.895.951	47,31	125	312.530	6.869.700	15,19
16	330.443	6.895.613	22,16	126	317.043	6.869.471	15,59
17	308.113	6.895.996	46,6	127	329.932	6.869.805	33,39
18	299.829	6.895.188	11,95	128	311.169	6.869.147	14,16
19	304.101	6.895.001	13,61	129	303.869	6.869.331	37,58

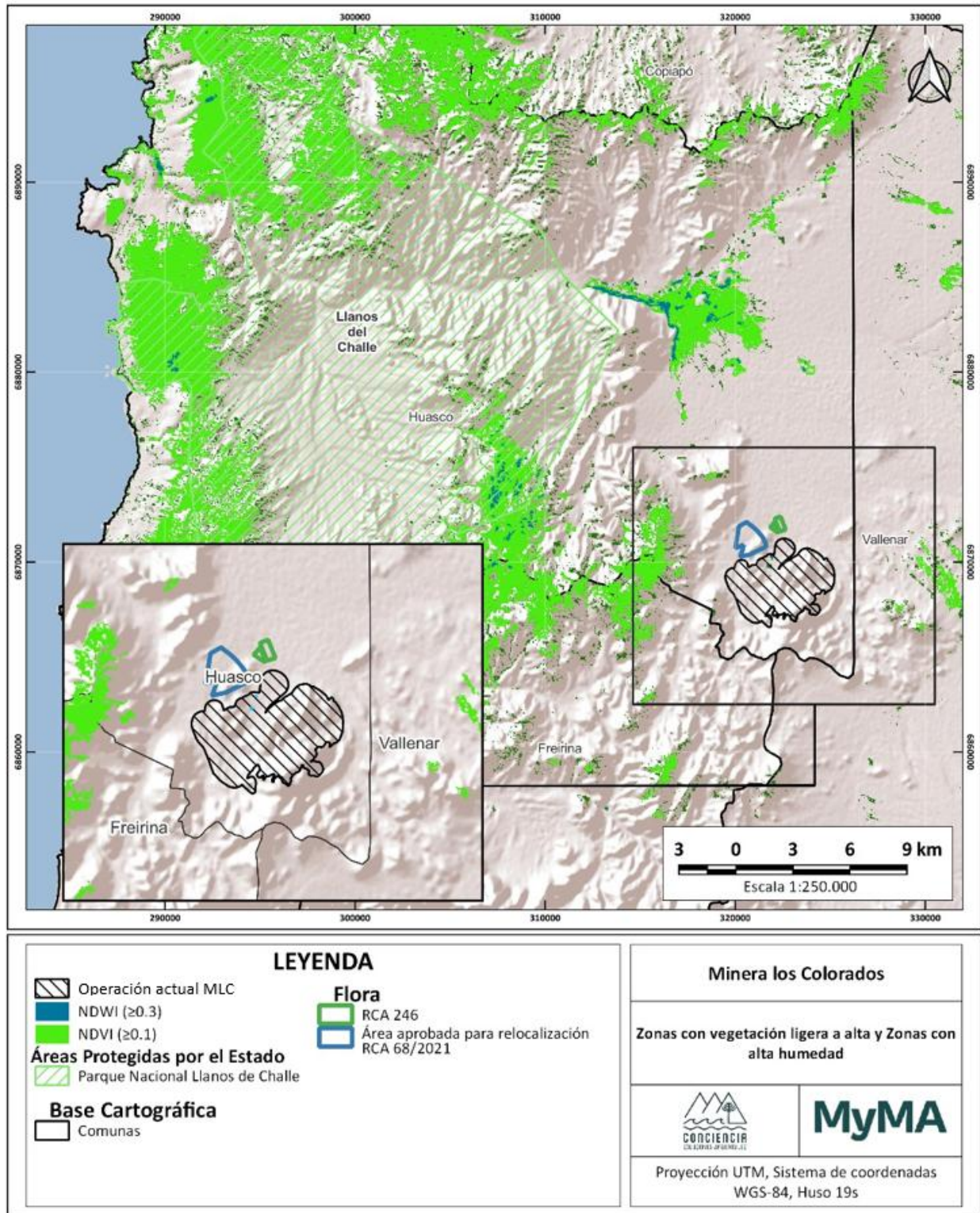
ID	Este (m)	Norte (m)	Superficie (ha)	ID	Este (m)	Norte (m)	Superficie (ha)
20	316.221	6.895.069	12,42	130	330.661	6.868.966	18,83
21	324.791	6.895.055	14,16	131	287.185	6.869.439	73,48
22	315.444	6.895.234	69,31	132	298.048	6.867.817	15,66
23	296.931	6.894.350	14,95	133	311.911	6.868.624	67,09
24	316.031	6.894.256	10,29	134	311.213	6.867.918	29,75
25	320.605	6.894.167	10,68	135	331.328	6.868.538	125,11
26	289.608	6.894.221	59,72	136	294.457	6.867.791	20,41
27	315.633	6.893.862	17,25	137	328.633	6.867.603	10,21
28	322.118	6.893.805	16,7	138	287.683	6.868.177	158,91
29	289.760	6.893.531	15,66	139	294.611	6.867.235	12,18
30	311.672	6.893.556	28,8	140	305.000	6.868.434	112,1
31	321.322	6.893.638	25,87	141	299.080	6.867.265	11,31
32	332.013	6.893.355	13,93	142	314.984	6.869.687	765,11
33	323.908	6.893.376	15,98	143	295.478	6.866.896	19,7
34	316.206	6.893.515	36,79	144	301.594	6.867.061	11,95
35	316.585	6.892.935	30,22	145	307.662	6.866.855	36
36	313.100	6.893.233	62,19	146	294.991	6.866.625	14,48
37	310.538	6.892.743	10,21	147	300.443	6.866.842	15,35
38	314.550	6.893.305	67,65	148	305.557	6.866.763	16,93
39	320.436	6.893.086	46,76	149	329.796	6.866.609	10,76
40	319.541	6.892.831	44,86	150	288.337	6.866.797	64,55
41	326.093	6.894.308	445,34	151	295.223	6.866.159	13,21
42	305.692	6.892.916	120,65	152	314.098	6.866.533	41,93
43	309.317	6.892.912	79,12	153	308.164	6.866.369	20,57
44	309.992	6.892.485	17,25	154	307.990	6.871.318	2971,38
45	315.370	6.892.316	25,32	155	334.751	6.867.128	177,03
46	319.062	6.891.968	57,6	156	296.972	6.866.053	15,9
47	305.880	6.891.795	10,05	157	294.343	6.866.170	29,27
48	308.814	6.891.792	11,95	158	301.009	6.865.795	25
49	288.596	6.891.780	17,96	159	310.468	6.865.495	12,26
50	318.664	6.891.430	23,1	160	315.001	6.866.342	90,91
51	301.824	6.891.296	56,17	161	293.977	6.865.733	39,24
52	309.367	6.891.201	16,3	162	297.765	6.865.297	18,27
53	310.206	6.890.993	12,66	163	310.056	6.865.217	18,43
54	324.993	6.890.583	15,98	164	304.636	6.865.078	14,56
55	324.691	6.890.104	11,71	165	300.331	6.865.059	10,05

ID	Este (m)	Norte (m)	Superficie (ha)	ID	Este (m)	Norte (m)	Superficie (ha)
56	287.611	6.890.340	48,01	166	296.638	6.864.893	15,27
57	302.679	6.890.456	119,86	167	300.744	6.864.767	24,76
58	310.342	6.889.959	11,08	168	302.044	6.864.035	13,13
59	289.611	6.890.825	80,21	169	294.485	6.863.849	19,22
60	318.502	6.889.935	19,7	170	300.470	6.863.757	10,6
61	288.663	6.889.775	16,14	171	299.829	6.863.384	10,36
62	290.842	6.889.329	29,74	172	307.256	6.863.860	10,6
63	329.396	6.889.036	36,8	173	296.356	6.863.747	32,67
64	322.166	6.889.039	14,32	174	305.441	6.863.353	14,48
65	330.716	6.888.581	46,13	175	306.358	6.864.736	268,68
66	294.068	6.888.035	12,66	176	294.906	6.863.295	12,42
67	299.977	6.888.074	28,64	177	315.416	6.862.838	17,8
68	287.351	6.888.488	96,98	178	295.742	6.863.016	13,92
69	298.397	6.895.107	7104,4	179	295.191	6.862.869	21,36
70	298.580	6.891.698	1761,69	180	304.081	6.864.091	396,2
71	321.595	6.888.002	70,9	181	296.881	6.862.877	40,9
72	297.717	6.887.563	13,53	182	298.191	6.862.891	10,76
73	295.976	6.887.281	17,56	183	302.712	6.862.647	18,04
74	318.669	6.887.220	10,13	184	299.273	6.862.508	30,77
75	300.265	6.886.829	13,29	185	305.025	6.862.298	16,53
76	320.351	6.886.085	11,71	186	293.364	6.862.193	13,37
77	319.655	6.885.903	10,37	187	306.490	6.862.463	27,45
78	332.816	6.885.932	36,72	188	296.098	6.862.369	20,57
79	292.674	6.885.605	22,78	189	295.385	6.861.780	11
80	332.464	6.884.519	24,85	190	293.912	6.861.641	36,15
81	331.693	6.885.078	117,43	191	305.423	6.861.867	51,5
82	292.949	6.883.921	10,84	192	291.826	6.868.790	4651,23
83	332.872	6.883.833	34,58	193	295.014	6.861.024	14,79
84	334.843	6.883.319	11,79	194	305.933	6.861.173	55,93
85	334.392	6.882.956	27,14	195	305.568	6.860.537	15,51
86	321.233	6.882.796	19,7	196	302.996	6.860.214	20,49
87	333.144	6.881.804	83,72	197	295.227	6.859.749	19,3
88	323.781	6.880.263	32,6	198	303.989	6.860.351	118,91
89	320.020	6.880.314	57,29	199	310.443	6.859.486	10,05
90	318.004	6.883.140	1622,83	200	305.195	6.859.663	55,7
91	332.519	6.879.154	15,43	201	312.281	6.859.176	10,84

ID	Este (m)	Norte (m)	Superficie (ha)	ID	Este (m)	Norte (m)	Superficie (ha)
92	333.897	6.879.065	14,01	202	315.857	6.859.083	16,77
93	317.032	6.878.771	10,76	203	296.964	6.859.001	14
94	289.648	6.878.678	28,16	204	304.341	6.858.986	27,93
95	305.740	6.878.746	30,62	205	305.673	6.858.502	21,44
96	333.894	6.878.351	11,95	206	333.290	6.858.004	10,37
97	334.594	6.880.635	362,36	207	297.715	6.858.381	72,23
98	307.554	6.878.613	35,6	208	316.290	6.858.840	95,34
99	306.840	6.877.856	16,93	209	300.956	6.857.580	17,88
100	317.305	6.877.709	12,03	210	299.080	6.857.938	18,04
101	292.261	6.877.469	13,45	211	298.049	6.857.324	20,01
102	334.549	6.877.631	46,21	212	300.240	6.857.268	11,23
103	289.478	6.876.483	10,44	213	302.971	6.857.140	12,34
104	334.272	6.876.738	28,81	214	304.267	6.857.676	48,02
105	294.524	6.876.395	10,13	215	315.990	6.856.727	14,08
106	294.148	6.875.510	13,21	216	299.472	6.856.960	32,91
107	335.034	6.875.202	10,13	217	291.244	6.857.364	976,45
108	305.440	6.875.166	14,48	218	300.040	6.856.606	25,16
109	318.713	6.874.521	13,85	219	302.736	6.856.746	18,59

Fuente: MYMA, 2025.

Figura 9: Zonas de interés para *Lama guanicoe* en base a zonas de vegetación con alto vigor y cuerpos de agua (NDVI y NDWI)



Fuente: MyMA, 2025.

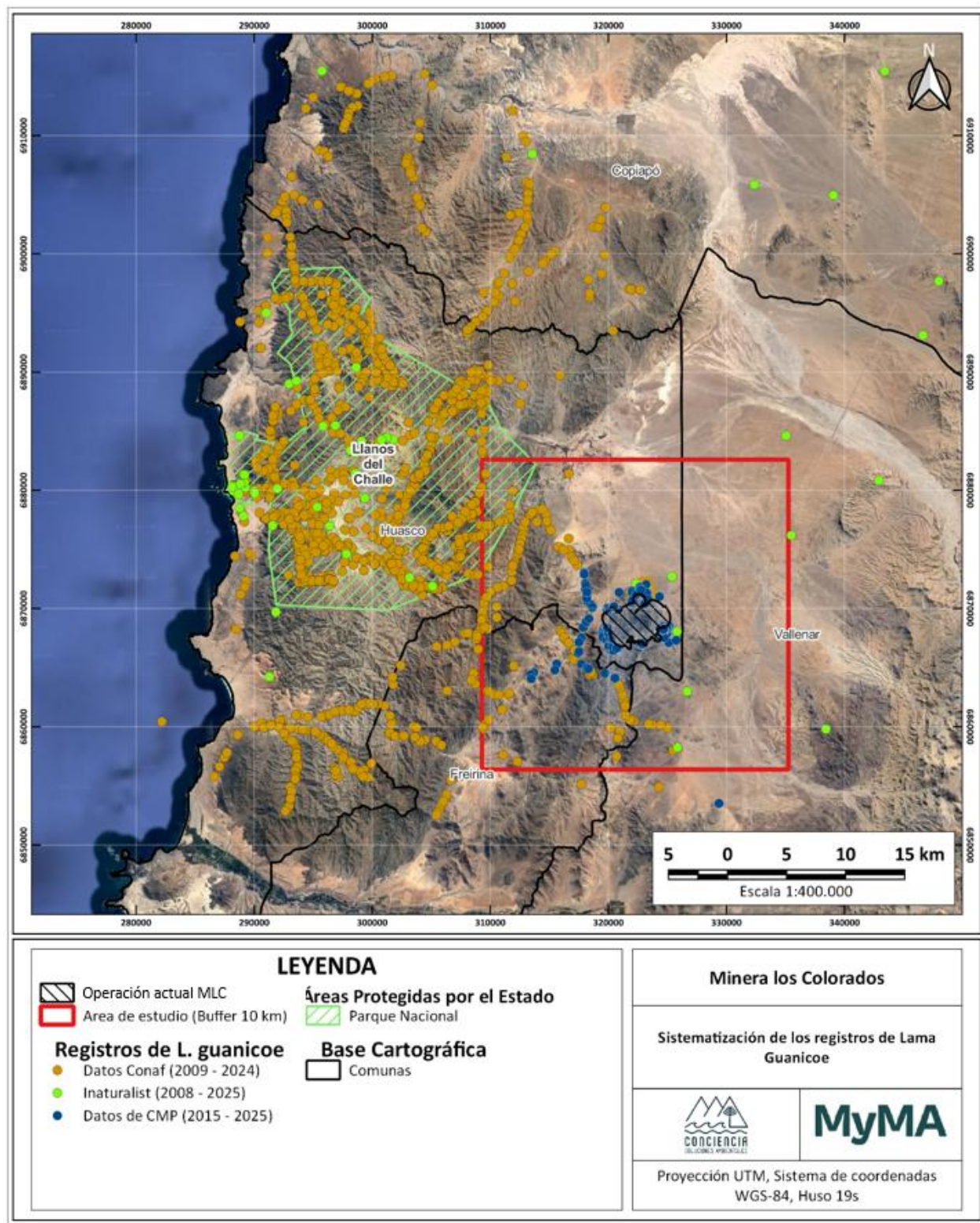
6.4.2 Sistematización de los datos de presencia de la especie y densidad de Kernel

Se identificaron 2655 registros de *L. guanicoe* en la Región de Atacama, de los cuales el 82,41% corresponden a datos de CONAF, 8,36% a Inaturalist y 9,23% a registros de Mina Los Colorados. Los registros se presentan en la Figura 10.

Al revisar la concentración de los registros de la especie en el contexto local de Mina Los Colorados, se visualiza una concentración de estos en torno al Parque Nacional Llanos de Challe y una concentración hacia el sureste de Minera Los Colorados. Es importante destacar que la concentración de los registros incorpora datos no normalizados de presencia de la especie, por efectos de la acumulación de estos a través del tiempo o como por efecto de un esfuerzo replicado en las mismas zonas. Asimismo, los parches de calor dispersos en el borde costero y otros sectores interiores sugieren un uso amplio del territorio por *L. guanicoe* en el entorno local de la Mina Los Colorados². En la Figura 11 se muestra la estimación de la densidad de Kernel.

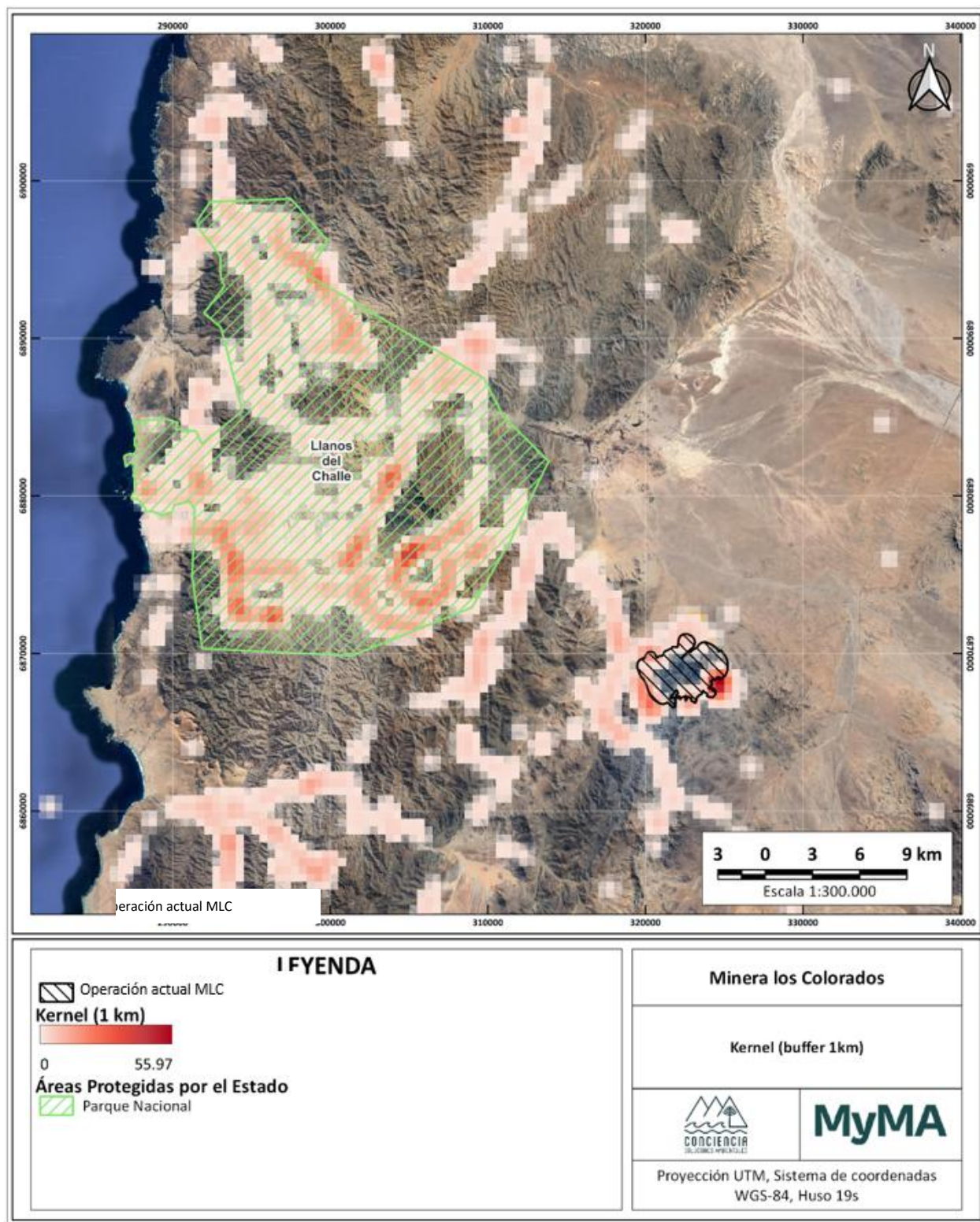
² Cabe señalar que la concentración de especies identificadas en el entorno de MLC, se debe al esfuerzo de muestreo de acuerdo con los monitoreos realizado Titular.

Figura 10: Sistematización de los registros de *Lama guanicoe*



Fuente: Conciencia Soluciones Ambientales, 2025.

Figura 11: Densidad de Kernel de los registros de presencia de *L. guanicoe*

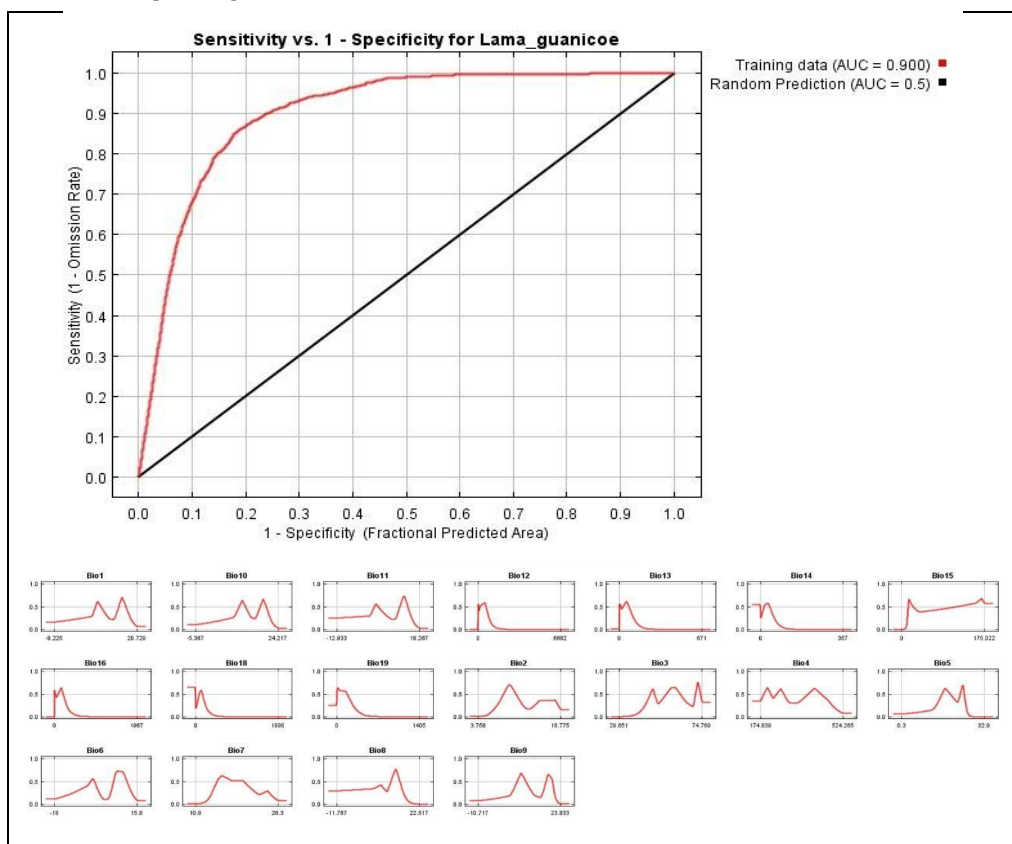


Fuente: Conciencia Soluciones Ambientales, 2025.

6.4.3 Modelo de distribución potencial de la especie y análisis de resistencia

El modelo de distribución potencial de la especie, obtenido mediante Maxent, alcanzó un valor de Área Bajo la Curva (AUC) de 0,9, lo que evidencia una alta capacidad predictiva para diferenciar entre zonas aptas e inaptas. Entre las variables climáticas, la precipitación del mes más seco (Bio19) explicó el 38,9% de la variación del modelo, seguida por la precipitación del trimestre más cálido (Bio18) con un 14,2%. Estos resultados destacan la influencia de las condiciones climáticas extremas en la distribución de la especie, especialmente en ambientes áridos como el área de estudio, donde la disponibilidad de agua y cobertura vegetal dependen estrechamente de estos factores.

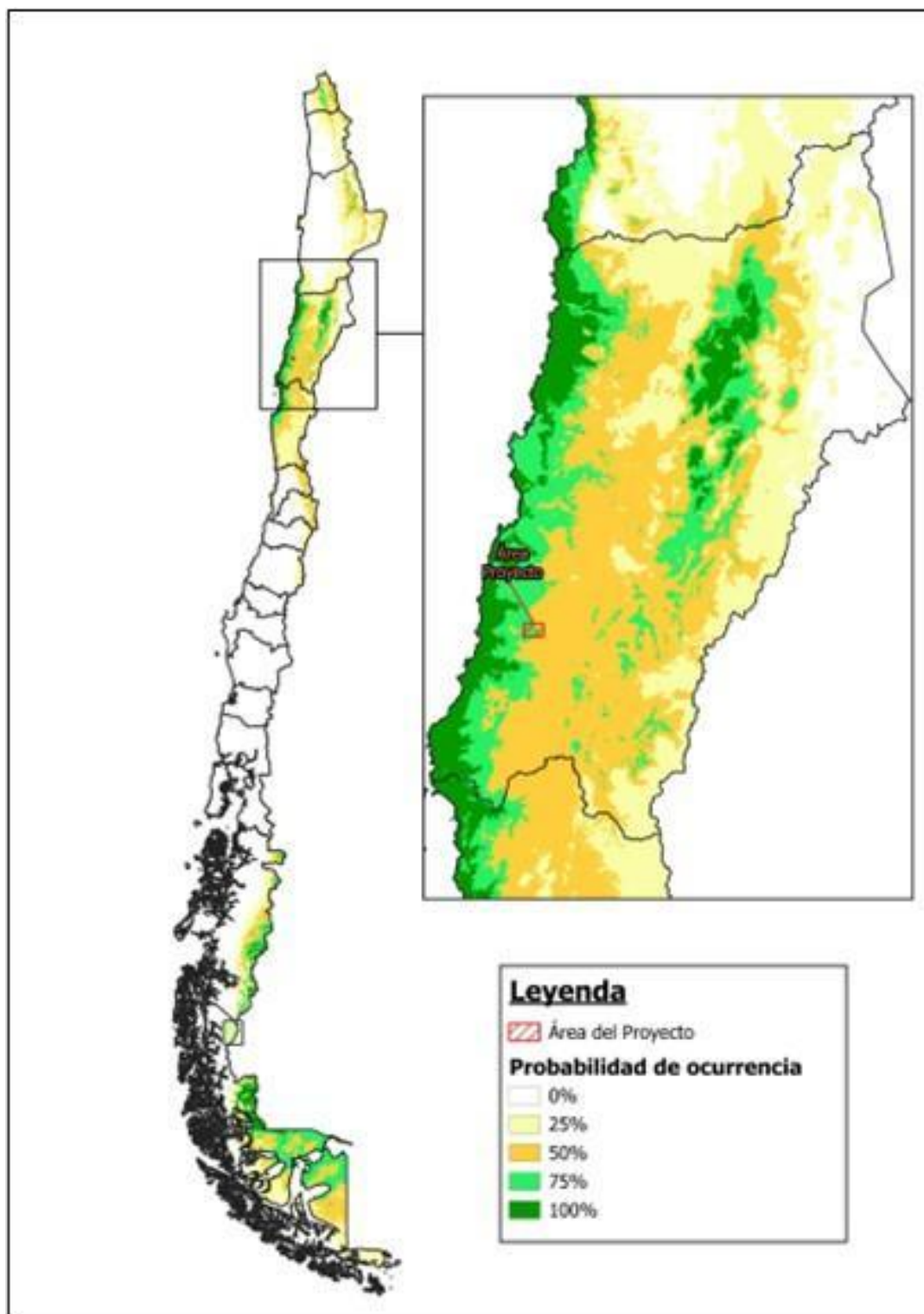
Figura 12: AUC y comportamiento de variables bioclimáticas utilizadas en el modelo



Fuente: MyMA, 2025.

El mapa de idoneidad de hábitat obtenido muestra una media-alta probabilidad de presencia en el sector de MLC, el cual reúne las condiciones esenciales para el mantenimiento de la especie (Figura 13).

Figura 13: Mapa de idoneidad de hábitat de *Lama guanicoe* resultante del análisis con Maxent



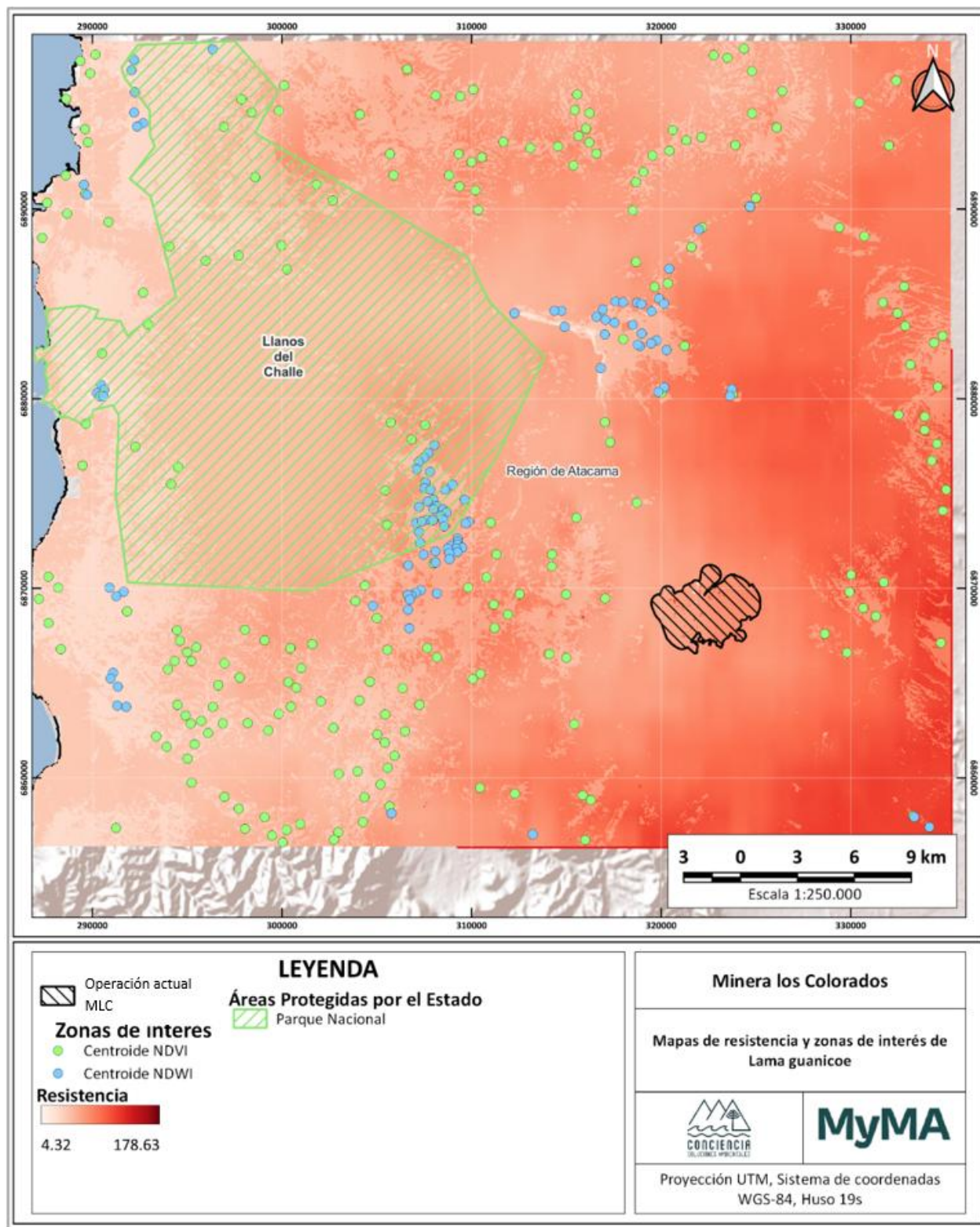
Fuente: MyMA, 2025.

En cuanto a la cobertura vegetal dentro del área de buffer alrededor de Mina Los Colorados, el 87,33% del área de estudio presenta suelo sin vegetación, mientras que el 12,63% presente una cobertura de vegetación de ligera a alta. Lo anterior representa una barrera moderada al movimiento de los guanacos. La pendiente, otro factor de fricción importante, varió entre 0° y 63,27°, con un promedio de 10,47° y una desviación estándar de 8,18°. Las áreas con pendientes superiores a 35° representan una fricción significativa, limitando los corredores posibles para el *Lama guanicoe*.

El análisis de fricción, fundamental para la identificación de rutas de mínimo costo, se basó en la integración de la cobertura vegetal (obtenida a partir del NDVI) y la pendiente del terreno. Estas dos variables ofrecen una estimación robusta de la resistencia al movimiento del *Lama guanicoe*, dado que las pendientes pronunciadas y la baja cobertura vegetal dificultan su desplazamiento.

En la siguiente figura se presenta el mapa de resistencia que muestra las zonas de interés para la especie *lama guanicoe*. Destacar que, para el área de Mina Los Colorados se presenta una resistencia importante en comparación con otros sectores/territorios.

Figura 14: Zonas de interés para *Lama guanicoe* y resistencia según variables utilizadas



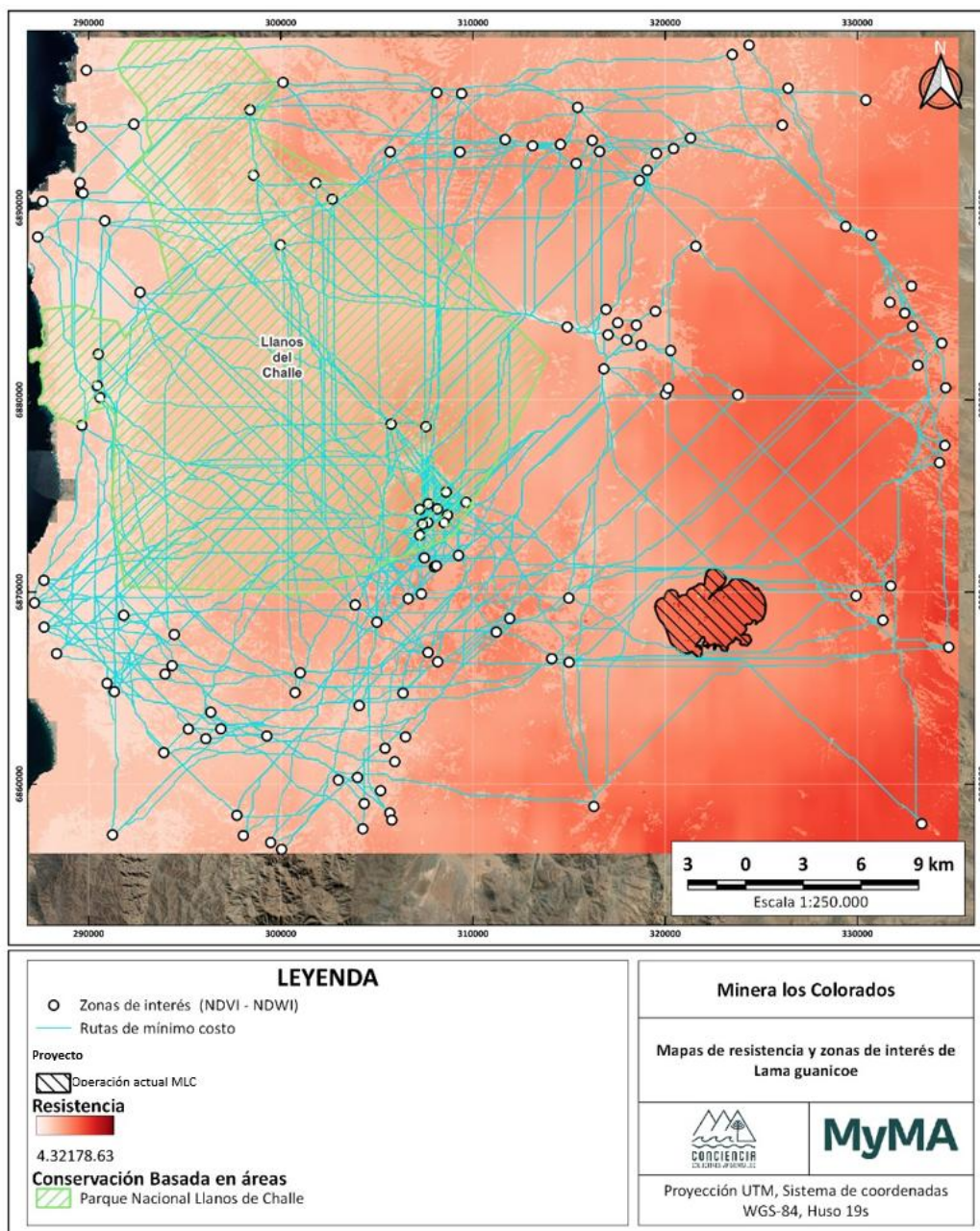
Fuente: MyMA, 2025.

6.4.4 Identificación de zonas de tránsito mediante rutas de mínimo costo

- **Validación de las rutas de mínimo costo**

Se generaron 246 rutas de mínimo costo entre las zonas de interés identificadas, las cuales representan los corredores ecológicos potenciales más eficientes para el desplazamiento de *Lama guanicoe*. Estos valores se deben tomar con cautela dado que solo son rutas teóricas en base a los datos de morfología, disposición de alimento y fuentes de agua en el territorio.

Figura 15: Rutas de mínimo costo energético



Fuente: MYMA, 2025.

Acción propuesta: Monitoreo continuo mediante trampas cámara de las zonas de interés para *Lama guanicoe* (alimentación y/o tránsito), con el objetivo de analizar su uso y estado durante un año y un buffer de 4 km en torno a las obras de Mina Los Colorados.

6.5 Análisis de Fragmentación y pérdida de hábitat

6.5.1 Supuestos, escala y métricas

a. Extensión y grano: análisis a escala de paisaje para la franja costera idónea de la especie calculada anteriormente ($A_L = 358,8 \text{ km}^2$). Mina Los Colorados se representa como “agujero” (no lineal) dentro del parche mayor. Métricas de referencia a nivel de clase: CA, PLAND, NP, LPI, ED, CLUMPY/COHESION, y métricas de conectividad orientadas a especie (PC, ECA, m_{eff}) (McGarigal et al., 2012; Saura & Pascual-Hortal, 2007; Saura & Rubio, 2010).

b. Conectividad funcional (escala de especie): el guanaco presenta altas capacidades de movimiento y ámbitos de hogar estacionales de decenas a $>100 \text{ km}^2$, con desplazamientos de varios kilómetros entre parches dentro de una estación (Raedeke, 1979; Franklin, 1983; Wheeler, 1995). Se adopta un umbral de conectividad conservador $d = 5\text{--}10 \text{ km}$ para interpretar conectividad estructural ↔ funcional.

c. Calidad de hábitat: el NDVI del área de Mina Los Colorados (expuesto anteriormente) se describe como bajo respecto del polígono idóneo (no concentra “alto vigor”), por lo que además de la pérdida geométrica (área), se reporta una pérdida ponderada por calidad.

6.5.2 Resultados (antes vs. después de incorporar Mina Los Colorados)

Tabla 11: Métricas de referencia a nivel clase

Métrica	Antes	Después	Cambio	Interpretación
CA (área de clase)	358,8 km^2	356,8 km^2	-2,0 km^2	Pérdida de 200 ha aproximadamente dentro del parche principal.
PLAND (%)	100,0	99,44	-0,56 ptos	Pérdida geométrica = 0,56% del hábitat de alta idoneidad.
NP (nº de parches)	1	1	0	No se genera fragmentación (no se parte el parche).
LPI (% del paisaje en el mayor parche)	100,0	99,44	-0,56 ptos	El mayor parche sigue siendo casi todo el hábitat idóneo.
ED (densidad de borde, m/ha)	—	+0,14	+0,14	Borde adicional $\approx 5\text{--}6 \text{ km}$ (perímetro del “agujero” de 200 ha aproximadamente); incremento marginal de borde a escala de paisaje.
CLUMPY / COHESION	$\approx 1,00$ / muy alta	$\approx 1,00$ / muy alta	~ 0	La agregación y cohesión del hábitat prácticamente no cambian.
PC (Probability of Connectivity)	1,000	0,989	-1,1%	Con 1 parche, $PC = (CA/A_L)^2$; la caída es muy baja y no implica aislamiento.
ECA (Equivalent Connected Area)	358,8 km^2	356,8 km^2	-2,0 km^2	$ECA = A_L \cdot \sqrt{PC}$; caída idéntica al área perdida.

Métrica	Antes	Después	Cambio	Interpretación
m_eff (effective mesh size)	358,8 km ²	≈354,8 km ²	-1,1%	Relacionado con PC; su variación es mínima y sin efecto funcional.

Fuente: MyMA, 2025.

6.5.3 Interpretación ecológica y de conectividad (funcional)

En la franja costera idónea calculada para la especie (358,8 km²) no se evidencia fragmentación estructural: el número de parches se mantiene en NP = 1, por lo que el hábitat permanece contiguo y la huella de Mina Los Colorados actúa solo como un vacío interior de pequeña escala (≈ 1,4 km de diámetro si fuera compacto), muy por debajo de los desplazamientos estacionales documentados para el guanaco (Raedeke, 1979; Franklin, 1983; Wheeler, 1995). La conectividad funcional evaluada con un umbral conservador de d = 5–10 km se mantiene robusta: los índices PC y ECA prácticamente no cambian (≈ -1,1% y -0,56%, respectivamente) y no se generan cuellos de botella ni saltos entre parches. El borde adicional es marginal (ED ≈ 0,14 m/ha), la probabilidad de efectos de borde relevantes sobre el uso del espacio es baja. Además, el NDVI indica que la huella no coincide con núcleos de alto vigor de vegetación, por lo que la pérdida funcional de recurso forrajero es menor que la pérdida geométrica. En síntesis, la intervención implica una pérdida <1% del hábitat de alta idoneidad (LPI ≈ 99,4%, PC ≈ -1,1%), sin fragmentación, y a la escala de movimiento del guanaco la huella de 200 ha aproximadamente no compromete la conectividad ni la permeabilidad del paisaje.

6.6 Análisis de Factores intrínsecos de la actividad minera

6.6.1 Tronaduras

- Proximidad espacial a eventos de tronadura

Se analizaron 229 registros de *Lama guanicoe* georreferenciados (UTM 19S) para estimar la distancia al evento de tronadura más cercano durante el periodo evaluado (01 de julio de 2024 al 25 de agosto de 2025). La distribución empírica muestra una unimodalidad clara con máximo entre 4–6 km, patrón compatible con un uso amplio del paisaje por la especie y con focos operacionales espacialmente acotados. En términos acumulativos, dos tercios de los registros se sitúan a ≤5 km del blast más próximo de tronadura y >95 % a ≤10 km, mientras que los encuentros a ≤2 km representan alrededor de un 12 % del total.

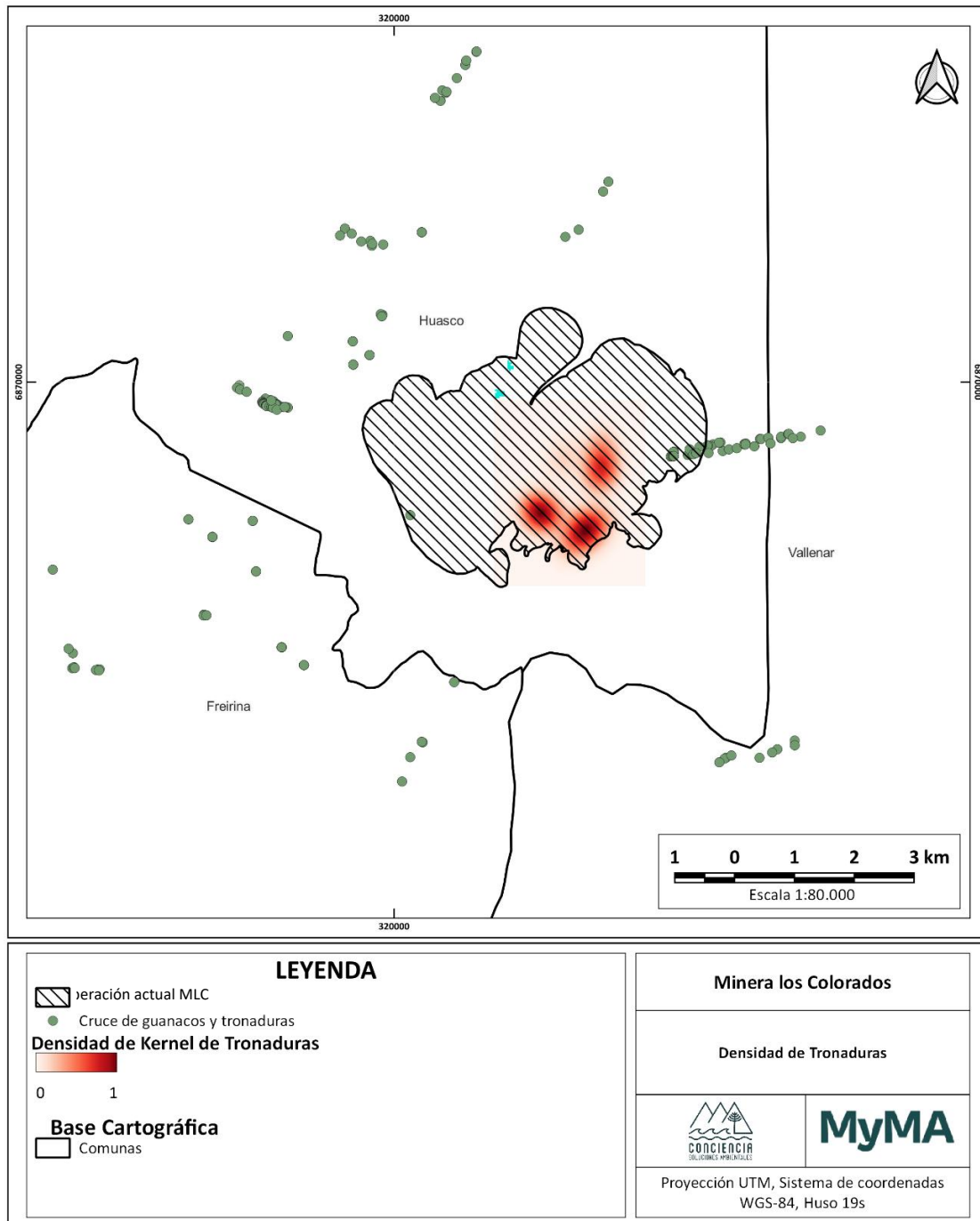
- **Co-ocurrencia espacio–temporal**

Se evaluó la diferencia temporal mínima entre los eventos de tronadura y los registros de guanaco en el periodo indicado, ambos en un radio de 2 km. Este criterio se cumplió en 27 registros (11,79 % del total). Dentro de este subconjunto con coincidencia, la co-ocurrencia es predominantemente de corta latencia: 88,89 % ocurre a ≤ 1 día, 92,59 % a ≤ 3 días y ya el 96,30% a ≤ 7 días. Estos resultados evidencian superposición espaciotemporal en una fracción del total, pero no implican causalidad; su interpretación debe considerar posibles sesgos de muestreo (p. ej., calendarios de campañas y repetición de sitios).

- **Interpretación y acciones futuras**

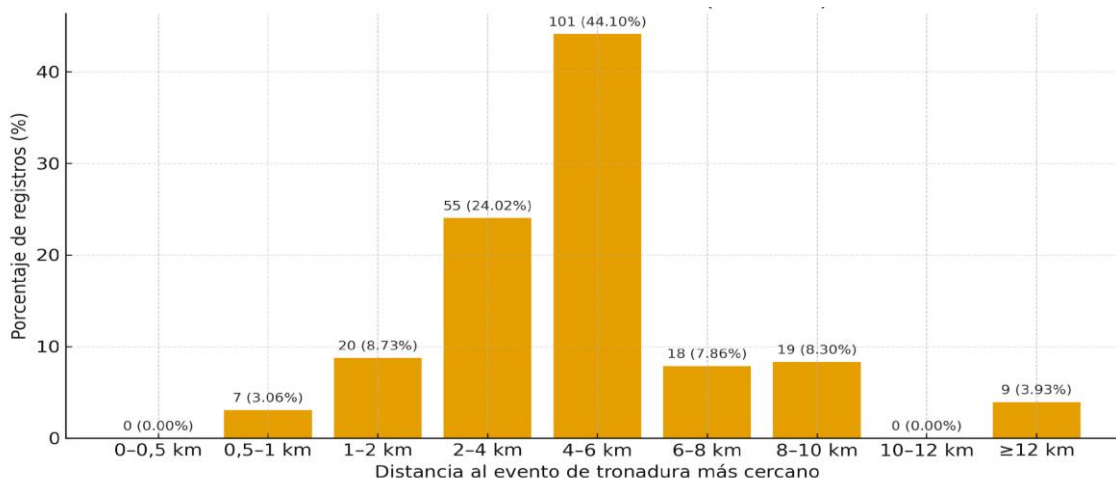
En conjunto, los resultados indican que ***L. guanicoe* coexiste espacialmente con la operación minera en una amplia franja** (2–10 km, con máximos obtenidos entre los 4–6 km). Cuando existe co-ocurrencia espaciotemporal estricta (≤ 2 km), ésta se concentra en ventanas ≤ 7 días, consistente con un solapamiento operativo/observacional más que con un alejamiento sistemático de la especie. Para atribuir efectos, se requeriría complementar con diseños antes–después/control–impacto y métricas de presión (número/energía de tronaduras por unidad de área/tiempo) minimizando sesgos temporales y espaciales (Figura 16).

Figura 16: Concentración de tronaduras y co-ocurrencia de guanacos en el período evaluado



Fuente: MyMA, 2025.

Figura 17: Distancia de tronadura a registros de guanacos en el periodo de un año



Fuente: MyMA, 2025.

Tabla 12: Umbrales de co-ocurrencia entre registros de guanaco y tronaduras

Umbral (días)	% de co-ocurrencia
1	88,89
3	92,59
7	96,30

Fuente: MyMA, 2025.

Acción propuesta: Monitoreo continuo con cámaras trampa para evaluar la co-ocurrencia con tronaduras

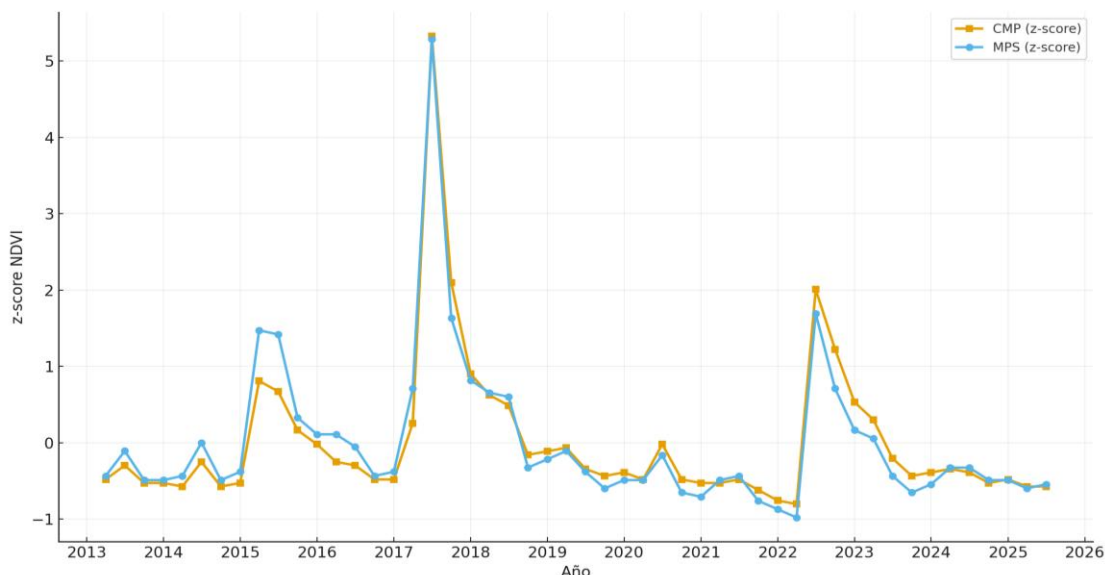
Se propone un monitoreo continuo de 12 meses con cámaras trampa en diseño BACI con cuatro anillos desde las áreas operacionales (0-2, >2-5, >5-10 y >10-20 km control), 25 cámaras operando 24/7 con mantenciones mensuales. Todas las cámaras se sincronizan con el registro de tronaduras para derivar, por sitio-día, exposición (nº de eventos, tiempo desde la última tronadura, distancia/intensidad) y respuesta.

6.6.2 MPS

El análisis multitemporal del NDVI (2013-2025, Landsat 8) muestra que la vegetación del sector con influencia del MPS y la de las áreas colindantes siguen un patrón de variación muy similar: las alzas y bajas estacionales e interanuales ocurren de manera sincronizada y sin desfase detectable. Esto se respalda por una correlación en niveles muy alta ($r = 0,972$; $p \approx 8,8 \times 10^{-32}$), una correlación de cambios trimestrales igualmente alta ($r\Delta = 0,982$; $p \approx 1,7 \times 10^{-35}$), un acuerdo direccional elevado en el signo de los cambios (83,7% de los trimestres con el mismo sentido de variación) y una correlación cruzada máxima de los

cambios ($r = 0,982$), lo que indica ausencia de desfase entre series. En conjunto, el co-movimiento observado sugiere que las fluctuaciones de la productividad vegetal responden principalmente a forzantes regionales compartidos, sin evidencias de un patrón diferencial atribuible al MPS y por ende sin afectar la disponibilidad de recurso alimenticio para *Lama guanicoe*.

Figura 18: Serie NDVI Normalizada de los sectores con y sin influencia de MPS



Fuente: MyMA, 2025.

Tabla 13: Análisis estadísticos sobre el patrón del NDVI en las dos zonas comparadas

Métrica fundamental	Valor	Interpretación
Correlación	0,9718	muy alto, misma dirección
Correlación de cambios trimestrales	0,9817	muy alto, misma dirección
Acuerdo direccional	83.7%	muy alto: suben/bajan a la par la mayor parte del tiempo
Correlación cruzada de Δ	$r = 0,9817$	muy alto, sin desfase

Fuente: MyMA, 2025.

Acción propuesta: Monitoreo multiespectral de vegetación (impacto-control)

Se propone implementar un monitoreo con dron multiespectral de carácter bianual (una campaña estival y otra invernal) durante 5 años, bajo un diseño impacto-control que compare parches equivalentes de vegetación con influencia MPS versus parches colindantes sin influencia. Los vuelos se estandarizarán y se generarán índices como NDVI/NDRE para estimar la disponibilidad de recurso vegetal; los resultados se evaluarán con comparaciones pareadas y seguimiento temporal para detectar diferencias o confirmar equivalencia entre áreas. Los productos incluirán ortomosaicos, capas de índices y un informe por campaña con conclusiones operativas.

6.6.3 Atropellos

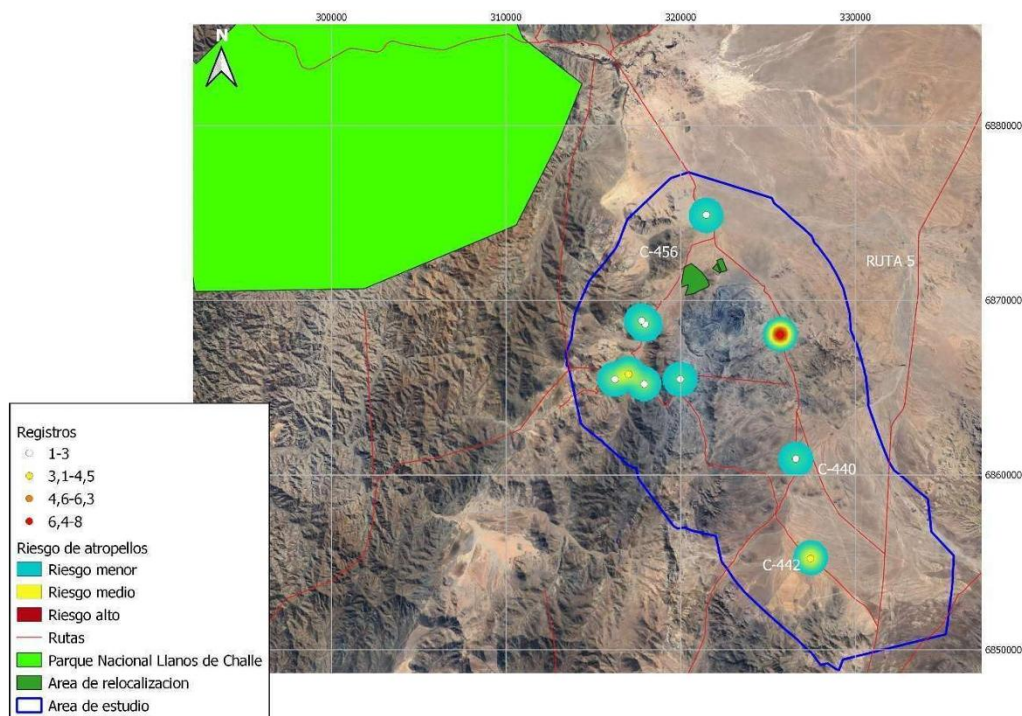
Si bien está temática no es propia del presente informe, sino más bien del anexo “ESTUDIO DE LAS AMENAZAS PARA LA POBLACIÓN DE GUANACOS *Lama guanicoe* del Proyecto Ampliación y Mejoras Operacionales en Mina Los Colorados, Comuna de Huasco, Provincia de Huasco, Región de Atacama” (noviembre de 2024), realizado por Ecodiversidad, se presenta un resumen de los resultados obtenidos en dicho estudio. Aunque, Los resultados indican que el riesgo de atropello actual para *Lama guanicoe* es bajo, a pesar de ello existen puntos críticos donde se recomienda implementar medidas preventivas focalizadas, lo cual ya está siendo implementado por CMP como medidas de control en la actualidad.

El levantamiento específico de atropellos en las rutas C-440, C-456, C-442, Ruta 5 y caminos menores no registró individuos recientemente colisionados; sin embargo, se detectaron tres osamentas antiguas de guanaco a ≤ 10 m de la calzada y una de perro, además de múltiples avistamientos de guanacos a distintas distancias del camino (50–1000 m), incluido un grupo familiar de 8 individuos a ~ 150 m de la C-440. Con estos datos, el índice kilométrico de atropellos (IKA) resultó bajo ($\approx 0,02$ considerando ~ 90 km por dos recorridos), por lo que la señal actual de mortalidad directa es débil, aunque compatible con un riesgo crónico subdetectado cuando el esfuerzo temporal es acotado.

El análisis espacial de riesgo (mapa de calor por densidad de Kernel) ubicó un “hotspot” en el sector donde se observó el grupo familiar cercano a la C-440, pese a presentarse topografía tipo A y curvatura B (buena visibilidad), debido principalmente a altas velocidades y flujo vehicular; un segundo punto de atención se asoció a la C-442 por presencia de caballos en faja vial. Complementariamente, el cierre perimetral de la Ruta 5 contribuye a la fragmentación y puede concentrar intentos de cruce en tramos específicos, reforzando la identificación de sectores donde se requieren medidas focalizadas para reducir el riesgo (Figura 19).

Para más detalles, revisar el estudio “ESTUDIO DE LAS AMENAZAS PARA LA POBLACIÓN DE GUANACOS *Lama guanicoe* del Proyecto Ampliación y Mejoras Operacionales en Mina Los Colorados, Comuna de Huasco, Provincia de Huasco, Región de Atacama” (noviembre de 2024).

Figura 19: Representación de riesgo de atropello para el área de estudio



Fuente: Ecodiversidad, 2024.

7. CONCLUSIONES

Este informe es de carácter **técnico** respecto de la situación de *Lama guanicoe* en el entorno de CMP – Mina Los Colorados y entrega **suficiencia técnica** para el análisis de la autoridad, conforme al Resuelvo N°1 de la MUT RE N°1979/2024 y a las brechas del Ord. ORA N°96/2025.

En el contexto local analizaron los proyectos cercanos en un buffer de 50 km alrededor de Mina Los Colorados (149 proyectos, con predominio de iniciativas FV/BESS y obras lineales), donde se consideran medidas de mitigación/compensación para la especie *Lama guanicoe* (pasos de fauna, control de velocidad, cercos permeables, restricciones en parición, señalética, entre otras), de las cuales el Proyecto Mina Los Colorados ya cuenta con varias medidas de ellas activas en la actualidad.

Determinaciones clave

1. **Contexto y representatividad del hábitat.** Mina Los Colorados y el Parque Nacional Llanos de Challe (PNLC), separados por 13,52 km, son parte de una misma matriz ecogeográfica costera árida, aunque la faena se emplaza en una zona de mayor resistencia. El modelo de idoneidad delimita una franja continua de $\approx 358,8 \text{ km}^2$ de alta aptitud que incluye ambas áreas. La huella de Mina Los Colorados ($\approx 200 \text{ ha} = 2,0 \text{ km}^2$) corresponde a 0,56% de dicha franja y a $<0,01\%$ del total regional idóneo, por lo que no constituye cuello de botella ni punto crítico de la distribución local de la especie.
2. **Tendencias poblacionales.**
 - En PNLC (2009–2024) se confirma un declive significativo de $\approx -5,8\%/año$, con quiebre en 2011 que da paso a una caída más pronunciada ($-8-9\%/año$ post-quiebre). Los conteos invernales son, en promedio, 43% superiores a los estivales; la pendiente del declive no difiere por estación.
 - En el área de Mina Los Colorados (2012–2024) no se detecta una tendencia monótona significativa (pendiente estimada $-5,6\%/año$; $p > 0,05$), aunque el signo es consistente con el patrón regional. Este contraste es compatible con forzantes regionales (sequías prolongadas/aridez) y presiones extrínsecas (p. ej., perros asilvestrados), no con un efecto atribuible a la operación de Mina Los Colorados.
3. **Fragmentación, conectividad y calidad del hábitat.** En la franja idónea ($358,8 \text{ km}^2$) la incorporación de Mina Los Colorados implica pérdida geométrica acotada ($CA -2,0 \text{ km}^2$; PLAND $-0,56$ ptos), sin fragmentación estructural ($NP=1$; LPI $\approx 99,44\%$) y con conectividad funcional mantenida a escalas de movimiento del guanaco. La huella opera como un “vacío interno” pequeño frente a los ámbitos de hogar/desplazamientos documentados y no coincide con núcleos de alto vigor vegetal (NDVI), por lo que la pérdida funcional de recurso forrajero es menor que la geométrica.
4. **Factores intrínsecos de la operación.**
 - **Tronaduras:** Las observaciones se ubican a varios kilómetros de los puntos de tronadura (principalmente entre 4 y 6 km), y aunque existe una fracción menor de registros más

cercanos (alrededor de 12% a ≤ 2 km), no se observa un patrón repetido de alejamiento ni una "zona vacía" alrededor de las tronaduras. Cuando hay coincidencia cercana en espacio y tiempo, ésta se concentra en periodos cortos, lo que es consistente con un solapamiento puntual entre actividad operativa y presencia de la especie, sin evidencia de desplazamiento anómalo atribuible a las tronaduras en la escala evaluada.

- **MPS (material particulado).** Las series NDVI (2013–2025) con y sin influencia de MPS exhiben patrones sincronizados, con correlaciones muy altas (niveles $r \approx 0,972$; cambios $r\Delta \approx 0,982$), 83,7% de acuerdo direccional y sin desfase; por tanto, no se evidencia un patrón diferencial en la productividad vegetal atribuible al MPS que afecte la disponibilidad de alimento.
5. **Zonas prioritarias y corredores.** La integración NDVI/NDWI y rutas de mínimo costo identificó una red densa de parches (220 de alto vigor; 112 de alta humedad) y 246 "rutas teóricas" con convergencia hacia la costa y el NO del área de influencia. Esta cartografía prioriza sectores para gestión focalizada (permeabilidad, tránsito seguro) y sirve de base operativa para la validación con cámaras trampa.

Conclusión técnica y regulatoria

- El presente estudio entrega evidencia técnica suficiente y verificable para acreditar que la operación de CMP, Mina Los Colorados no genera impactos significativos sobre la población de *Lama guanicoe* ni sobre la conectividad funcional de su hábitat. El análisis integrado que considera idoneidad, tendencias poblacionales, estructura y calidad del paisaje, además de factores operacionales como tronaduras y material particulado, esto demuestra que las variaciones observadas responden a condiciones regionales tanto naturales como antrópicas (caza furtiva, perros asilvestrados, sarna, carreteras) y no a efectos propios de Mina Los Colorados.
- Asimismo, la superficie intervenida representa una fracción mínima del hábitat idóneo (0,56%) y no configura un punto crítico para la especie. Con ello, CMP da cumplimiento integral al Resuelvo N°1 de la MUT RE-N°1979/2024 y al Ord. ORA N°96/2025., quedando el requerimiento técnicamente cerrado y estableciendo un plan de monitoreo y gestión adaptativa orientado a la mejora continua y la protección de la fauna silvestre.

Las medidas propuestas y las ya implementadas contribuyen de manera significativa al conocimiento de la especie a escala local y regional, convirtiendo estos estudios en un importante foco de generación de información que respalda su manejo y conservación.

8. ACCIONES PROPUESTAS

En virtud de la información expuesta, se proponen las siguientes acciones:

Acción 1: Monitoreo continuo en zonas de interés para *Lama guanicoe*

Monitoreo continuo en zonas de interés para *Lama guanicoe* (alimentación y tránsito). Se priorizarán áreas extra-operacionales dentro del buffer de 4 km que funcionen como parches de alimentación y zonas de tránsito, evitando duplicidades con la Acción 2. Se instalarán cámaras trampa 24/7 por 12 meses con mantenimiento mensual y ajuste adaptativo según tasa de captura. Se reportarán índice de actividad, ocupación (ψ), detectabilidad (p), patrones horarios y mapas de uso estacional para evaluar fidelidad a sitios y el aporte de estas áreas a la conectividad funcional del paisaje.

Acción 2: Monitoreo continuo con cámaras trampa para evaluar la co-ocurrencia con tronaduras

Se propone un monitoreo continuo de 12 meses con cámaras trampa en diseño BACI con cuatro anillos desde las áreas operacionales (0–2, >2–5, >5–10 y >10–20 km control), 25 cámaras operando 24/7 con mantenciones mensuales. Todas las cámaras se sincronizan con el registro de tronaduras para derivar, por sitio-día, exposición (n° de eventos, tiempo desde la última tronadura, distancia/intensidad) y respuesta.

Acción 3: Monitoreo multiespectral de vegetación (impacto–control)

Se propone implementar un monitoreo con dron multiespectral de carácter bianual (una campaña estival y otra invernal) durante 5 años, bajo un diseño impacto–control que compare parches equivalentes de vegetación con influencia MPS versus parches colindantes sin influencia. Los vuelos se estandarizarán y se generarán índices como NDVI/NDRE para estimar la disponibilidad de recurso vegetal; los resultados se evaluarán con comparaciones pareadas y seguimiento temporal para detectar diferencias o confirmar equivalencia entre áreas. Los productos incluirán ortomosaicos, capas de índices y un informe por campaña con conclusiones operativas.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adriaensen, F., Chardon, J. P., De Blust, G., Swinnen, E., Villalba, S., Gulinck, H., & Matthysen, E. (2003). The application of "least-cost" modelling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning*, 64(4), 233–247.
2. Altmann, J. (1974). Observational study of behavior: Sampling methods. *Behaviour*, 49(3–4), 227–267.
3. Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2016). *Time series analysis: Forecasting and control* (5th ed.). Wiley.
4. Buckland, S. T., Anderson, D. R., Burnham, K. P., & Laake, J. L. (2001). *Introduction to distance sampling*. Oxford University Press.
5. Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2002). *Model selection and multi-model inference: A practical information-theoretic approach* (2nd ed.). Springer.
6. Burton, A. C., Neilson, E., Moreira, D., Ladle, A., Steenweg, R., Fisher, J. T., Bayne, E., & Boutin, S. (2015). Wildlife camera trapping: A review and recommendations for linking surveys to ecological processes. *Journal of Applied Ecology*, 52(3), 675–685.
7. CONAF. (2024). *Monitoreo semestral de guanacos en el Parque Nacional Llanos de Challe (1998–2024)*. Base de datos obtenida mediante Acceso a la Información N° AR0003T-0009119 (inédito).
8. Durbin, J., & Watson, G. S. (1951). Testing for serial correlation in least squares regression. *Biometrika*, 38(1–2), 159–178.
9. Eisenberg, J. F., & Redford, K. H. (1999). *Mammals of the Neotropics, Volume 3: The Central Neotropics: Ecuador, Peru, Bolivia, Brazil*. University of Chicago Press.
10. Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43–57.
11. Franklin, W. L. (1983). Contrasting socioecologies of South America's wild camelids: The vicuña and the guanaco. En *Advances in the Study of Mammalian Behavior* (pp. 573–629). The American Society of Mammalogists.
12. González, B. A., & Acebes, P. (2016). *Reevaluación del guanaco para la Lista Roja de la UICN: situación actual y recomendaciones a futuro*. GECS News, 6, 15–21.
13. González, B. A., Palma, R. E., Zapata, B., & Marín, J. C. (2013). Distribution in Chile based upon niche structure of phylogeographic lineages: Andean Puna to Subpolar forests. *PLoS ONE*, 8(10), e78894.
14. Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2–3), 147–186.
15. Hilbe, J. M. (2011). *Negative binomial regression* (2nd ed.). Cambridge University Press.
16. Iriarte, A. (2008). *Mamíferos de Chile*. Lynx Edicions.
17. Jacobs, J. (1974). Quantitative measurement of food selection. *Oecologia*, 14(4), 413–417.
18. Jiménez, J. E., Lucherini, M., & Novaro, A. J. (2004). *Pseudalopex gymnocercus*. En C. Sillero-Zubiri, M. Hoffmann, & D. W. Macdonald (Eds.), *Canids: Foxes, wolves, jackals and dogs. Status survey and conservation action plan* (pp. 56–63). IUCN/SSC Canid Specialist Group.
19. Kendall, M. G. (1975). *Rank correlation methods* (4th ed.). Charles Griffin.
20. Krebs, C. J. (1999). *Ecological methodology* (2nd ed.). Benjamin Cummings.
21. Luebert, F., & Plischoff, P. (2017). *Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile* (2ª ed.). Editorial Universitaria.

22. MacKenzie, D. I., Nichols, J. D., Lachman, G. B., Droege, S., Royle, J. A., & Langtimm, C. A. (2002). Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology*, 83(8), 2248–2255.
23. Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245–259.
24. Martin, P., & Bateson, P. (2007). *Measuring behaviour: An introductory guide* (3rd ed.). Cambridge University Press.
25. Muggeo, V. M. R. (2003). Estimating regression models with unknown break-points. *Statistics in Medicine*, 22(19), 3055–3071.
26. Newey, W. K., & West, K. D. (1987). A simple, positive semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix. *Econometrica*, 55(3), 703–708.
27. O'Connell, A. F., Nichols, J. D., & Karanth, K. U. (Eds.). (2011). *Camera traps in animal ecology: Methods and analyses*. Springer.
28. Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(9), 503–510.
29. Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3–4), 231–259.
30. Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: New extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161–175.
31. R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.
32. Raedeke, K. J. (1979). *Population dynamics and socioecology of the guanaco (Lama guanicoe) of Magallanes, Chile* (Ph.D. dissertation). University of Washington.
33. Rovero, F., & Zimmermann, F. (2016). *Camera trapping for wildlife research*. Pelagic Publishing.
34. Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. En *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium* (NASA SP-351, pp. 309–317). NASA.
35. Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389.
36. Sikes, R. S., & Gannon, W. L. (2011). Guidelines of the American Society of Mammalogists for the use of wild mammals in research. *Journal of Mammalogy*, 92(1), 235–253.
37. Silverman, B. W. (1986). *Density estimation for statistics and data analysis*. Chapman and Hall.
38. Siskind, D. E., Stagg, M. S., Kopp, J. W., & Dowding, C. H. (1980). *Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting* (RI 8507). U.S. Bureau of Mines.
39. Squeo, F. A., Arancio, G., & Gutiérrez, J. R. (2006). *Libro rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Atacama*. Ediciones Universidad de La Serena.
40. Tarazona, A. M., Ceballos, M. C., & Broom, D. M. (2013). Human relationships with domestic and other animals: One Health, One Welfare. *Veterinaria y Zootecnia*, 7(1), 1–11.
41. Thomas, L., Buckland, S. T., Rexstad, E. A., Laake, J. L., Strindberg, S., Hedley, S. L., Bishop, J. R. B., Marques, T. A., & Burnham, K. P. (2010). Distance software: Design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology*, 47(1), 5–14.
42. Tobler, W. (1993). *Three presentations on geographical analysis and modeling: Non-isotropic geographic modeling; speculations on the geometry of geography; global spatial analysis* (NCGIA Technical Report 93-1). National Center for Geographic Information and Analysis.

43. Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150.
44. Underwood, A. J. (1994). On beyond BACI: Sampling designs that might reliably detect environmental disturbances. *Ecological Applications*, 4(1), 3–15.
45. USGS. (2021). *Landsat 4–9 Collection 2 Surface Reflectance Code (LaSRC) Product Guide*. U.S. Geological Survey.
46. Wheeler, J. C. (1995). Evolution and present situation of the South American camelidae. *Biological Journal of the Linnean Society*, 54(3), 271–295.
47. Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (3rd ed.). Academic Press.
48. Wilson, D. E., & Mittermeier, R. A. (Eds.). (2009). *Handbook of the mammals of the world. Vol. 1: Carnivores*. Lynx Edicions.
49. Zar, J. H. (2010). *Biostatistical analysis* (5th ed.). Prentice Hall.
50. Zhu, Z., & Woodcock, C. E. (2012). Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 118, 83–94.
51. Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Springer.



Monseñor Sótero Sanz 100, oficina 505,
Providencia, Santiago de Chile.
+56 2 2244 2186
<https://www.myma.cl>