

**UNIVERSIDAD DE CHILE**

Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza

Magíster en áreas silvestres y conservación de la naturaleza

**IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS PARA UNA RECOLONIZACIÓN PASIVA  
EN LA CORDILLERA DE LA REGIÓN METROPOLITANA, CHILE, POR  
UNA POBLACIÓN DE GUANACO (*Lama guanicoe* Müller, 1776)**

Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para optar al grado de Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza.

**DIEGO ENRIQUE SAAVEDRA MOYA**

Profesor de Estado en Química y Biología

**SANTIAGO – CHILE**

**2022**



## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a mis padres por el cariño y la formación que me brindaron durante mi juventud. Sin su guía, no me habría convertido en el hombre que soy hoy en día.

A Leslie Urquieta por su amor y por su compañía; y a nuestro hijo en camino, por motivarme a abrirme paso por nuevos caminos de la vida.

A Sergio A. Castro, por su amistad y sus consejos.

Y a Benito A. González, por su permanente ayuda y contribución en las diferentes etapas de este proyecto.

# ÍNDICE

Resumen .....	9
Abstract .....	10
1. Introducción.....	11
1.1 El guanaco.....	13
1.2 Objetivos.....	16
2. Materiales y métodos .....	17
2.1 Área de estudio .....	17
2.2 Modelación de la distribución del guanaco.....	17
2.2.1 Random Forest .....	18
2.2.2 Maxent .....	19
2.2.3 GLM .....	19
2.2.4 Bioclim.....	19
2.2.5 Ensamble ponderado.....	20
2.2.6 Contribución de variables para los modelos .....	20
2.3 Caracterización de áreas para la conservación .....	21
2.4 Análisis de instrumentos de conservación y gestión ambiental para la conservación del guanaco en la región .....	22
3. Resultados.....	23
3.1 Variables ambientales .....	23
3.2 Modelos de distribución del guanaco.....	23
3.2.1 Random forest .....	23
3.2.2 Maxent .....	25
3.2.3 GLM .....	27
3.2.4 Bioclim.....	28
3.2.5 Modelo ensamblado .....	30
3.2.6 Contribución de variables para los modelos .....	32
3.2 Sitios de ocurrencia probable.....	34
3.3.1 El Arrayán .....	35
3.3.2 Sierra de Ramón.....	35
3.3.3 Río Olivares .....	36
3.3.4 El Pedernal .....	36
3.3.5 Río Clarillo .....	36

3.3.6 Cruz de Piedra .....	37
3.3.7 Río Colorado.....	37
4. Resultados.....	38
4.1 Estado actual de los sitios de ocurrencia probable .....	38
4.1.1 El Arrayan .....	39
4.1.2 Sierra de Ramón.....	39
4.1.3 Río Olivares .....	40
4.1.4 El Pedernal .....	41
4.1.5 Río Clarillo.....	42
4.1.6 Cruz de Piedra .....	43
4.1.7 Río Colorado.....	44
4.2. Análisis de instrumentos de conservación.....	45
4.2.1 Santuario de la naturaleza.....	45
4.2.2 Planificación territorial.....	48
4.2.3 Comodato.....	50
4.2.4 Usufructo.....	51
5. Discusión.....	53
6. Conclusión.....	58
7. Bibliografía.....	59
8. Apéndices.....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Predicción probabilística de la ocurrencia del guanaco en la región Metropolitana en base al modelo Random Forest.....	24
Figura 2. Predicción probabilística de la ocurrencia del guanaco en la región Metropolitana en base al modelo MaxEnt.....	26
Figura 3. Predicción probabilística de la ocurrencia del guanaco en la región Metropolitana en base al GLM .....	27
Figura 4. Predicción probabilística de la ocurrencia del guanaco en la región Metropolitana en base al modelo BioClim .....	29
Figura 5. Predicción probabilística de la ocurrencia del guanaco en la región Metropolitana en base al ensamble ponderado de los modelos BioClim, Random Forest, MaxEnt y GLM.....	31
Figura 6. Sitios de ocurrencia probable para la conservación de hábitats de Guanaco en la región Metropolitana.....	35
Figura 7. Intersección del sitio de ocurrencia probable para la conservación El Arrayán y el Santuario de la Naturaleza Los Nogales .....	39
Figura 8. Intersección del sitio de ocurrencia probable para la conservación Sierra de Ramón y el Santuario de la Naturaleza Yerba Loca.....	40
Figura 9. Intersección del sitio de ocurrencia probable para la conservación Río Olivares y el Bien Nacional Protegido Río Olivares .....	41
Figura 10. Intersección del sitio de ocurrencia probable para la conservación El Pedernal y el Santuario de la Naturaleza San Francisco de Lagunilla y Quillayal .....	42
Figura 11. Intersección del sitio de ocurrencia probable para la conservación Río Clarillo, Santuario de la Naturaleza Cascada de las Ánimas y Parque Nacional Río Clarillo .....	43
Figura 12. Sitio de ocurrencia probable para la conservación Cruz de Piedra .....	44
Figura 13. Sitio de ocurrencia probable para la conservación Río Colorado .....	45

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Área bajo la curva ROC (AUC) para el modelo Random Forest.....	25
Gráfico 2. Área bajo la curva ROC (AUC) para el modelo MaxEnt .....	26
Gráfico 3. Área bajo la curva ROC (AUC) para el GLM.....	28
Gráfico 4. Área bajo la curva ROC (AUC) para el modelo BioClim .....	29
Gráfico 5. Curvas de dependencia parcial para las variables del modelo Random Forest .....	33
Gráfico 6. Curvas de respuesta de las variables del modelo MaxEnt .....	34

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables ambientales utilizadas para modelar la distribución potencial del guanaco en la región Metropolitana.....	18
Tabla 2. Superficie abarcada por cada modelo para las probabilidades de ocurrencia media baja, media alta y alta .....	31
Tabla 3. Contribución de Variables para los modelos Random Forest y MaxEnt .....	32
Tabla 4. Porcentaje de representación de cada uno de los sitios de ocurrencia probable en áreas protegidas del estado.....	38



## RESUMEN

El objetivo de este proyecto consiste en identificar áreas para la recolonización pasiva del guanaco (*Lama guanicoe* Müller, 1776) en la zona cordillerana de la Región Metropolitana de Chile. Para ello se ensamblaron cuatro modelos de distribución potencial de la especie (Random Forest, MaxEnt, Bioclim y GLM) utilizando 133 coordenadas de ocurrencia y 14 variables ambientales. Los resultados muestran siete sitios con probabilidades de ocurrencia media-baja y media-alta, distribuidos a lo largo de la precordillera y cordillera de la Región Metropolitana. Estos sitios cubren una superficie total de 220.963 hectáreas, estando representados en un 16,1% por Áreas Protegidas por el Estado. En virtud de lo anterior, se analizaron cuatro instrumentos de conservación que podrían ampliar la superficie protegida del potencial hábitat de la especie. Finalmente, se valoraron los pro y los contra de cada uno de los instrumentos con el fin entregar antecedentes que puedan facilitar, desde el punto de vista de la administración territorial, una ocupación pasiva de la especie en la región.

## **ABSTRACT**

The objective of this project is to identify areas for the passive recolonization of the guanaco (*Lama guanicoe* Müller, 1776) in the Andean zone of the Metropolitan Region of Chile. For this, four potential distribution models of the species (Random Forest, MaxEnt, Bioclim and GLM) were assembled using 133 occurrence coordinates and 14 environmental variables. The results show seven sites with medium-low and medium-high probabilities of occurrence, distributed along the foothills and mountain range of the Metropolitan Region. These sites cover a total area of 220,963 hectares, with 16.1% represented by State Protected Areas. Based on the above, four conservation instruments were analyzed that could expand the protected area of the potential habitat of the species. Finally, the pros and cons of each of the instruments were assessed to provide information that may facilitate, from the point of view of territorial administration, a passive occupation of the species in the region.

# 1. INTRODUCCIÓN

Una de las principales funciones ecológicas de los ungulados es generar heterogeneidad en los paisajes. La creación de mosaicos de comunidades herbáceas y leñosas favorece el aumento de la biodiversidad en los ecosistemas (Gabay y otros, 2008), transformando a los ungulados en verdaderos *ingenieros* ecosistémicos (Frank & Evans, 1997; Mohr y otros, 2005; Smit & Putman, 2011; Elschot y otros, 2015). Los ungulados son capaces de modificar los paisajes promoviendo el establecimiento de nuevas especies, actuando como un mediador en la distribución de los recursos (Jones y otros, 1994). Estas modificaciones, ligadas principalmente a la diversificación de las estructuras vegetales y a la promoción del establecimiento del estrato herbáceo, favorecen la presencia de otras especies animales que dependen de esta estructura, como inveterados y sus depredadores (McNaughton, 1994; San Miguel y otros, 2016; Watkinson & Ormerod, 2001). Del mismo modo, la propia presencia de ungulados en los ecosistemas resulta importante en la cadena trófica, ya que son depredados por carnívoros y sus restos dan nutrientes y energía a los descomponedores (Wang y otros, 2009; Hobbie & Villéger, 2015). Por otro lado, son importantes dispersores de semillas (Malo & Suárez, 1995; Gill & Beardall, 2001; Perea y otros, 2013), cumplen un rol fundamental en el ciclo de nutrientes del suelo (Hobbs, 1996), y aminoran el impacto de los incendios al disminuir la carga de combustible vegetal, modificando el régimen de este tipo de perturbaciones (Hobbs, 1996; Kramer y otros, 2003; Velamazán y otros, 2011).

Las múltiples funciones ecológicas de este grupo han impulsado esfuerzos para la conservación de los ecosistemas que habitan (Gallina & Mandujano, 2009; Krausman & Bleich, 2013). En México, por ejemplo, se ha propuesto para el tapir (*Tapirus bairdii*) y el pecarí de labios blancos (*Tayassu pecari*), dos especies en peligro de extinción, la mantención de áreas de hábitat lo más extensas posibles, evitando la fragmentación y favoreciendo la conectividad entre estas (Naranjo, 2009; Reyna-Hurtado, 2009). Para el borrego cimarrón (*Ovis canadensis*), una especie vulnerable, se ha priorizado la importancia de los movimientos intermontanos en búsqueda de áreas propicias para la reproducción, la crianza y la alimentación, haciendo necesaria la mantención y restauración de los hábitats, facilitando la conectividad entre las diversas poblaciones (Alvarez-Cárdenas y otros, 2009). Por otro lado, para los ungulados que habitan en áreas fragmentadas, se ha propuesto la creación de reservas comunales, la mantención y/o restauración de la vegetación colindante a los cursos de agua y el uso de cercos vivos, entre otras, mediante el pago de servicios ambientales a los propietarios de terreno para disminuir el efecto de la fragmentación (Tejeda-Cruz, 2009).

Las medidas de conservación tomadas evidencian resultados sobre los ungulados. En Europa, el estado de la mayoría de los ungulados silvestres ha mejorado significativamente durante el siglo XX (Linnell & Zachos, 2011). Esto debido en gran parte a la creación de reservas y parques nacionales y a una combinación de decisiones políticas y sociales ligadas a la reforestación, el abandono agrícola, los cambios legislativos, la regulación de la caza, el desarrollo de las instituciones para la gestión de la vida silvestre y la reintroducción activa de especies amenazadas (Linnell y otros, 2020). Del mismo modo, se han descrito diversas propuestas como medidas de gestión y conservación para garantizar la viabilidad y la persistencia a largo plazo de poblaciones de ungulados en el continente europeo. Entre ellas, por ejemplo, el manejo efectivo asociado a los ecosistemas, el restablecimiento de las especies través de una reintroducción responsable de nuevos individuos, el conocimiento con respecto a la selectividad e interacciones del forrajeo por parte de las especies; la consideración de los efectos variables de la depredación en las respuestas de las poblaciones de ungulados; la historia de vida y la variabilidad individual y los cambios en la disponibilidad de recursos debido al cambio climático; la plasticidad de los patrones de migración; y la alimentación suplementaria; entre otras, han sido aspectos cruciales a tener en consideración para la conservación de estos mamíferos en el continente (Apollonio y otros, 2017). En Sudamérica, por otro lado, se han destacado estudios que revelan la importancia de la heterogeneidad espacial en la distribución de grandes ungulados herbívoros (Ruggiero, 1994; Flores y otros, 2012; Soler y otros, 2013). Por ello, se han declarado acciones de conservación ligadas al establecimiento de áreas para la conservación en zonas de paisajes heterogéneos, con la presencia de amplios claros o pastizales y formaciones vegetales leñosas de baja y mediana altura (Baldi y otros, 2006; Baldi y otros, 2010; Belda y otros, 2020). Esto se condice con estudios que declaran la preferencia de especies como guanaco, por hábitats cuya cobertura vegetal es heterogénea (Puig S. y otros, 2008; Puig S. y otros, 2011; Puig S. y otros, 2014).

Pese a lo anterior, ninguna de las funciones y estrategias de conservación mencionadas anteriormente son prácticas si no se considera un factor clave en la ecología de la especie: el movimiento de las poblaciones. Una población en crecimiento expande su área de ocupación, lo cual permite además recuperar conductas poblacionales como las grandes migraciones (Kauffman y otros, 2021). Esta expansión y/o recuperación de conductas migratorias requiere de áreas geográficas protegidas para su mantención en el tiempo. Diversos estudios han descrito que la protección de las rutas migratorias de los ungulados es relevante para su conservación, esto pues forman parte de procesos propios de las especies que garantizan su

supervivencia y reproducción. Este proceso es regulado en gran parte por la disponibilidad de recursos y por la presión de los depredadores (Skogland, 1991; Bolger y otros, 2008; Sawyer y otros, 2019). Esto pues, si los recursos de un sitio son escasos, se verá favorecida la migración de los individuos hacia otros sitios más ricos y diversos. Por otro lado, la presencia o ausencia de depredadores ejerce un mayor control en cuanto a la permanencia de estas especies en un determinado sitio (Fryxell & Sinclair, 1988).

Por ello, el estudio y el análisis de los procesos que afectan el movimiento de las poblaciones de ungulados podrían ser de utilidad para su aplicación en una recolonización pasiva del guanaco en la Región Metropolitana. Bajo este contexto, la recolonización pasiva debe entenderse como el establecimiento natural de nuevas poblaciones de guanaco en sitios en donde se creía extinto pero que históricamente han formado parte de su área de distribución geográfica, sin intervenciones humanas de restauración directas como la translocación de individuos. Para ello, la identificación de sitios que favorezcan la expansión de estos mamíferos a través de la modelación de su presencia en áreas geográficas resulta ser una aproximación para comprender las limitantes ambientales de su distribución, siendo una herramienta útil para definir sitios prioritarios de conservación.

## **1.1 El guanaco**

El guanaco (*Lama guanicoe* Müller, 1776), es el ungulado nativo más grande de América del Sur, siendo una de las cuatro especies de la familia Camelidae que habitan en la región (Wheeler, 1991). Su distribución abarca todo el cono sur de Sudamérica desde la costa del océano Pacífico hasta la costas Atlántica, desde el Chaco y desiertos costero, pasando por los Andes, hasta la Patagonia (Franklin W. L., 1983; González y otros, 2006).

Desde la llegada de los españoles, las poblaciones de guanaco en América del sur han disminuido significativamente (Puig S. , 1995; Baldi y otros, 2016). Factores de tipo antrópicos tales como la caza furtiva, la competencia por los recursos ganaderos y la degradación del hábitat han influido fuertemente en la disminución progresiva del número de individuos y en el rango de distribución geográfico de las diferentes poblaciones de la especie (Franklin W. L., 1983; Franklin y otros, 1997; Donadio & Buskirk, 2006; Pedrana y otros, 2010). Lo anterior se ve apoyado por las altas tasas de extinciones locales de poblaciones de ungulados en América del Sur, entre ellas el guanaco, lo que ha de evidenciar el estado de conservación de la especie en la región (Ceballos & Ehrlich, 2002). Actualmente habita en Perú, Bolivia, Paraguay, Chile y Argentina. Su estado de conservación, según la UICN, es de Preocupación Menor (Baldi y

otros, 2016). Sin embargo, a una escala menor, como por ejemplo a nivel de países, la especie está catalogada desde “En Peligro de Extinción” hasta de “Preocupación Menor” (González y otros, 2006), reflejando la heterogeneidad de situaciones poblacionales en las que se encuentra.

En Chile, el Reglamento para Clasificar Especies según Estado de Conservación (MMA, 2020), ha clasificado al guanaco como una especie “Vulnerable” en las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins, mientras que en las regiones de Aysén y Magallanes se ha descrito como una especie “En preocupación menor”. Por otro lado, el reglamento de la Ley de Caza N°19473 (Servicio Agrícola y Ganadero, 2015) ha catalogado al guanaco como una especie “En Peligro de Extinción” en la Zona Norte (regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama), Zona Central (regiones de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Maule) y Zona Sur (regiones del Biobío, Araucanía, de Los Lagos y de Los Ríos), mientras que en la Zona Austral (regiones de Aysén y Magallanes) se ha clasificado como una especie “Fuera de Peligro”.

En la región Metropolitana, la situación del guanaco resulta ser más crítica que en otras regiones del país, puesto que, según diversos autores, se considera una especie en extinción o próxima a extinguirse a escala local (Glade, 1993; González, 2014). Esto debido en gran parte a la caza ilegal, la competencia por recursos con el ganado, la modificación y exclusión del hábitat y a la introducción de depredadores exóticos (González, 2014). Pese a ello, se han observado de manera más frecuente, grupos pequeños de guanaco en el área cordillerana de la región. Debido a la ubicación de estos avistamientos, se ha propuesto que probablemente estos grupos provendrían de áreas protegidas de la Provincia de Mendoza, en Argentina, específicamente del Parque Provincial Laguna del Diamante (González, 2013), donde existe una población estable de esta especie y que desarrolla movimientos altitudinales estacionales (Puig, y otros, 2011). Esto podría dar pie a una eventual recolonización de la especie en la cordillera de la Región Metropolitana a través de mecanismos de expansión poblacional, como ha sucedido en otras zonas del país (Iranzo y otros, 2018).

Diversos estudios han evidenciado la posibilidad del establecimiento natural de poblaciones de guanaco fuera de un área protegida, siendo capaces de colonizar permanentemente zonas aledañas, manteniendo un potencial para el crecimiento y la expansión de la población. Se ha planteado que el comportamiento social y la ecología propia de este ungulado, en el que durante la época estival los individuos jóvenes tienden a ser excluidos del grupo familiar

(Greenwood, 1980; Franklin W. L., 1983; Sarno y otros, 2003; Gaillard y otros, 2008), permitiría una colonización de nuevos territorios por parte de los individuos más jóvenes provenientes de áreas protegidas (Plumb y otros, 2009; Kowalczyk y otros, 2013; Jung, 2017). Sin embargo, Iranzo, y otros, 2018, han evidenciado dispersiones difusas de estos mamíferos, en las que luego del establecimiento exitoso de una población, el patrón de organización de los individuos colonizantes ha mostrado características demográficas similares en toda el área ya ocupada. Esto quiere decir que la colonización de nuevos territorios se realizaría a través de los mismos grupos sociales que se expanden espacialmente y no a través de los dispersantes juveniles.

De esta forma, la presencia de este ungulado nativo en la región Metropolitana a través de una población estable y viable podría restituir la cadena trófica de los ecosistemas cordilleranos y precordilleranos (González, 2013). Para ello, resulta esencial el desarrollo de estrategias y acciones para la recuperación poblacional que garanticen el restablecimiento de la especie en la región. Estrategias activas como la protección de sitios de veranada e internada, la exclusión de ganado, el control de depredadores exóticos y, principalmente, la erradicación de la caza furtiva, son relevantes para una recolonización exitosa. Del mismo modo, se hacen necesarios incentivos de conservación para los propietarios de los sitios sobre los que eventualmente el guanaco se establecería. A su vez, estrategias pasivas, como la garantía de inactividad humana en las áreas de recuperación poblacional, permitirán establecer sitios seguros para el avance de la población local de guanaco.

Bajo esta perspectiva, es necesario establecer y priorizar sitios sobre los cuales es probable el avance y recolonización de esta especie en la región. Una aproximación para identificar los potenciales sitios donde podría existir presencia de guanaco es a través de la aplicación de modelos de distribución de especies, lo que permite determinar áreas que favorecerían la expansión de la distribución local del guanaco a hábitats históricos, particularmente en la zona cordillerana de la Región Metropolitana de Chile.

## 1.2 Objetivos

El objetivo general de este proyecto consiste en identificar áreas para la recolonización pasiva del guanaco en la zona cordillerana de la Región Metropolitana de Chile.

Los objetivos específicos de este proyecto son:

- Determinar la distribución potencial y variables ambientales que determinan la presencia del guanaco (*Lama guanicoe*) en ambientes de montaña en RM.
- Caracterizar áreas cordilleranas que permitan la expansión y presencia de una población de guanacos en el tiempo.
- Analizar instrumentos de conservación y gestión ambiental, y manejo predial que permitan la mantención de una población de guanacos en ambientes cordilleranos.



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Área de estudio

El sitio de estudio de este proyecto considera el área no urbanizada de la precordillera y cordillera de las provincias de Santiago, Chacabuco y Cordillera de la región Metropolitana de Chile.

### 2.2 Modelación de la distribución del guanaco

Para la modelación de la distribución potencial se consideraron 671 coordenadas georreferenciadas de la especie, tomadas entre 2010 y 2020 en las regiones chilenas de Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins, y en las provincias argentinas de San Juan y Mendoza. Estos datos fueron obtenidos de registros tomados por el Laboratorio de Ecología de Vida Silvestre y de la base de datos mundial GBIF (Global Biodiversity Information Facility). El tamaño de la muestra seleccionada se redujo a 133 coordenadas, luego de filtrar la base de datos inicial eliminando aquellas duplicidades de ocurrencia dadas por la cercanía (criterio de separación >5 km), para no sobreestimar la presencia de la especie en la región y cubrir de mejor forma el área sobre la que se distribuye regularmente la especie (van Proosdij y otros, 2016). Las presencias se asignaron a un tamaño de píxel de 1 km x 1 km.

La selección de variables ambientales que explican la presencia de la especie en la zona se realizó en base a tres criterios: (1) estar relacionados potencialmente con la distribución de la especie, ya sea como factor limitante o mediante relaciones indirectas; (2) ser variables significativas en la zona de estudio; y (3) ser independientes entre sí (Muñoz & Felicísimo, 2004; Hirzel & Le Lay, 2008). Utilizando estos criterios, se seleccionaron variables en formato ráster de tamaño de píxel de 1 km x 1 km del tipo bioclimáticas, topográficas (elevación y pendiente), vegetacionales (NDVI); hidrológicas (proximidad a cursos de agua) y antrópicas (proximidad a áreas urbanas y caminos) (Tabla 1). Se deshecho el uso de *land cover* debido a la ausencia de información para las provincias de Argentina.

**Tabla 1.** Variables ambientales utilizadas para modelar la distribución potencial del guanaco (*Lama guanicoe*) en la región Metropolitana.

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fuente</b>
<b>Bioclimáticas</b>	Variables bioclimáticas para el sur de Sudamérica.	Pliscoff, Luebert, Hilger, & A, 2014
<b>Elevación</b>	Altitud sobre el nivel del mar.	USGS Digital Elevation Models
<b>Pendiente</b>	Tasa máxima de cambio en la elevación en z-valores.	USGS Digital Elevation Models
<b>NDVI</b>	Índice de vegetación de diferencia normalizada en formato ráster.	MODIS Vegetation Index
<b>Hidrológica</b>	Ráster de distancia a cursos de agua.	IDE Chile
<b>Áreas urbanas</b>	Ráster de distancia a áreas urbanas.	IDE Chile
<b>Caminos</b>	Ráster de distancia a caminos.	IDE Chile

Para evitar problemas de autocorrelación entre las diferentes variables, se utilizó el método del factor de inflación de la varianza (VIF). Este permite cuantificar la intensidad de la multicolinealidad de las variables en un análisis de regresión normal de mínimos cuadrados (Kutner y otros, 2004). Para ello se utilizó un VIF mayor o igual a 10, para detectar y excluir a aquellas variables fuertemente correlacionadas (Mason y otros, 1989; Marquardt, 1970).

Para la construcción del modelo de distribución de la especie (MDS), se evaluaron cuatro modelos estadísticos capaces de generar una matriz de probabilidades de ocurrencia. Los modelos fueron: (1) Random Forest y (2) MaxEnt, de tipo *machine learning*, (3) GML o Modelo Lineal Generalizado (regresión lineal) y (4) BioClim, de tipo envoltorio climático. Cada modelo se construyó con la ayuda del software R y los paquetes *sp*, *rgdal*, *raster*, *mapproj*, *dismo*, *randomForest*, *rpart*, *rJava* y *glm*, tomando los datos de ocurrencia en una proporción de 80-20 para los datos de entrenamiento y prueba, respectivamente.

### 2.2.1 Random Forest

El modelo Random Forest propone una predicción de la distribución de la especie en base a un conjunto de árboles de regresión individual (1.000 para este modelo), cada uno ajustado a una muestra *bootstrap* de datos de entrenamiento. Esto permite que la predicción se obtenga

integrando las predicciones de cada uno de los árboles individuales (Breiman, 2001). Actualmente, Random Forest es uno de los modelos predictivos más populares (Cutler y otros, 2007; Zhang y otros, 2019), pues tiende a realizar buenas predicciones con un ajuste mínimo en los parámetros del modelo (Freeman y otros, 2016; Probst y otros, 2019). Además, a diferencia de otros modelos como BioClim, tiende a considerar las interacciones dadas entre cada una de las variables predictoras y a estimar el peso relativo de estas en el modelo (Breiman, 2001; Prasad y otros, 2006; Mi y otros, 2014).

### 2.2.2 MaxEnt

El modelo MaxEnt propone una predicción de la distribución de la especie en base al uso de un algoritmo de máxima entropía. Utilizando datos de presencia y de ausencia, manejados en este modelo como parte del *background*, MaxEnt estima la probabilidad de ocurrencia de la especie buscando la distribución de máxima entropía (la más uniforme posible) en función de las diferentes variables ambientales seleccionadas (Phillips y otros, 2006). Al minimizar los falsos negativos, MaxEnt permite que los resultados del modelo sean más austeros, manejando de mejor forma problemas como la sobreestimación de la superficie de ocurrencias. Esto hace que los resultados sean más robustos en cuanto a la proyección del área probable de presencias, sobre todo cuando se cuentan con pocos datos de ocurrencia (Peterson y otros, 2007).

### 2.2.3 GLM

El modelo lineal generalizado (GLM), como dice su nombre, es una generalización del modelo lineal que responde muy bien a las limitaciones asociadas a la distribución anormal de las variables de respuesta. Para ello, utiliza la llamada función de enlace (*Link Function*) para normalizar los datos de manera tal de establecer relaciones lineales entre las múltiples variables predictoras y las variables de respuestas (Kung-Yee & Zeger, 1986). Esto ha hecho que este tipo de modelo sea ampliamente utilizado, pues permite la integración de múltiples predictores a través de funciones de respuesta no lineales, y que resuelven variables de respuestas binarias, como los sitios presencia y ausencia, o discretas, como la probabilidad de ocurrencia (Franklin J. , 2010).

### 2.2.4 Bioclim

El modelo BioClim propone una predicción de la distribución de la especie en base al establecimiento de combinaciones de rangos de valores mínimos y máximos de las variables

utilizadas, enmarcando las posibles ocurrencias dentro de los rangos observados para cada variable (Busby, 1986). En comparación con el resto de los modelos, es el menos flexible pues tiende a no tomar en cuenta las interacciones dadas entre cada una de las variables o el efecto de la distancia geográfica de las coordenadas de ocurrencia (Pliscoff & Fuentes-Castillo, 2011). Por ello resulta preponderante para la confianza de este modelo, el análisis realizado con respecto al factor de inflación de la varianza (VIF) de las variables correlacionadas y la limpieza de los datos de ocurrencia por proximidad realizados con anterioridad.

#### 2.2.5 Ensamble ponderado

Finalmente, se generó un mapa probabilístico de ocurrencias del guanaco en la región través de un ensamble ponderado en función del valor del AUC de cada modelo. El modelo ensamblado busca disminuir las incertidumbres que pueda generar cada uno de los modelos propuestos anteriormente. Para ello, nos apoyamos en la idea de que diferentes variantes de un modelo, considerados simultáneamente, tienen más probabilidades de acertar que cualquiera de los modelos constituyentes por separado (Araújo & New, 2007; Bates & Granger, 1969; Gibbs, 1902). Por esto, se propone un mapa de probabilidades de ocurrencia construido en base al promedio ponderado de los diferentes modelos, cada uno con pesos asignados en función de su poder discriminatorio, medido por el valor de AUC de la curva ROC (Araújo & New, 2007; Marmion y otros, 2009; Thuiller, 2004). Este mapa probabilístico agrupa cuatro rangos de probabilidad de ocurrencia: (1) rango de probabilidad bajo, que considera probabilidades de ocurrencia que van de entre 0 y 0,25; (2) rango de probabilidad medio bajo, que considera probabilidades de ocurrencia que van de entre 0,25 y 0,5; (3) rango de probabilidad medio alto, que considera probabilidades de ocurrencia que van de entre 0,5 y 0,75; y (5) rango de probabilidad alto, que considera probabilidades de ocurrencia que van de entre 0,75 y 1,0. Estos metadatos fueron exportados de formato ráster a formato vectorial, tratando a cada rango de probabilidad de ocurrencia de forma independiente.

#### 2.2.6 Contribución de variables para los modelos

Para evaluar la contribución de las variables se consideraron los resultados de los modelos Random Forest y MaxEnt. Ambos cuentan con funciones para su revisión en R, pues vienen integradas en los paquetes “dismo” y “randomForest”. Con respecto a la contribución de las variables para los modelos BioClim y GLM, es importante señalar que no se determinaron, pues los paquetes utilizados carecen de las funciones necesarias para realizar este análisis.

### 2.3 Caracterización de áreas para la conservación

La caracterización de áreas prioritarias para la conservación se realizó en función de: (1) la probabilidad de ocurrencia del guanaco en la región (igual o mayor a probabilidades de ocurrencia media baja (0,25 - 0,5), media alta (0,5 - 0,75) y alta (0,75 - 1,0); (2) la agregación de los sitios de ocurrencia con probabilidades de ocurrencia media baja, media alta y alta (mayor o igual a tres píxeles contiguos); y (3) la continuidad de los sitios de ocurrencia con probabilidades de ocurrencia media baja, media alta y alta (con separaciones no mayor a 10 píxeles). En base a estos criterios, se construyeron mapas de sitios de ocurrencia probable, que consideran un área buffer de 1 km de ancho en sus límites y que incorpora una corrección ambiental asociada a la presencia humana, como centros urbanos y caminos, a través de un área buffer correctiva de 1 km de ancho. Esta corrección ambiental se hizo quitando las áreas de intersección entre caminos y áreas urbanas con los sitios de ocurrencia probable. Teniendo esta variable en consideración, se generaron polígonos en formato ESRI Shapefile (SHP) señalando los límites de los diferentes sitios de ocurrencia probable del guanaco en la región.

Del mismo modo, los sitios caracterizados comparten atributos comunes ligados a los pisos altitudinales. Todos se encuentran por sobre los 1.800 msnm, por lo que el tipo de vegetación presente es del tipo: (1) Matorral subandino (entre los 1.800 y 2.000 msnm), dominado por especies arbóreas como el olivillo de cordillera (*Kageneckia angustifolia*), la guindilla (*Guindilia trinervis*) y el coliguay (*Colliguaja integerrima*); (2) Matorral andino (entre los 2.000 y los 2.700 msnm), dominado por especies arbustivas como la hierba blanca (*Chuquiraga oppositifolia*), el pingopingo (*Ephedra chilensis*), la caulia (*Tetraglochin alatum*) y el neneo (*Mulinum spinosum*); (3) Estepa altoandina (entre los 2.700 y 3.300 msnm), dominada por especies gramíneas como la *Poa holciformis* y el *Hordeum comosum*, arbustivas como la jarilla (*Adesmia aegiceras*) y la planta cojín Llareta (*Laretia acaulis*); y (4) Desierto altoandino (por sobre los 3.300 msnm), de vegetación muy rala y de escasa cobertura, dominada por plantas cojín del género *Oxalis* (*Oxalis erythrorrhiza*, *O. penicillata*, *O. compacta*) y gramíneas perennes como la *Poa holciformis* y el *Hordeum comosum*, entre otras (Muñoz-Schick y otros, 2000; Luebert & Pliscoff, 2018).

## **2.4 Análisis de instrumentos de conservación y gestión ambiental para la conservación del guanaco en la región**

Para realizar los análisis de instrumentos de gestión, se identificó la propiedad de los terrenos superpuestos sobre los sitios de ocurrencia probables prioritarios para la conservación. Posteriormente, se analizaron instrumentos de gestión ambiental y territorial que permitan: (1) proteger y conservar a la especie a escala de predio; y (2) gestionar la expansión del guanaco en la región. Dentro de los instrumentos de uso público, se analizó: (a) la factibilidad de establecer un Santuario de la Naturaleza (amparado por el art. 2 de la Ley sobre Monumentos Nacionales) y Áreas Privadas para la Conservación (regulado por la Ley 19.300); y (b) la constitución de áreas de protección establecidas en instrumentos de planificación territorial (reglamentado por la Ley y Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones). Por otro lado, se analizó instrumentos de carácter privado tales como: (c) el comodato (regulado en el Código Civil, arts. 217), que facilite la participación de alguna institución pública o privada en la gestión de los sitios en cuestión; y (d) el usufructo (normado por el Código Civil, artículos 764 a 810), que permite a los diferentes dueños de los terrenos obtener beneficios sin la necesidad de administrarlos de manera directa.

## **3. RESULTADOS**

### **3.1 Variables ambientales**

Del total de 25 variables ambientales iniciales, se seleccionaron 14 luego del análisis de correlación. Las variables ambientales utilizadas para la construcción del modelo de distribución espacial fueron: (1) Rango medio de temperatura diurna (BIO2); (2) Isothermalidad (BIO3); (3) Temperatura mínima del mes más frío (BIO6); (4) Temperatura media del cuarto más seco (BIO9); (5) Precipitación acumulada del mes más húmedo (BIO13); (6) Precipitación acumulada del mes más seco (BIO14); (7) Estacionalidad de las precipitaciones (BIO15); (8) Precipitación acumulada del cuarto más cálido (BIO18) (9) Elevación (DEM); (10) Pendiente (PEN); (11) NDVI; (12) Proximidad a cursos de agua (HIDR); (13) Proximidad a caminos (CAM); y (14) Proximidad a áreas urbanas (AU).

Estas variables presentaron una baja correlación entre sí, lo que se ve reflejado en un VIF menor a 10 (Apéndice). Del mismo modo, las variables asociadas a la temperatura media anual (BIO01), la estacionalidad térmica (BIO 04), la temperatura máxima del mes más caluroso (BIO05), el rango anual de temperatura (BIO07), la temperatura media del cuarto más húmedo (BIO08), la temperatura media del cuarto más caluroso (BIO10), la temperatura media del cuarto más frío (BIO11), la precipitación acumulada anual (BIO12), la precipitación acumulada del cuarto más (BIO16), la precipitación acumulada del cuarto más seco (BIO17) y la precipitación acumulada del cuarto más frío (BIO19) fueron excluidas del modelo pues presentaron valor de VIF superior a 10.

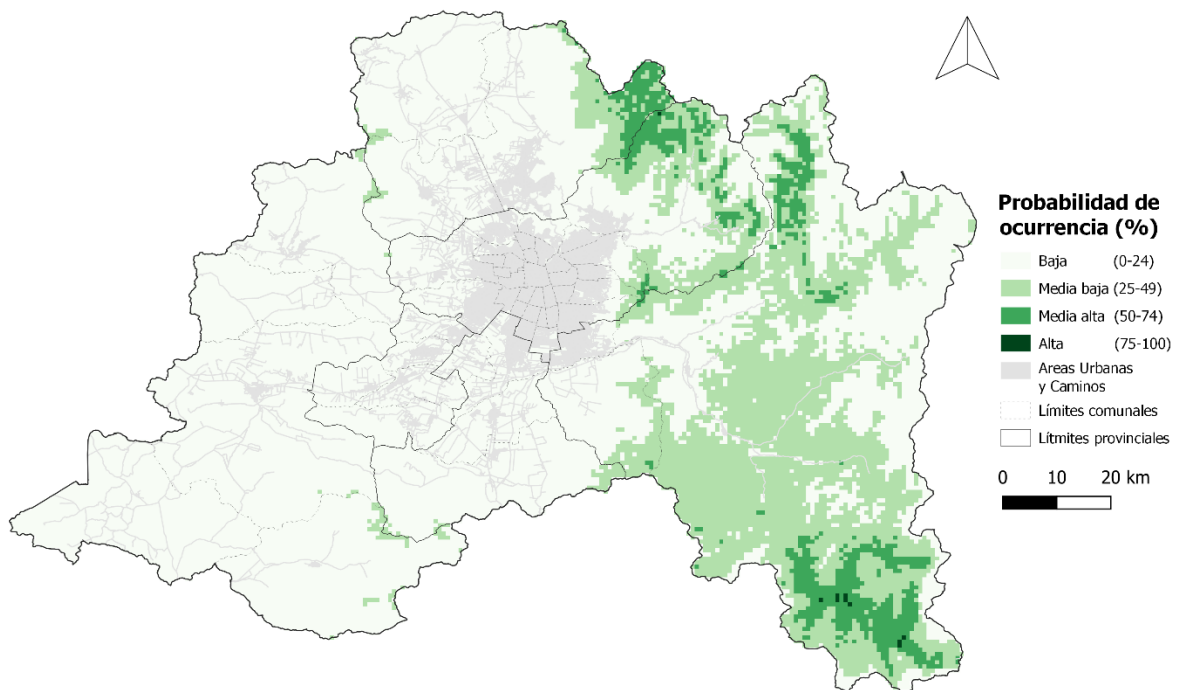
### **3.2 Modelos de distribución del guanaco**

Con relación a los modelos, estos muestran altos niveles de AUC, siendo estos, de mayor a menor, de 0,973 para Random Forest (Gráfico 1), 0,967 para MaxEnt (Gráfico 2), 0,903 para GLM (Gráfico 3) y 0,844 para BioClim (Gráfico 4). De forma general, se presentarán a continuación los resultados más significativos para cada uno de los modelos.

#### **3.2.1 Random Forest**

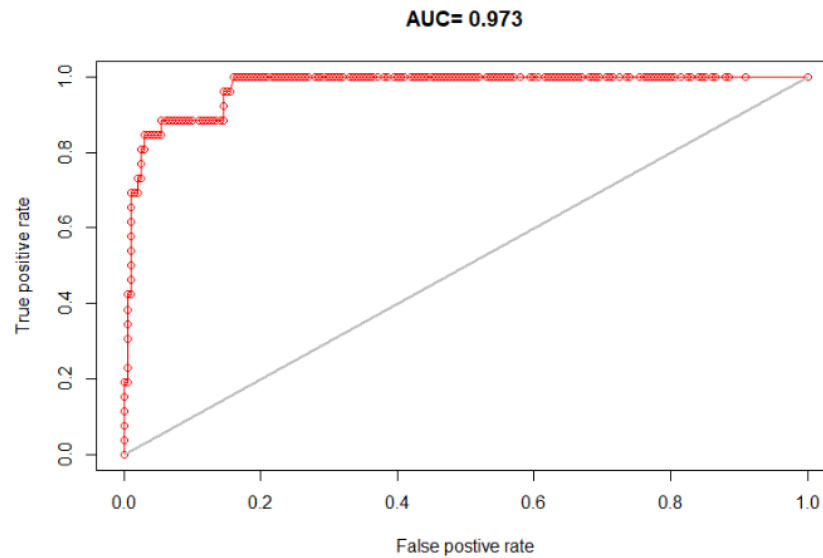
Los resultados del modelo Random Forest (Figura 1) muestran que las áreas de baja probabilidad de ocurrencia (0-25%) son las más comunes y extensas, encontrándose por debajo de los 1.300 msnm y por sobre los 3.700 msnm. Los sitios con probabilidad de ocurrencia media baja (25-50%) abarcan una superficie total de 410.230 ha (Tabla 2) y poseen

una importante extensión en la provincia de Cordillera, estando asociados principalmente a las laderas afluentes del río Maipo, río Colorado, río Olivares y a las proximidades de Laguna Negra y el Embalse del Yeso. Más al norte, en la provincia de Santiago, hay también un área significativa de sitios de media baja probabilidad de ocurrencia en las cercanías de la Sierra de Ramón y el Santuario de la Naturaleza Los Nogales. Con respecto a los sitios con probabilidad de ocurrencia media alta (50-75%), poseen una extensión total de 69.723 ha (Tabla 2) y se distribuyen principalmente en tres áreas significativas próximas al Santuario de la Naturaleza Los Nogales (entre las provincias de Chacabuco y Santiago), el Parque Cordillera Yerba Loca y el Fundo Cruz de Piedra (ambas en la provincia de Cordillera). Por último, el modelo describe pequeños sitios de alta probabilidad de ocurrencia (75-100%), con una extensión no mayor a las 711 ha y en las proximidades del río Maipo, al interior del Fundo Cruz de Piedra.



**Figura 1.** Predicción probabilística de la ocurrencia del guanaco en la región Metropolitana en base al modelo Random Forest.

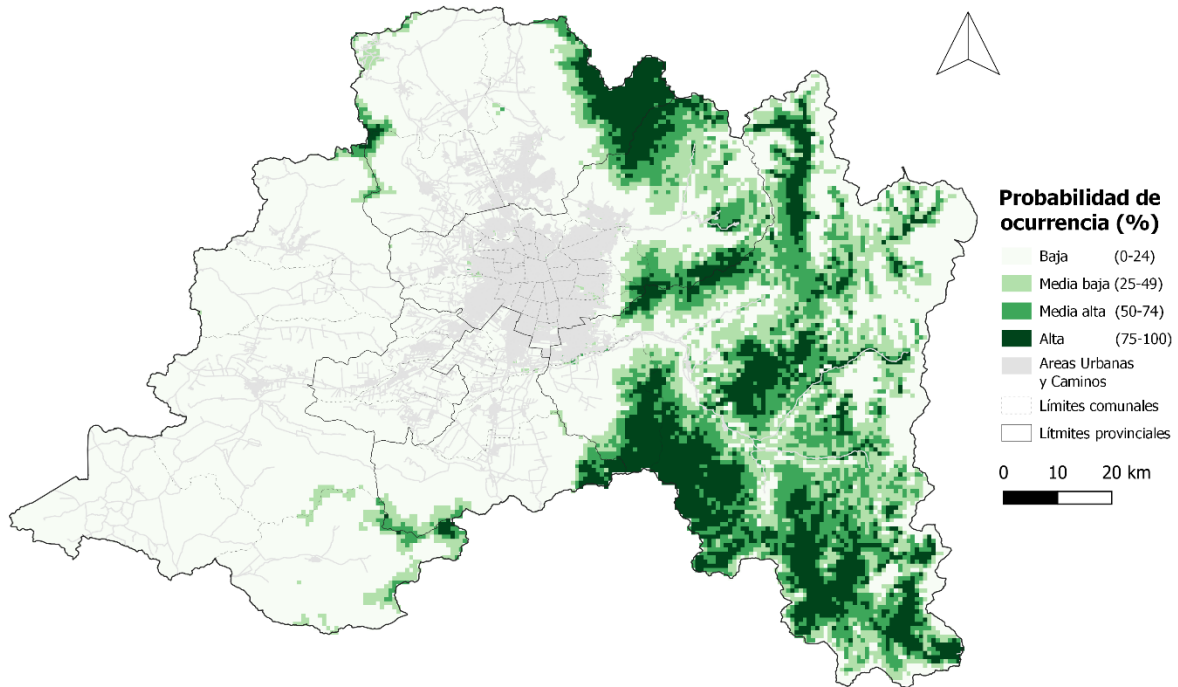




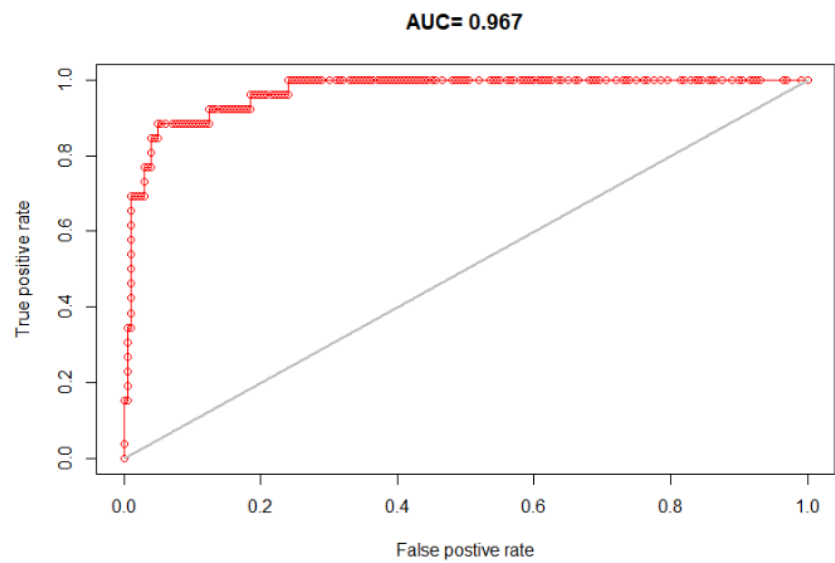
**Gráfico 1.** Área bajo la curva ROC (AUC) para el modelo Random Forest. Se aprecia un valor AUC igual a 0,973.

### 3.2.2 MaxEnt

Los resultados del modelo MaxEnt (Figura 2) muestran patrones para la distribución de áreas de probabilidad de ocurrencia media baja (25-50%) y media alta (50-75%) similares a los descritos en el modelo Random Forest, con extensiones aproximadas de 549.129 ha y 331.302 ha respectivamente (Tabla 2). Sin embargo, la extensión espacial para la probabilidad de ocurrencia alta (75-100%), con 158.563 ha, es mayor a la del resto de los modelos. Según MaxEnt, los sitios de alta probabilidad de ocurrencia se concentran en seis áreas, situadas en: (1) las proximidades del área norte del Santuario de la Naturaleza Los Nogales (provincia de Chacabuco), (2) las cumbres de la Sierra de Ramón (provincias de Santiago y Cordillera), (3) el lado oriente del Parque Río Olivares, (4) el sector poniente de Laguna Negra, (5) las inmediaciones de la Reserva Nacional Río Clarillo y (6) las proximidades del Fundo Cruz de Piedra (estas últimas ubicadas en la provincia de Cordillera).



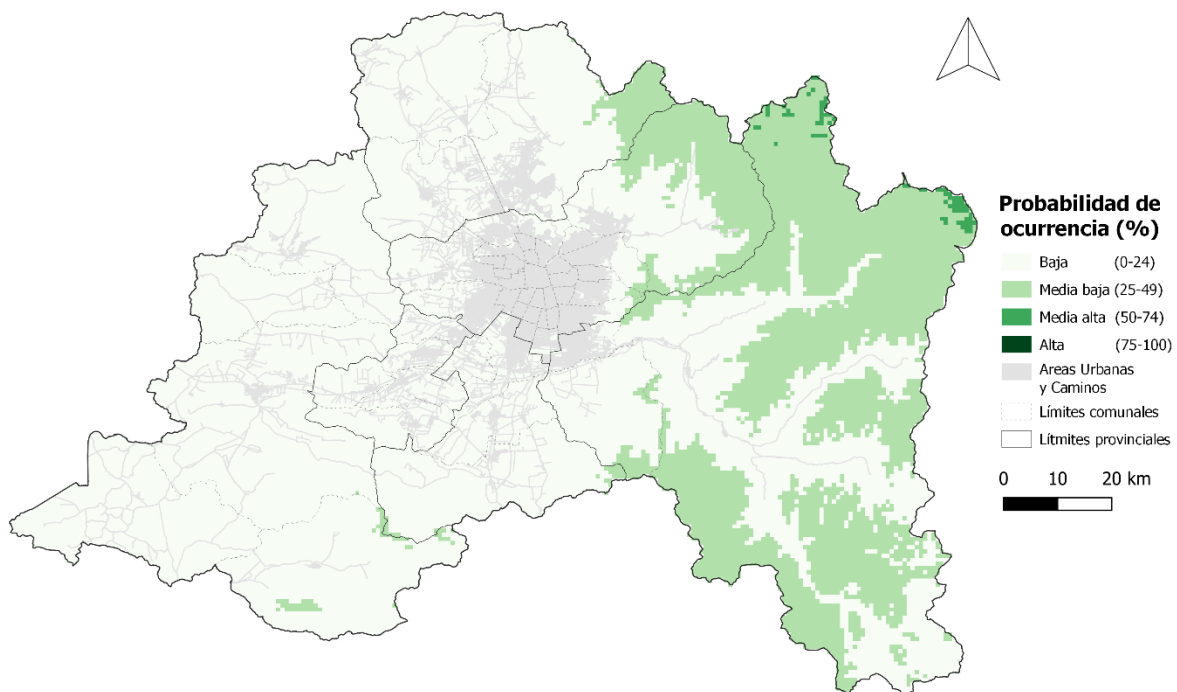
**Figura 2.** Predicción probabilística de la ocurrencia del guanaco en la región Metropolitana en base al modelo MaxEnt.



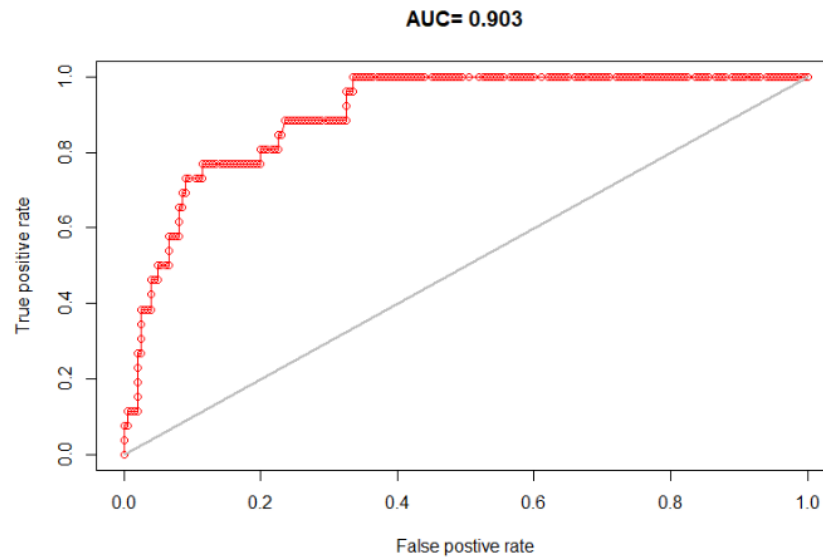
**Gráfico 2.** Área bajo la curva ROC (AUC) para el modelo MaxEnt. Se aprecia un valor AUC igual a 0,967.

### 3.2.3 GLM

Los resultados del modelo GLM (Figura 3) muestran que, al igual que los modelos anteriores, los sitios con baja probabilidad de ocurrencia (0-25%) están asociadas a las áreas de la región Metropolitana que están por debajo de los 1.300 msnm y por sobre los 3.700 msnm. Los sitios de ocurrencia de probabilidad media baja (25-50%) son los segundos más extensos, con una superficie total de 385.841 ha (Tabla 2). Se concentran en el área cordillerana de las provincias de Santiago y Cordillera, focalizándose en las cumbres próximas al Santuario de la Naturaleza Los Nogales, el cerro El Plomo, el Rio Olivares, la Sierra de Ramón, los volcanes Tupungato y Tupungatito, la Laguna Negra, el Monumento Natural El Morado, el rio Negro y el Fundo Cruz de Piedra. Las áreas de probabilidad media alta (50-75%) se presentan escasamente, con una extensión de 5.384 ha (Tabla 2), en la parte norte de los límites internacionales y regionales de la región Metropolitana, específicamente en el cerro Nevado el Plomo y el volcán Tupungato.



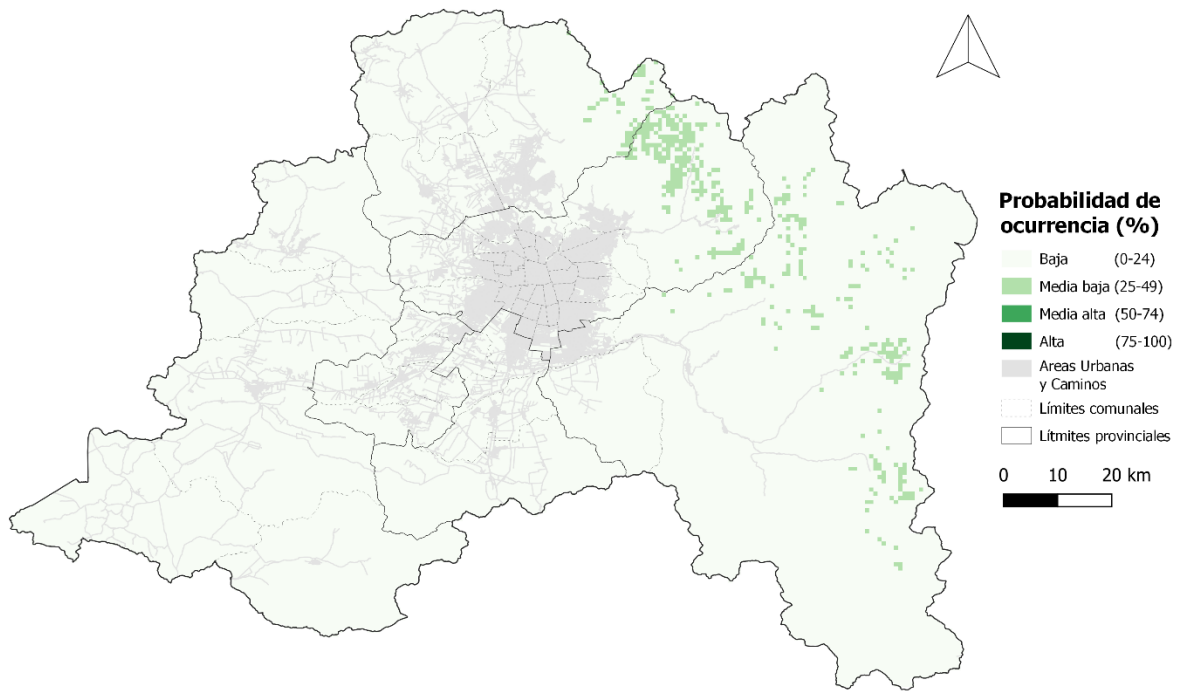
**Figura 3.** Predicción probabilística de la ocurrencia del guanaco en la región Metropolitana en base al GLM.



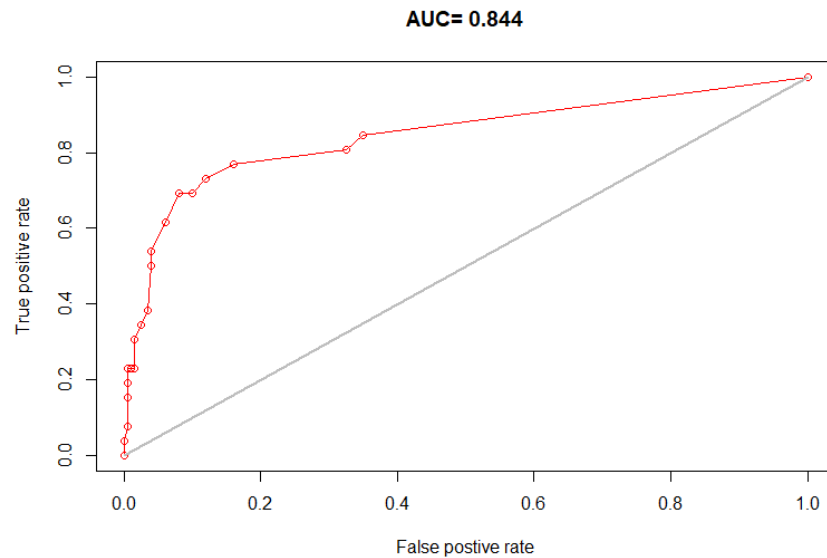
**Gráfico 3.** Área bajo la curva ROC (AUC) para el GLM. **B.** AUC (Área bajo la curva ROC) para el GLM. Se aprecia un valor AUC igual a 0,903.

### 3.2.4 BioClim

Finalmente, los resultados del modelo BioClim (Figura 4) muestran áreas de probabilidad baja (0-25%) extensas y abarcan casi la totalidad de la Región Metropolitana. Las áreas de probabilidad media baja (25-50%) tienen una superficie aproximada de 33.827 ha (Tabla 2) y son frecuentes en la zona cordillerana y precordillerana de las provincias de Chacabuco y Santiago (próximas al cerro El Plomo) y al interior de la provincia de Cordillera (próximos a Laguna Negra y cerro Colina).



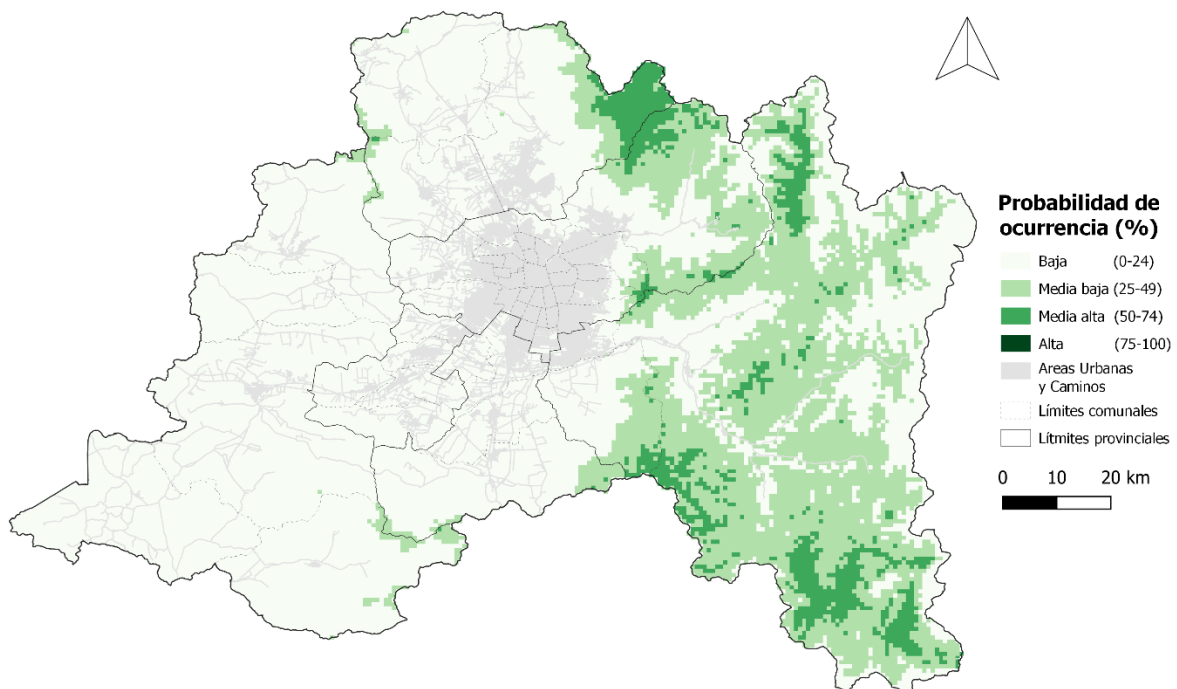
**Figura 4.** Predicción probabilística de la ocurrencia del guanaco en la región Metropolitana en base al modelo BioClim.



**Gráfico 4.** Área bajo la curva ROC (AUC) para el modelo BioClim. Se aprecia un valor AUC igual a 0,844.

### 3.2.5 Modelo ensamblado

Los resultados del modelo ensamblado (Figura 5) muestran que los sitios con baja probabilidad de ocurrencia (0-25%) se asocian a áreas que están por debajo de los 1.300 msnm y por sobre los 3.700 msnm. En las provincias de Santiago y Cordillera, estos sitios se relacionan con áreas próximas a caminos o áreas urbanas, así como también con las cumbres máximas colindantes con el límite internacional. Los sitios de probabilidad de ocurrencia media baja (25-50%) se presentan entre los 1.300 y los 3.7000 msnm con una extensión aproximada de 352.423 ha. Se asocian principalmente a cursos de agua como el estero Colina en la provincia de Chacabuco, el estero el Arrayán en la provincia de Santiago y los ríos Olivare, Colorado, Volcán y Maipo en la provincia de Cordillera. También, se presentan áreas de probabilidad de media baja ocurrencia en las proximidades de Farellones, Valle Nevado y la Sierra de Ramón, en la provincia de Santiago, y Rio Clarillo, El Morado y Cruz de Piedra en la provincia de Cordillera. Los sitios de probabilidad de ocurrencia media alta (50-75%) se encuentran insertos dentro de las áreas de probabilidad media baja, con una extensión aproximada de 82.292 ha. Se focalizan en seis puntos específicos: (1) al norte del Santuario de la Naturaleza el Arraya, entre los límites de la provincia de Chacabuco y Santiago, (2) sobre el cordón de la Sierra de Ramón, en la provincia de Santiago, (3) en las proximidades del Parque Rio Olivares, (4) en el sector de El Pedernal y el río Colorado, al oeste y noroeste de la Laguna Negra, (5) al sur de Rio Clarillo, entre los límites de la región Metropolitana y la región de O'Higgins y (6) en las áreas aledañas al Fundo Cruz de Piedra, en la provincia de Cordillera. Finalmente, el modelo no generó áreas de probabilidad alta de ocurrencia (75-100%).



**Figura 5.** Predicción probabilística de la ocurrencia del guanaco en la región Metropolitana en base al ensamble ponderado de los modelos BioClim, Random Forest, MaxEnt y GLM.

**Tabla 2.** Superficie abarcada por cada modelo para las probabilidades de ocurrencia media baja, media alta y alta. Se omitió la superficie de probabilidad de ocurrencia baja pues su proyección se extiende, en su mayoría, por fuera del área de interés del estudio (bajo de los 1.300 msnm).

<b>Modelo</b>	<b>Superficie cubierta por sitios de probabilidad de ocurrencia media baja (ha)</b>	<b>Superficie cubierta por sitios de probabilidad de ocurrencia media alta (ha)</b>	<b>Superficie cubierta por sitios de ocurrencia alta (ha)</b>
<b>BioClim</b>	33.827	0	0
<b>Random Forest</b>	410.230	69.723	0
<b>MaxEnt</b>	549.129	331.302	158.563
<b>GLM</b>	385.841	5.384	0
<b>Ensamble</b>	352.423	82.292	0

### 3.2.6 Contribución de variables para los modelos

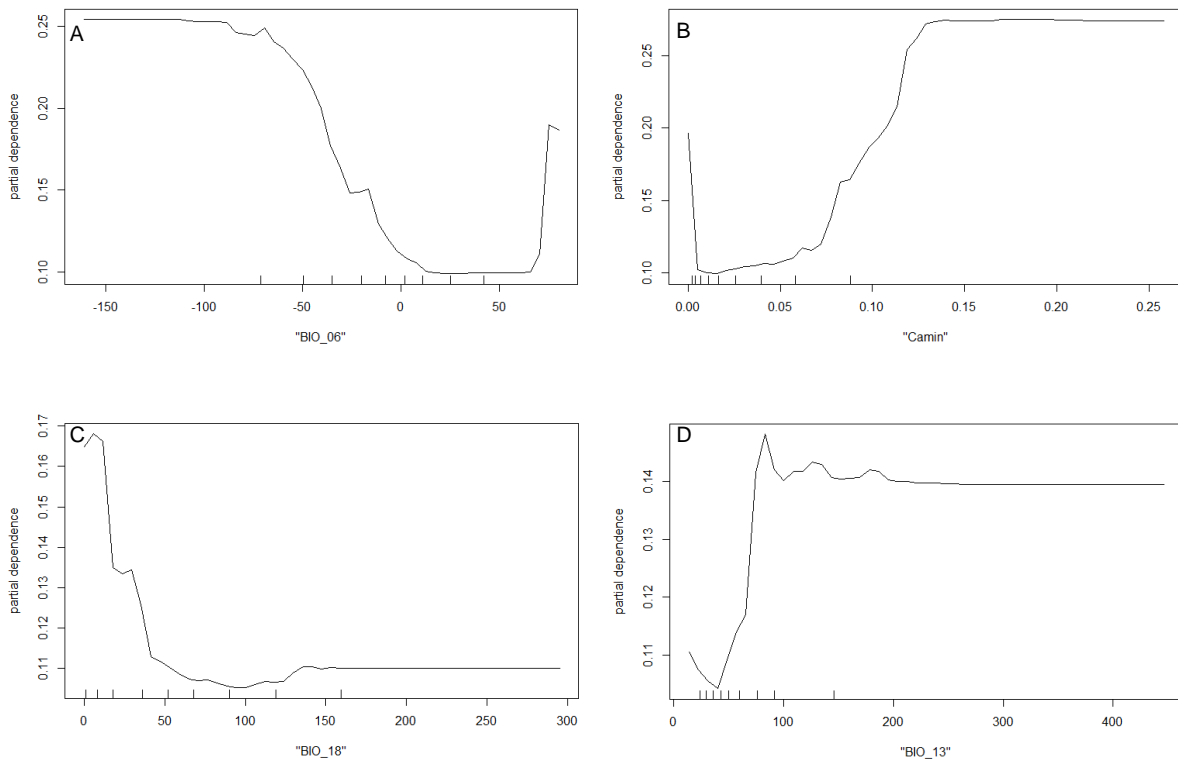
Se evaluó la contribución de las variables para los modelos Random Forest y MaxEnt (Tabla 3). Ambos se ven fuertemente influenciados por variables bioclimáticas como la temperatura mínima del mes más frío (BIO 06), la precipitación acumulada del cuarto más cálido (BIO 18) y la precipitación acumulada del mes más húmedo (BIO 13). Del mismo modo, variables antrópicas, como la proximidad a caminos (CAM) en el modelo Random Forest, y variables topográficas, como la pendiente (PEN) en el modelo MaxEnt, contribuyen de manera importante sobre los modelos respectivamente.

**Tabla 3.** Contribución de Variables para los modelos Random Forest y MaxEnt. La contribución de las variables para el modelo Random Forest se expresa en “MDG” (Mean Decrease Gini) o disminución media del coeficiente de Gini. Esta representa la contribución de cada variable a la homogeneidad de los nodos de los árboles aleatorios resultantes. Cuanto mayor sea la disminución media del coeficiente de Gini, mayor será la importancia de la variable en el modelo (*Liaw & Wiener, 2002*). La contribución de las variables para el modelo MaxEnt está representada por la contribución porcentual. Esta representa el aumento en la ganancia regularizada de cada variable cuando es incorporada al modelo. Cuanto mayor sea la contribución porcentual, mayor será la importancia de la variable en el modelo (*Phillips, 2017*).

Random Forest		MaxEnt	
Variable	MDG	Variable	Contribución (%)
BIO 06	9,7	PEN	17,7
CAM	9,3	BIO 06	15,9
BIO 18	7,2	BIO 18	11,1
BIO 13	7,2	BIO 13	9,7
BIO 02	6,2	BIO 09	7,8
NDVI	6,2	BIO 03	7,0
DEM	6,2	BIO 15	5,9
BIO 15	5,9	CAM	5,5
AU	5,5	DEM	4,7
HIDR	5,3	HDR	4,2
PEN	5,3	BIO 02	3,2
BIO 09	5,2	AU	3,2
BIO 03	4,8	BIO 14	2,7
BIO 14	4,0	NDVI	1,3



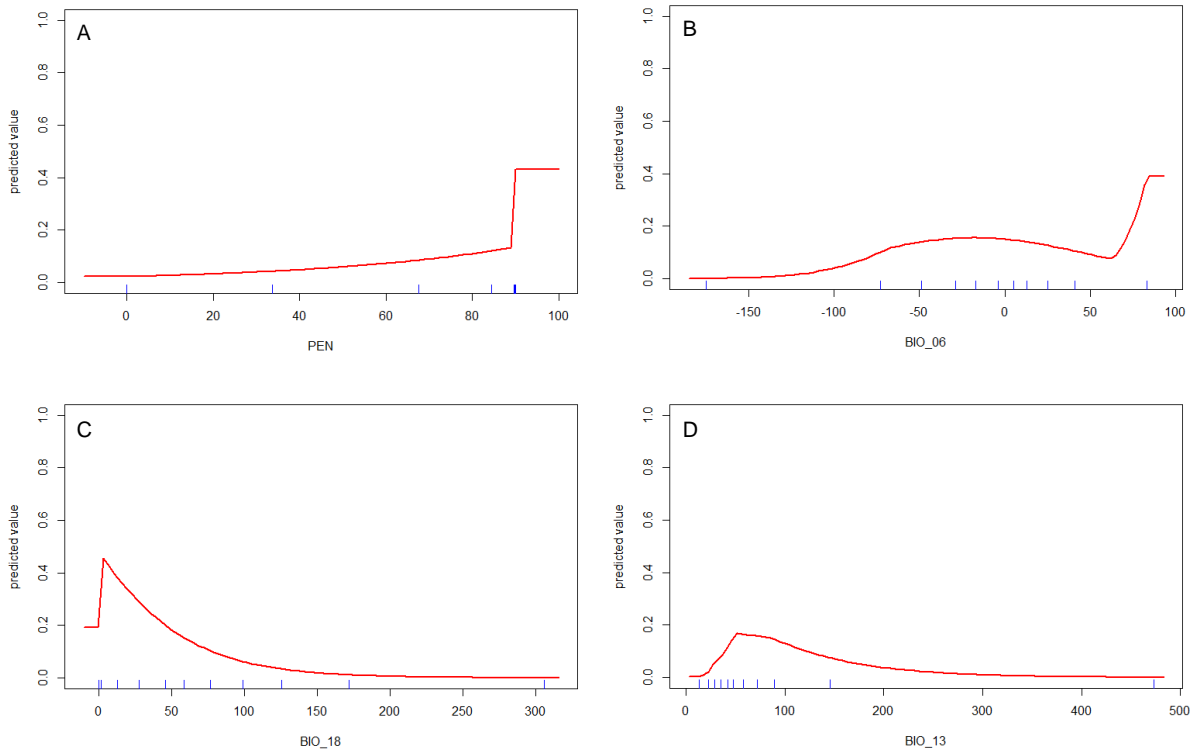
Para el modelo Random Forest, las cuatro variables con mayor contribución son la temperatura mínima del mes más frío (BIO 06) (Gráfico 5A), la proximidad a caminos (CAM) (Gráfico 5B), la precipitación acumulada del cuarto más cálido (BIO 18) (Gráfico 5C) y la precipitación acumulada del mes más húmedo (BIO 13) (Gráfico 5D). Tanto para la temperatura mínima del mes más frío (BIO 06) como para la proximidad a caminos (CAM), el valor predictivo es cercano a 0,25; mientras que para la precipitación acumulada del cuarto más cálido (BIO 18) y la precipitación acumulada del mes más húmedo (BIO13) el valor predictivo es próximo a 0,15.



**Gráfico 5.** Curvas de dependencia parcial para las variables temperatura mínima ( $^{\circ}\text{C} \times 10$ ) del mes más frío (A), proximidad (km) a caminos (B), precipitación (mm) acumulada del cuarto más cálido (C), precipitación (mm) acumulada del mes más húmedo (D). La dependencia parcial muestra el efecto marginal de cada variable dependiente sobre la variable respuesta.

Para el modelo MaxEnt, las cuatro variables con mayor contribución porcentual son la Pendiente (PEN) (Gráfico 6A), la temperatura mínima del mes más frío (BIO 06) (Gráfico B), la precipitación acumulada del cuarto más cálido (BIO 18) (Gráfico 6C) y la precipitación acumulada del mes más húmedo (BIO 13) (Gráfico 6D). Estas cuatro variables, en conjunto, condicionan en más de un 50% la distribución probable de la especie en estudio. Tanto para la Pendiente (PEN) como para la temperatura mínima del mes más frío (BIO 06), el valor

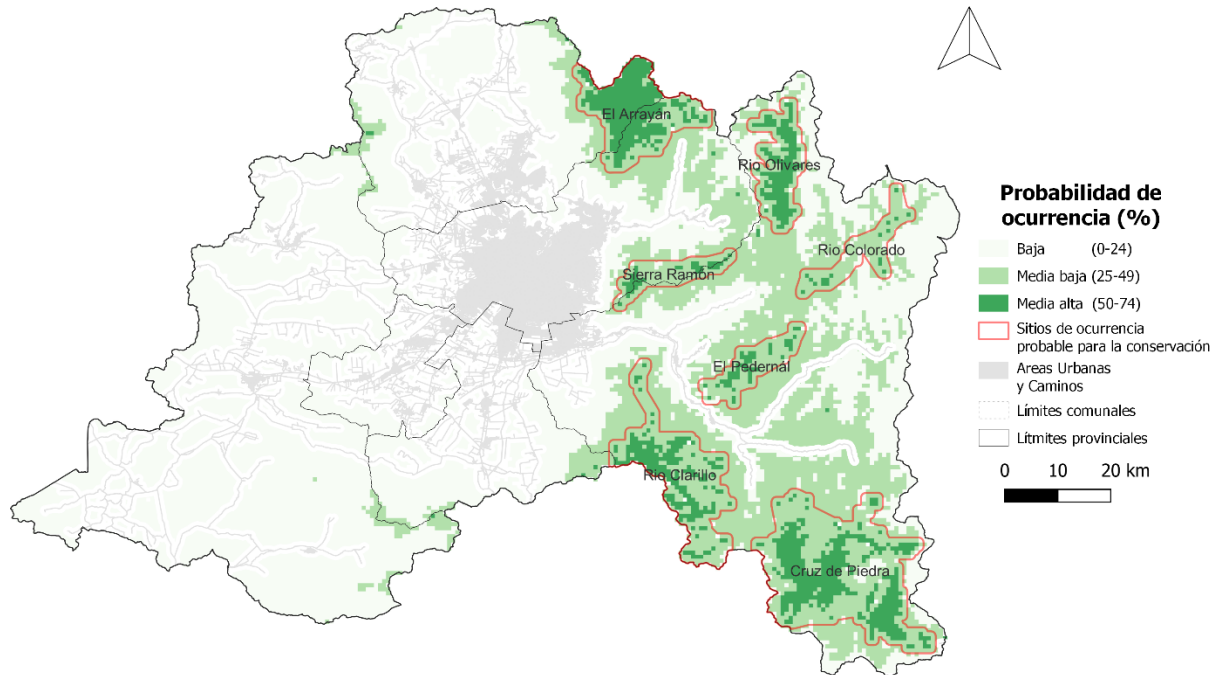
predictivo es cercano a 0,4; mientras que para la precipitación acumulada del cuarto más cálido (BIO 18) es 0,4. Para la precipitación acumulada del mes más húmedo (BIO13) el valor predictivo es próximo a 0,2.



**Gráfico 6.** Curvas de respuesta de las variables pendiente (%) (A), temperatura (°C x 10) mínima del mes más frío (B), precipitación (mm) acumulada del cuarto más cálido (C), precipitación (mm) acumulada del mes más húmedo (D).

### 3.2 Sitios de ocurrencia probable

La información provista por los modelos anteriores ha permitido identificar 7 sitios que podrían tener buenas probabilidades para albergar poblaciones de guanaco. Cada sitio ha sido identificado en función del hito cercano más importante, siendo estos: (1) El Arrayán, ubicado entre las provincias de Chacabuco y Cordillera; (2) Sierra de Ramón, localizado en la sierra cordillerana al este de la ciudad de Santiago, (3) Río Olivares, ubicado en la zona norte de la provincia de Cordillera; (4) El Pedernal, situado en las proximidades del cerro del mismo nombre; (5) Río Clarillo, próximo al Parque Nacional, (6) Cruz de Piedra, al interior del Cajón del Maipo, próximo a los límites regionales e internacionales en la provincia de Cordillera; y (7) Río Colorado, situado a lo largo de los afluentes del río del mismo nombre (ver Figura 6).



**Figura 6.** Sitios de ocurrencia probable para la conservación de hábitats de Guanaco en la región Metropolitana.

### 3.3.1 El Arrayán

El sitio de ocurrencia probable de El Arrayán se localiza al norte de la región Metropolitana, entre los límites de las provincias de Chacabuco, Santiago y Los Andes (región de Valparaíso) (centroide:  $-70,43160^{\circ}$ ;  $-33,14052^{\circ}$ ). Posee una extensión de 35.171 ha y se encuentra emplazada, de norte a sur, entre los cerros entre los cerros Tebas y Carpa, y de oeste a este entre el cerro Grande y Los Bronce, a una altitud de entre los 2.000 y 3.250 msnm. Los principales afluentes del área son el estero Colina y del Arrayán, los cuales transitan en dirección norte-sur. En su interior se encuentra la parte norte del Santuario de la Naturaleza Los Nogales, el cual representa cerca del 12,9% del área probable de conservación sugerida para el posible establecimiento de guanacos en la región.

### 3.3.2 Sierra de Ramón

El sitio de ocurrencia probable de Sierra de Ramón se localiza al oeste de la ciudad de Santiago, sobre la cadena montañosa del mismo nombre, entre las provincias de Santiago y Cordillera (centroide:  $-70,36616^{\circ}$ ;  $-33,46854^{\circ}$ ). Posee una extensión de 13.429 ha y se

encuentra emplazada, de norte a sur, entre el cerro San Ramón y el morro Culén, y de oeste a este entre el cerro de Ramón y el portezuelo de los Azules, a una altitud de entre los 2.250 y los 2.750 msnm. Los principales afluentes del área son la quebrada de Macul, el estero Covarrubias, el estero El Manzano y el estero Los Recauquenes. En su interior, se encuentra la parte sur del Santuario de la Naturaleza Yerba Loca, el cual representa cerca del 55,2% del área probable de conservación sugerida para el posible establecimiento de guanacos en la región.

### 3.3.3 Río Olivares

El sitio de ocurrencia probable de Río Olivares se localiza al norte de la provincia de Cordillera, a lo largo del río del mismo nombre (centroide: -70,13918°; -33,24449°). Posee una extensión de 22.146 ha y se encuentra emplazada, de norte a sur, entre los cerros Picarte y Alto del Coironal, y de oeste a este entre los cerros Plomo y Reichert, a una altitud de entre los 2.750 y 4.250 msnm. Los principales cursos de agua son los esteros Picarte, Esmeralda, El Cepo, Los Castaños y Lomas Coloradas, todos afluentes del Río Olivares que cruza la región de norte a sur. En su interior se encuentra la parte norte y central del Bien Nacional Protegido Río Olivares, el cual representa cerca del 52,3% del área probable de conservación sugerida para el posible establecimiento de guanacos en la región.

### 3.3.4 El Pedernal

El sitio de ocurrencia probable de El Pedernal se localiza al oeste de San José de Maipo, en la comuna del mismo nombre (centroide: -70.19557°; -33.65721°). Posee una extensión de 15.560 ha y se encuentra emplazada, de norte a sur, entre los cerros Echaurren y San Gabriel, y de oeste a este entre los cerros Tres Esteros y Punta Negra, a una altitud de entre los 1.750 y 3.250 msnm. Los principales afluentes del área son los esteros Coironal, San Alfonso y San Gabriel y las quebradas La Calchona, Los Palitos y del Encanado. En su interior se encuentra la parte oeste del Santuario de la Naturaleza San Francisco de Lagunilla y Quillayal, el cual representa cerca del 31,7% del área probable de conservación sugerida para el posible establecimiento de guanacos en la región.

### 3.3.5 Río Clarillo

El sitio de ocurrencia probable de Río Clarillo se localiza al suroeste del parque nacional del mismo nombre, en el límite político entre las regiones Metropolitana y del Libertador General

Bernardo O'Higgins (centroide: -70,34303°; -33,87905°). Posee una extensión de 41.803 ha y se encuentra emplazada, de norte a sur, entre los cerros del Papagallo y Amarillo, y de oeste a este entre los cerros El Guanaco y del Cobre, a una altitud de entre los 1.750 y los 3.500 msnm. Los principales cursos de agua son los ríos Claro y Clarillo y los esteros Coyanco, del Ingeniero, Piquencillo y El Extravío. En su interior se encuentra la parte sur del Parque Nacional Río Clarillo y del Santuario de la Naturaleza Cascada de las Ánimas, los cuales representa cerca del 16,9% del área probable de conservación sugerida para el posible establecimiento de guanacos en la región.

### 3.3.6 Cruz de Piedra

El sitio de ocurrencia probable de Cruz de Piedra se localiza al sureste de la provincia de Cordillera, a tan solo 7 km al oeste del área probable Río Clarillo (centroide: -70,01455°; -34,07543°). Posee una extensión de 76.391 ha y se encuentra emplazada, de norte a sur, entre los cerros El Yesillo y Federico, y de este a oeste entre el pico Yeguas Muertas y el cerro Gorro, a una altitud de entre los 2.250 y 4.000 msnm. Los principales cursos de agua son el río Maipo y sus afluentes tales como los ríos Blanco, Barroso y Negro y los esteros del Diablo, Los Pelambres, Los Escalones y San Ignacio, entre otros. A diferencia de las áreas probable anteriores, Cruz de Piedra no tiene grado alguno de representación en áreas protegidas por el estado (ya sea por el SNASPE o por el Ministerio de Bienes Nacionales).

### 3.3.7 Río Colorado

El sitio de ocurrencia probable de Río Colorado se localiza al noreste de la provincia de Cordillera, a lo largo del río del mismo nombre (centroide: -69,97093°; -33,41828°). Posee una extensión de 16.463 ha y se encuentra emplazado de norte a sur entre los cerros de La Pollera y Tambillos, y de este a oeste entre el estero Tupungatito y la cuesta del Coironal, a una altitud de 2.500 y 4.000 msnm. Los principales cursos de agua son el río Colorado y sus respectivos afluentes (esteros del Tupungatito, Blandas Aguas, del Museo, Chacayal y de Las Vacas) y al igual que el sitio Cruz de Piedra, Río Colorado no tiene representación alguna en áreas protegidas por el estado.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Estado actual de los sitios de ocurrencia probable

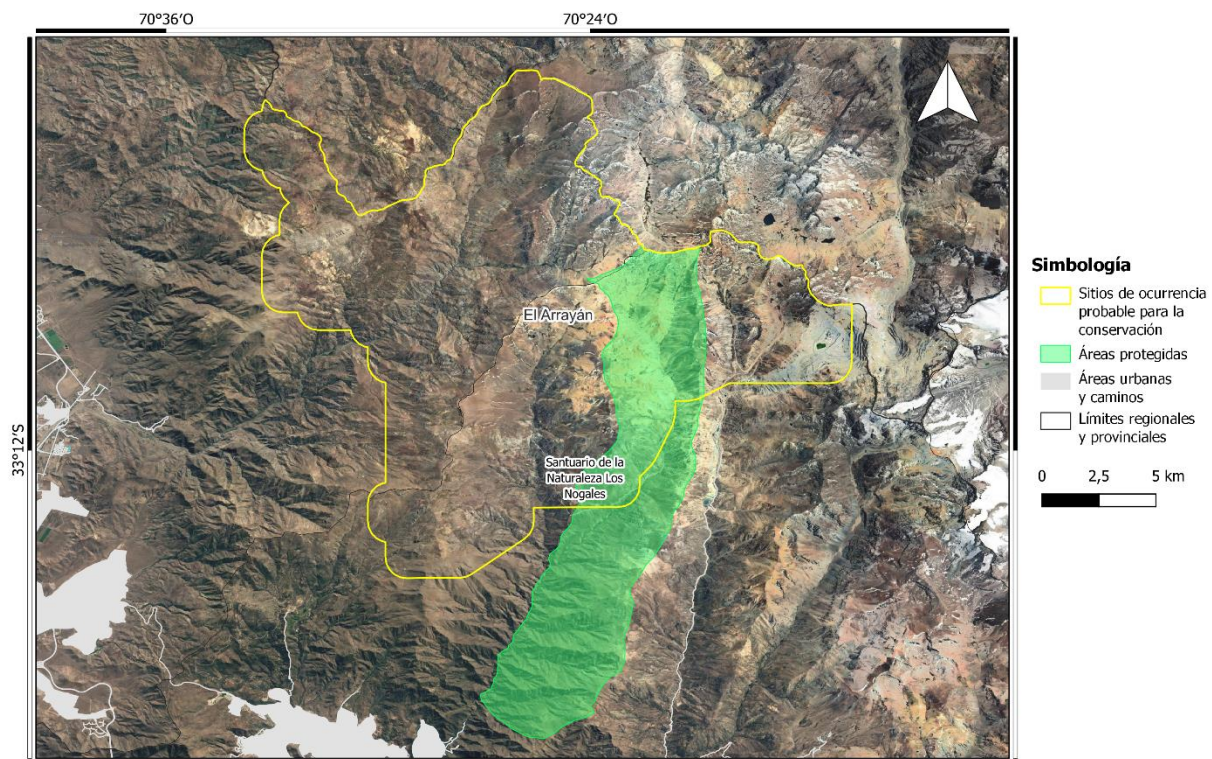
Actualmente, los sitios de ocurrencia probable de El Arrayán, Sierra de Ramón, Río Olivares, El Pedernal y Río Clarillo poseen un grado de representatividad por parte de un área protegida del estado, ya sea a través de un Santuario de la Naturaleza, Parque Nacional o un Bien Nacional (Tabla 4).

**Tabla 4.** Porcentaje de representación de cada uno de los sitios de ocurrencia probable (SOP) en algún áreas protegida por el estado (AP).

<b>SOP</b>	<b>Superficie del SOP (HA)</b>	<b>Nombre del Área Protegida superpuesta sobre el SOP</b>	<b>Superficie total del SOP superpuesta sobre el AP (HA)</b>	<b>Porcentaje de representación del SOP en algún AP</b>
El Arrayán	35.171	Santuario de la Naturaleza Los Nogales	4.537	12,9 %
Sierra de Ramón	13.429	Santuario de la Naturaleza Yerba Loca	7.411	55,2 %
Río Olivares	22.146	Bien Nacional Protegido Río Olivares	11.586	52,3 %
El Pedernal	15.560	Santuario de la Naturaleza San Francisco de Lagunilla y Quillayal	4.944	31,8 %
Río Clarillo	41.803	Parque Nacional Río Clarillo y Santuario de la Naturaleza Cascada de las Ánimas	7.051	16,9 %
Cruz de Piedra	76.391	-	-	0 %
Río Colorado	16.463	-	-	0 %
<b>Total</b>	<b>220.963</b>		<b>35.529</b>	<b>16,1%</b>

#### 4.1.1 El Arrayan

El sitio de ocurrencia probable de El Arrayán se encuentra representado en un 12,9% por el Santuario de la Naturaleza Los Nogales (Figura 7), establecido como tal por el decreto N° 726 del año 1973 y amparado por el Consejo de Monumentos Nacionales, órgano perteneciente al Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio. Este Santuario posee una extensión de 11.025 ha, la cual se distribuye a lo largo de la cuenca del río Arrayán, y tiene como objetivo conservar la riqueza florística, faunística y ecológica característica del área precordillerana de la zona central de Chile (Decreto Supremo N° 726, 1973). La vegetación presente en el santuario se compone en su mayoría por formaciones de matorral esclerófilo andino, bosque esclerófilo andino y matorral xerófilo (Consejo de Monumentos Nacionales, Santuarios de la Naturaleza de Chile, 2010).

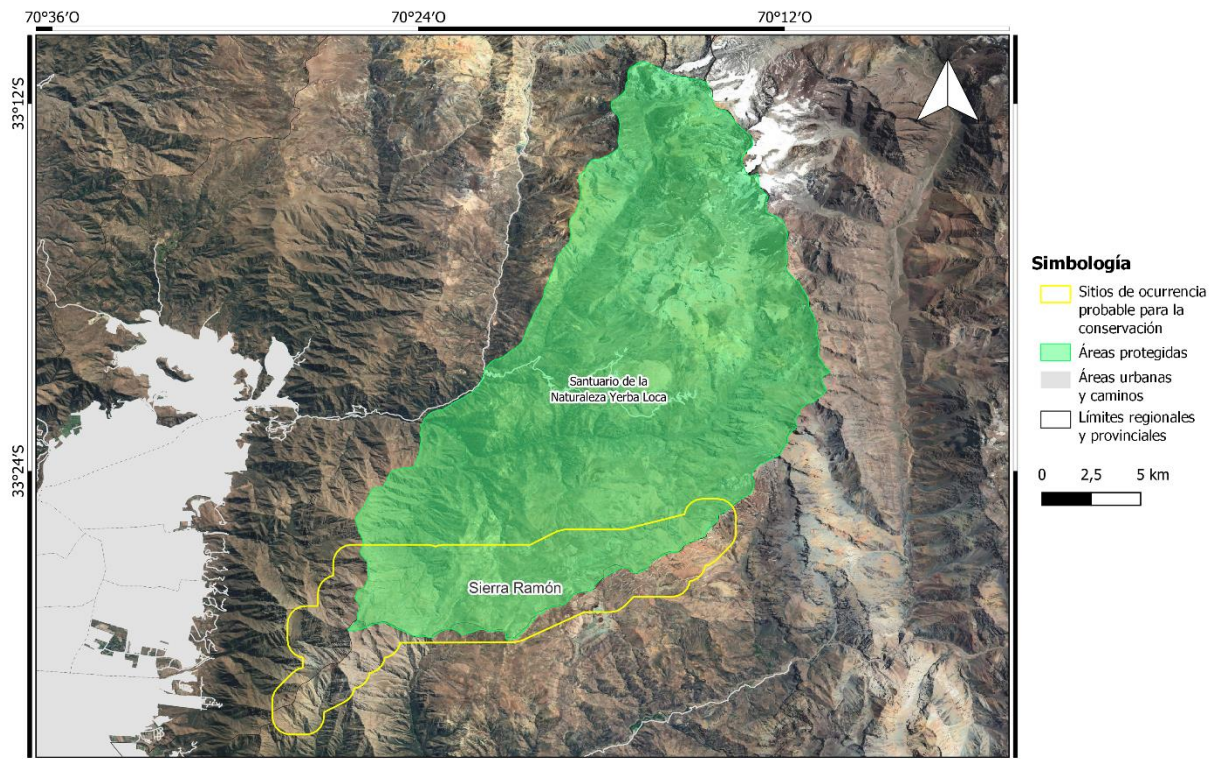


**Figura 7.** Intersección del sitio de ocurrencia probable para la conservación El Arrayán y el Santuario de la Naturaleza Los Nogales.

#### 4.1.2 Sierra de Ramón

El sitio de ocurrencia probable de Sierra de Ramón se encuentra representado en un 55,2% por el Santuario de la Naturaleza Yerba Loca (Figura 8), establecido como tal por el decreto N° 937

del año 1973. El Santuario se encuentra bajo la tutela del Consejo de Monumentos Nacionales y posee una extensión de 39.029 ha distribuido entre los límites de la provincia de Santiago y Cordillera y el río San Francisco. Tiene como objetivo conservar las especies arbóreas, la ecología y las posibilidades turísticas que ofrece el área precordillerana de la provincia de Santiago (Decreto N° 937, 1973). Posee un importante patrimonio arqueológico, así como también un amplio porcentaje de las especies endémicas de la región. Las principales formaciones vegetaciones presentes en el área son el bosque esclerófilo andino y la estepa altoandina.



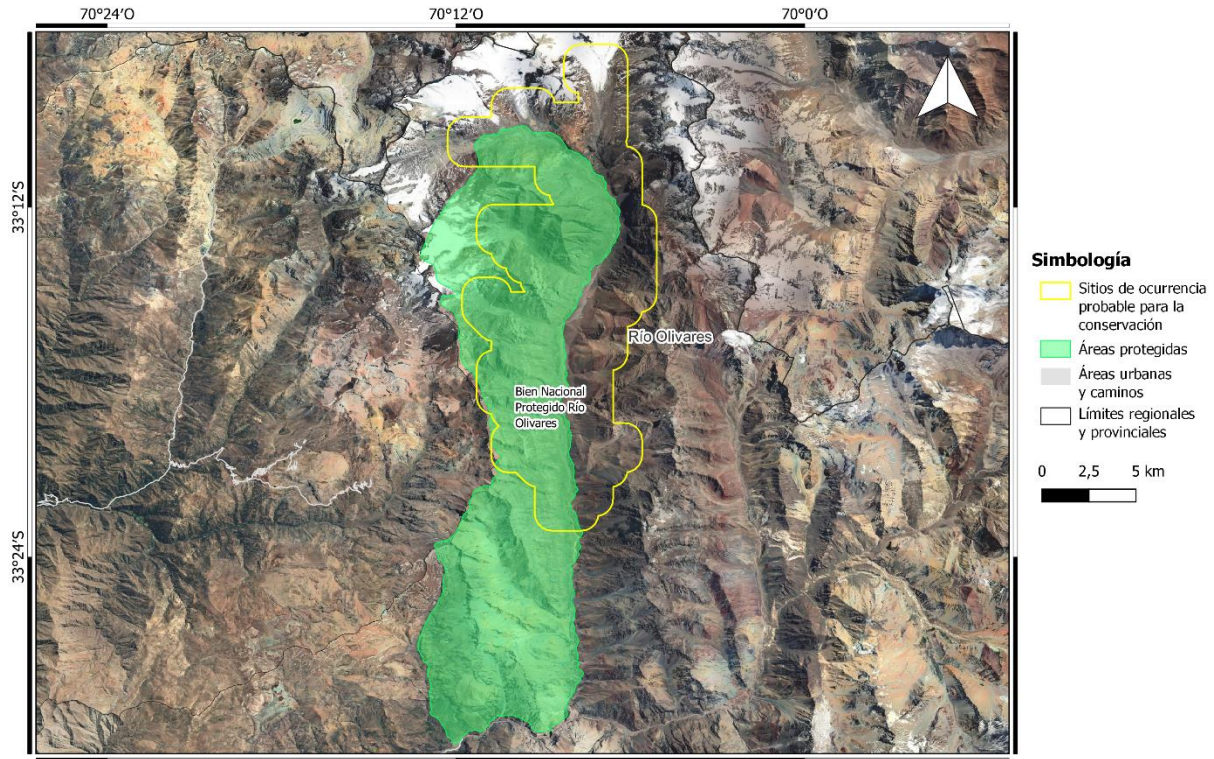
**Figura 8.** Intersección del sitio de ocurrencia probable para la conservación Sierra de Ramón y el Santuario de la Naturaleza Yerba Loca.

#### 4.1.3 Río Olivares

El sitio de ocurrencia probable de Río Olivares se encuentra representado en un 52,3% por el Bien Nacional Protegido Río Olivares (Figura 9), establecido como tal por los decretos exentos N°1293 del 2010 y N°608 del 2016 y siendo este administrado por el Ministerio de Bienes Nacionales de la nación. Esta entidad cuenta con una extensión de 30.400 ha y se encuentra extendido a lo largo del río del mismo nombre. Tiene como fin la conservación y protección de



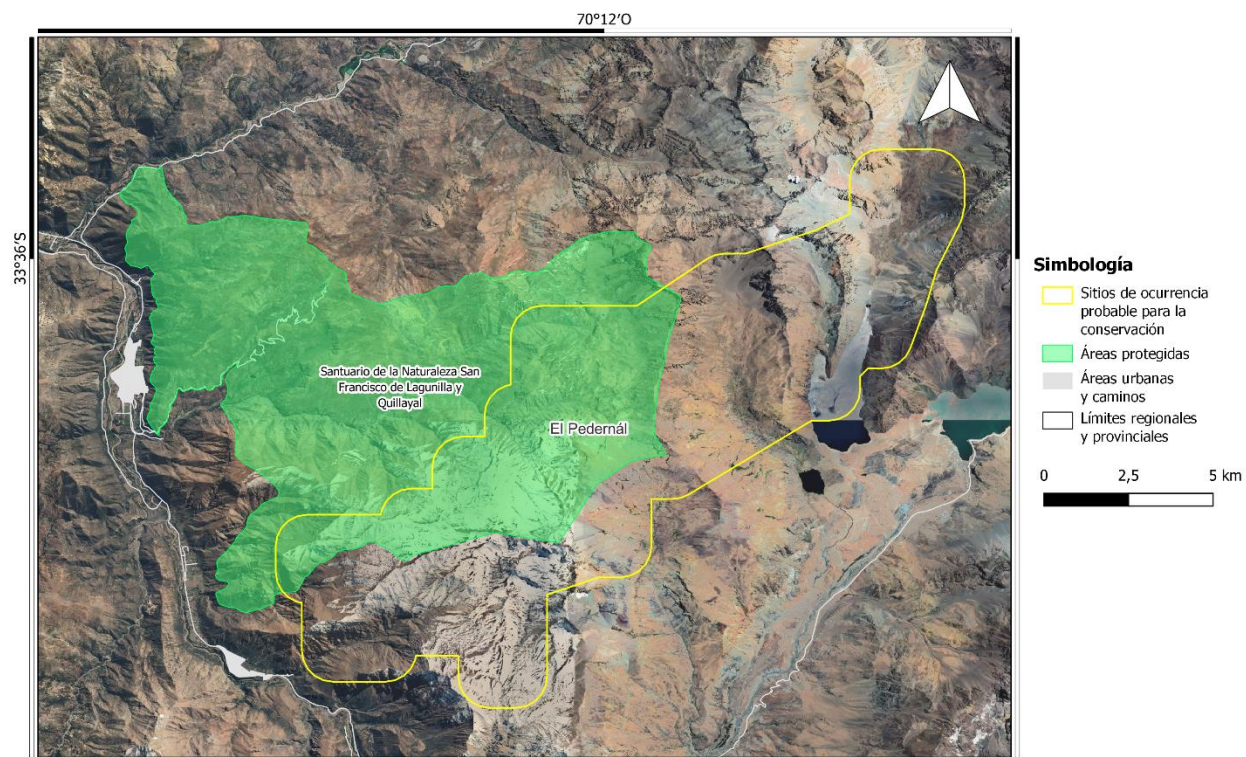
las formaciones vegetacionales Estepa Alto Andina y Bosque Esclerófilo Andino (Decreto exento N°1293, 2010). La flora de esta entidad se compone por vegas y formaciones arbustivas de altura, siendo las especies más representativas el pingo-pingo, la junelia, la lengua de gallina, la añañauca, el paiguén, el chacai y la rubilla, entre otras.



**Figura 9.** Intersección del sitio de ocurrencia probable para la conservación Río Olivares y el Bien Nacional Protegido Río Olivares.

#### 4.1.4 El Pedernal

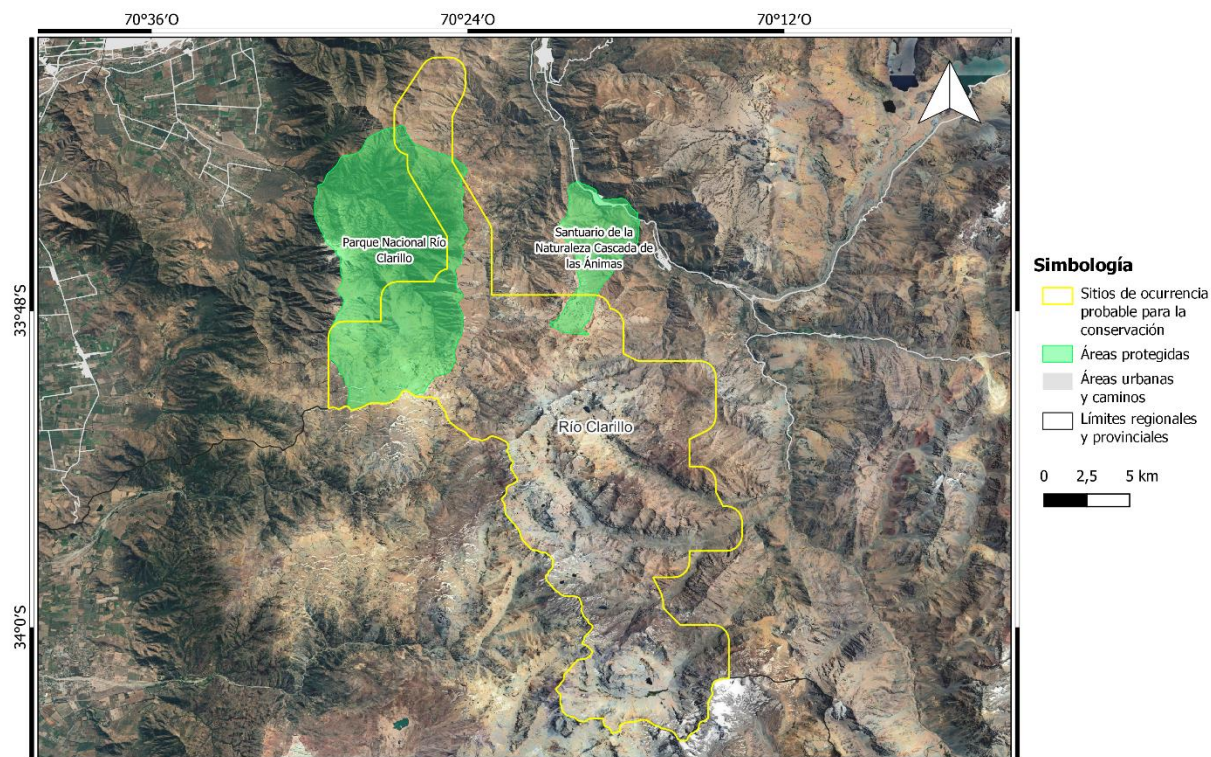
El sitio de ocurrencia probable de El Pedernal se encuentra representado en un 31,8% por el Santuario de la Naturaleza San Francisco de Lagunilla y Quillayal (Figura 10), establecido como tal por el decreto N° 755 del año 2008. Este santuario, al igual que los demás, se encuentra tutelado por Consejo de Monumentos Nacionales, y tiene una extensión de 13.426 ha. Se encuentra en la comuna de San José de Maipo, provincia de Cordillera y tiene como objetivo conservar la biodiversidad de la región Metropolitana, específicamente, las pertenecientes a las ecorregiones Matorral y Bosque Esclerófilo y Estepa Altoandina (Decreto N° 775, 2008).



**Figura 10.** Intersección del sitio de ocurrencia probable para la conservación El Pedernal y el Santuario de la Naturaleza San Francisco de Lagunilla y Quillayal.

#### 4.1.5 Río Clarillo

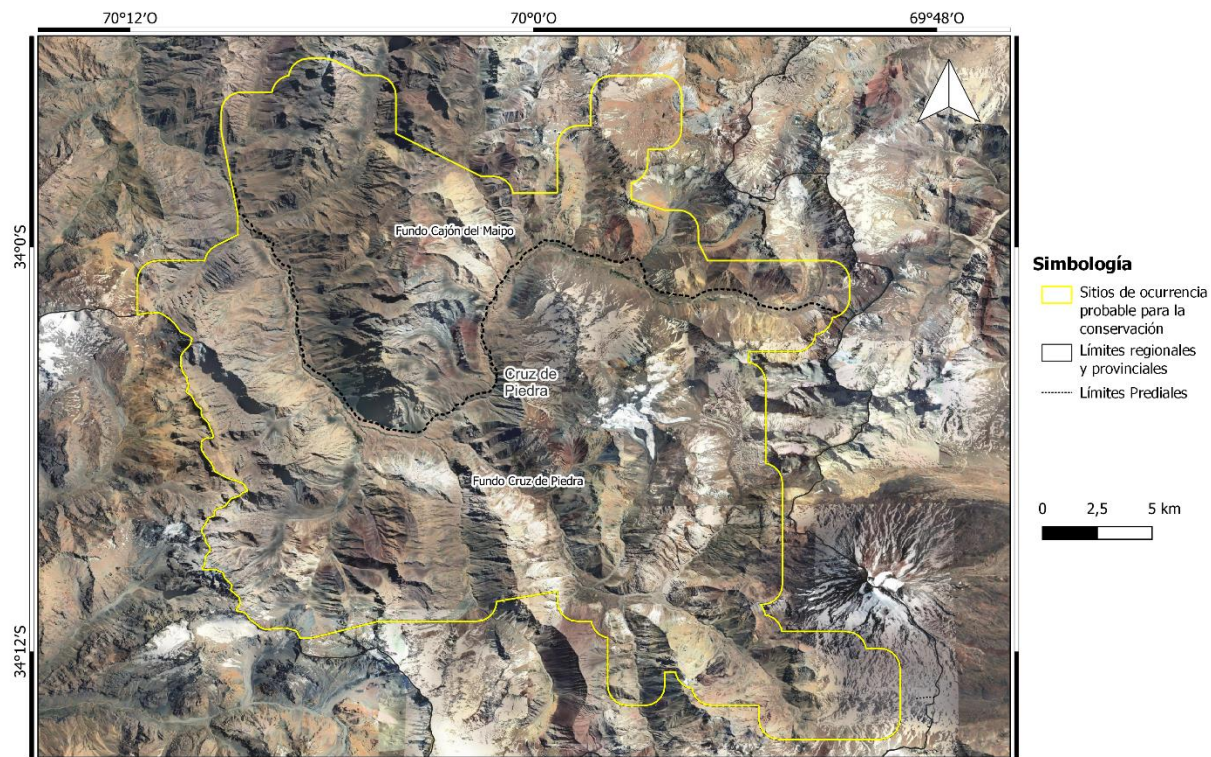
En relación con el sitio de ocurrencia probable Río Clarillo, este se encuentra representado en un 16,9% por el Santuario de la Naturaleza Cascada de las Ánimas y el Parque Nacional Río Clarillo (Figura 11). Por un lado, el Santuario de la Naturaleza Cascada de las Ánimas, ubicado en la comuna de San José de Maipo, y establecido como tal por el Decreto N°480 del año 1995, tiene una extensión de 3.600 ha. Cuenta con el respaldo del Consejo de Monumentos Nacionales y tiene por objetivo conservar el patrimonio natural de la región, facilitar la investigación científica y contribuir a la educación y recreación ambiental (Decreto N° 480, 1995). Por otro lado, el Parque Nacional Río Clarillo, localizado en la comuna de Pirque, fue declarado previamente como Reserva Nacional por el decreto supremo N°19 del Ministerio de Agricultura el año 1982 (Niemeyer y otros, 2002) y recategorizado como Parque Nacional por el Decreto N°30 del año 2019. Cuenta con una extensión total de 13.134 ha y tiene como objetivos, proteger la cuenca del Río Clarillo, preservar una muestra representativa de los pisos vegetacionales característicos de la zona y preservar especies de fauna y sus hábitats naturales, entre otras (Decreto N° 30, 2019).



**Figura 11.** Intersección del sitio de ocurrencia probable para la conservación Río Clarillo, Santuario de la Naturaleza Cascada de las Ánimas y Parque Nacional Río Clarillo.

#### 4.1.6 Cruz de Piedra

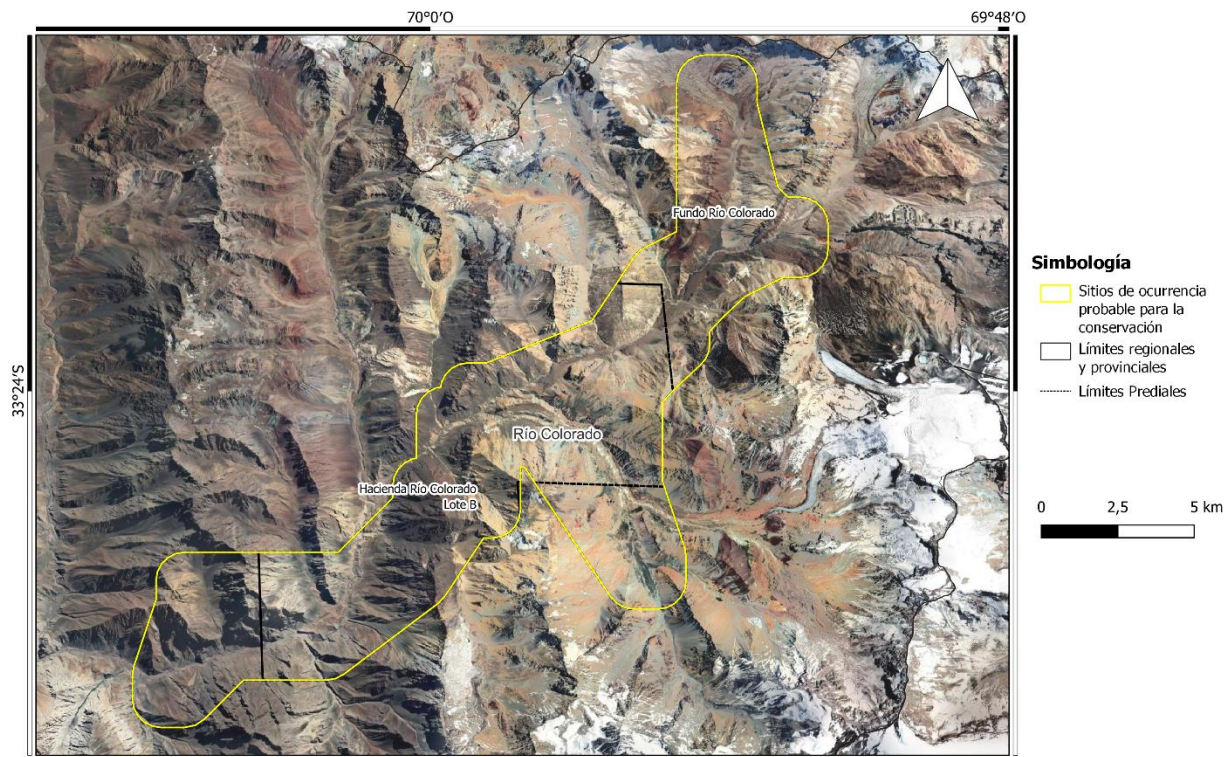
Con respecto al sitio de ocurrencia probable de Cruz de Piedra (Figura 12), es importante señalar que, junto con Río Colorado, es uno de los espacios que no se encuentra representado por algún área protegida por el estado. Pese a ello, está inmerso dentro de dos grandes predios de propiedad privada: (1) el fundo Cajón del Maipo, propiedad de la persona natural María Quintana Costa (Rol avalúo fiscal: 502-23) y (2) el fundo Cruz de Piedra, propiedad de Inversiones Gasco S.A. (Rol avalúo fiscal: 831-4) (SII, 2021). Ambos predios se encuentran separadas latitudinalmente por la rivera de los ríos Maipo y Negro, desde el nacimiento de este último hasta la Quebrada Los Puentes, afluente del río Maipo. La zona norte del área probable se encuentra bajo la propiedad del fundo Cajón del Maipo, mientras que la zona sur, bajo la propiedad del fundo Cruz de Piedra. Según la información provista por el Servicio de Impuestos Internos, ambas propiedades tienen un destino de uso agrícola.



**Figura 12.** Sitio de ocurrencia probable para la conservación Cruz de Piedra. La propiedad de los terrenos se reparte entre María Quintana Costa (Fundo Cajón del Maipo) al norte, e Inversiones Gasco S.A. (Fundo Cruz de Piedra) al sur.

#### 4.1.7 Río Colorado

Por último, y en relación con el sitio de ocurrencia probable Río Colorado (Figura 13), es al igual que Cruz de Piedra, uno de los espacios que carece de representación en algún área protegida por el estado. Se encuentra entre dos predios, uno de ellos de propiedad privada y otro de propiedad del estado: (1) la hacienda Río Colorado Lote B, propiedad de la empresa Knauf de Chile Ltda (Rol avalúo fiscal: 300-217) y (2) el fundo Río Colorado, propiedad del Ejército de Chile (Rol avalúo fiscal: 300-006) (SII, 2021). Cabe destacar que la hacienda Río Colorado Lote B se encuentra inmersa dentro del propio Fundo Río Colorado. Según la información provista por el Servicio de Impuestos Internos, ambas propiedades tienen un destino de tipo agrícola.



**Figura 13.** Sitio de ocurrencia probable para la conservación Río Colorado. La propiedad de los terrenos se reparte entre el Ejército de Chile (Fundo Río Colorado) y Knauf de Chile Ltda (Hacienda Río Colorado Lote B).

## 4.2. Análisis de instrumentos de conservación

Debido a la representatividad que tienen 5 de las 7 áreas de ocurrencia probable de ocurrencia en algún sitio destinado a la conservación patrocinado por el estado, resulta prudente analizar únicamente aquellos instrumentos que puedan ser de utilidad para establecer primariamente un área de protección en los sitios de ocurrencia probable Cruz de Piedra y Río Colorado. Para ello se revisarán y evaluarán instrumentos de conservación pasiva, de carácter público y privado, que compatibilicen la protección del hábitat probable del guanaco, con los intereses de los propietarios.

### 4.2.1 Santuario de la Naturaleza

El establecimiento de un Santuario de la Naturaleza, como instrumento de conservación de carácter público, responde exclusivamente al Consejo de Monumentos Nacionales, organismo dependiente del Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio. Este tiene la responsabilidad de *“pronunciarse sobre la conveniencia de declarar Monumentos Nacionales*

*los lugares, ruinas, construcciones u objetos que estime del caso y solicitar de la autoridad competente la dictación del decreto supremo correspondiente” (Ley N° 17.288, Artículo 6). Bajo este antecedente, es importante destacar que los sitios en cuestión poseen una serie de bienes de interés para la ciencia y el estado. Estos tienen que ver con registros de tipo arqueológicos, dejados por cazadores recolectores del periodo Arcaico IV (Planella y otros, 2011), ecológicos, como el hábitat de especies florísticas y faunísticas altoandinas, y naturales, como las cabeceras del río Colorado, Negro y Río Maipo y los glaciares de los volcanes Nevado de Argüelles y Maipo, teniendo estos últimos un gran valor de tipo hidrológico para la región Metropolitana.*

En el sitio de Cruz de Piedra, este último punto puede resultar de suma importancia para la consideración del establecimiento de un Santuario de la Naturaleza, en vista de que el sitio reúne las condiciones descritas por la ley de ofrecer *“posibilidades especiales para estudios e investigaciones geológicas, paleontológicas, zoológicas, botánicas o de ecología, o que posean formaciones naturales, cuyas conservaciones sea de interés para la ciencia o para el Estado”* (Ley N° 17.288, Artículo 31). Del mismo modo, la propiedad del sitio puede permanecer en privados *siempre y cuando sus dueños velen por su debida protección, denunciando ante el Servicio los daños que por causas ajenas a su voluntad se hubieren producido en ellos* (Ley N° 17.288, Artículo 31). Sin embargo, esto podría resultar conflictivo para los propietarios del sitio, puesto que quedaría prohibida *la iniciación de trabajos de construcción o excavación, ni desarrollar actividades como pesca, caza, explotación rural o cualquiera otra actividad que pudiera alterar su estado natural* (Ley N° 17.288, Artículo 31). Teniendo esto en consideración, las actividades propias de la industria energética, minera y de telecomunicaciones desarrolladas al interior del Fundo Cruz de Piedra, quedarían excluidas, forzando al propietario a perder el interés por promover el establecimiento de un área protegida de estas características.

Pese a lo anterior, sería de absoluta voluntad de parte de los propietarios buscar el establecimiento de un Santuario de la Naturaleza. Para ello, la vía formal para realizar solicitudes al Consejo de Monumentos Nacionales es a través de la Ley del Lobby (Ley N° 20.730 del 2014), la cual regula las gestiones que representen intereses particulares ante las autoridades y funcionarios.

El procedimiento administrativo para la afectación de terrenos privados contempla el cumplimiento de una solicitud dirigida al Consejo de Monumentos Nacionales y al Ministerio de Educación. Esta ha de considerar (CODEFF, 1999; Austra, 2020):

- Una manifestación de voluntad en el sentido de querer afectar un determinado terreno a la calidad de Santuario de la Naturaleza.
- Los fundamentos en virtud por los cuales se solicita la afectación. Estos podrían solventarse en alguno de los siguientes argumentos:
  - La afectación persigue asegurar la diversidad biológica, tutelar la preservación de la naturaleza o conservar el patrimonio ambiental (art. 34 y 35 de la Ley N° 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente).
  - La afectación tiene por objetivo mantener áreas de carácter único o representativas de la diversidad ecológica natural del país o lugares que presentan comunidades animales, vegetales, paisajes o formaciones geológicas naturales, a fin de posibilitar la educación e investigación y de asegurar la continuidad de los procesos evolutivos, las migraciones animales, los patrones de flujo genético y la regulación del medio ambiente (art. 1º, letra “a” de la Ley N° 18.362 que crea el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado).
  - La afectación busca mantener y mejorar los sistemas hidrobiológicos naturales (art.1º letra “d”, de la Ley que crea el SNASPE).
  - La afectación busca preservar los terrenos que constituyen un adecuado corredor biológico entre áreas de gran diversidad biológica.
- Estudio descriptivo general de los ecosistemas, especies de flora y fauna nativa, de los recursos paisajísticos u otros del área. En especial este estudio debe acreditar mediante los antecedentes científico-técnicos pertinentes, el fundamento en virtud del cual se solicita la afectación.
- Individualización completa de los titulares del predio que se desean afectar.
- Ubicación, extensión, deslindes planos y demás antecedentes descriptivos del área a afectar.
- Títulos y certificados que acrediten la propiedad sobre el terreno a afectar.

De tener éxito la solicitud, sería necesaria la aprobación de un decreto supremo del Presidente de la República, expedido a través del Ministerio de Educación, y previa solicitud, acuerdo y

aprobación del Consejo de Monumentos Nacionales (Art. 6 N° 1 de la Ley sobre Monumentos Nacionales), para el establecimiento formal del santuario. Con respecto a la propiedad del sitio, es importante reiterar que la afectación de un terreno en calidad de Santuario de la Naturaleza, no implica la pérdida del dominio sobre el mismo por parte de los privados. Estos siguen sosteniendo la propiedad, pero con las regulaciones que impone la Ley sobre Monumentos Nacionales. De esta forma, el establecimiento de un Santuario de la Naturaleza representa la única forma de establecer un área de protección privada reconocida por el Estado de Chile (ASÍ Conserva Chile & Fundación Tierra Austral, 2020).

#### 4.2.2 Planificación Territorial

En el contexto de los instrumentos públicos de planificación territorial, no existen definiciones ni objetivos genéricos para el establecimiento de áreas de conservación. Pese a ello, el Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS) (MINVU, 2015) contempla dos macro-áreas: el área urbana metropolitana y el área restringida o excluida del desarrollo urbano. Esta última considera Áreas de Valor Natural, definidas como sitios de interés natural o paisajístico, que presentan vegetación y fauna silvestre, cursos naturales de agua y que constituyen parte del patrimonio natural o cultural que debe ser protegido o preservado. De estos sitios, el PRMS describe diferentes Áreas de Valor Natural, siendo la más relevante, para los fines que busca esta propuesta, la de las Áreas de Preservación Ecológica. Estas corresponden a sitios que deben ser mantenidas en estado natural, para asegurar y contribuir al equilibrio y calidad del medio ambiente, como asimismo preservar el patrimonio paisajístico. Dentro de estas se integran las diversas áreas que tengan características de Áreas Silvestres Protegidas (Parques nacionales, Reservas Nacionales, Santuarios de la Naturaleza, lugares de interés científico y en general todas las áreas de protección existentes). Del mismo modo, considera los sectores altos de las cuencas y microcuencas hidrográficas; los reservorios de agua y cauces naturales; las áreas de preservación del recurso nieve; los enclaves de flora y refugios de fauna; como, asimismo, los componentes paisajísticos destacados. A su vez, solo se permitirá el desarrollo de actividades que aseguren la permanencia de los valores naturales, restringiéndose su uso a los fines: científico, cultural, educativo, recreacional, deportivo y turístico, con las instalaciones y/o edificaciones mínimas e indispensables para su habilitación. Por otro lado, las actividades agrícolas, ganaderas o forestales, podrán desarrollarse en forma controlada, para lo cual los organismos competentes respectivos fijarán las condiciones pertinentes, mediante planes aprobados por dichos servicios. Estos deberán incluir los sistemas de control y monitoreo correspondientes, lo que será condición para la autorización de funcionamiento de dichas



actividades (MINVU, 2015). Por último, cabe destacar que, pese a lo concreto que parece ser este instrumentos, tan solo se limita a regular el uso permitido de los suelos, sin entregar ningún tipo de reconocimiento jurídico como área de conservación, velando únicamente por los objetivos de planificación territorial para la región. Bajo este contexto, es relevante destacar también que los instrumentos de planificación pueden establecer áreas de protección, excluidas al desarrollo urbano, teniendo como fin de proteger el hábitat de especies faunísticas con problemas de conservación en la Región Metropolitana, como el propio guanaco.

Debido a la naturaleza del instrumento, no existe una autoridad genérica a cargo de la administración de estos sitios, por lo que el establecimiento de este tipo de sitios debe hacerse a través su creación o modificación en el PRSM. El procedimiento administrativo para este tipo de solicitudes se encuentra regulado por la Ley General de Urbanismo y Construcciones (arts. 27 y siguientes) y en la Ordenanza de dicha ley (arts. 2.2.2 y siguientes). En ellas, se describe que, para realizar el procedimiento de afectación de terrenos privados, en un Plan Regulador Intercomunal (como el PRSM) es necesario presentar una solicitud ante la Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo, remitiendo copias a la Municipalidad, al Gobierno Regional y a la División de Desarrollo Urbano del Ministerio de Vivienda. Esta solicitud debe contemplar (CODEFF, 1999):

- Una manifestación de voluntad en el sentido de querer incluir en el plan regulador correspondiente, un área de protección ambiental de propiedad privada.
- Los fundamentos en virtud de los cuales se solicita la afectación. En el caso que el respectivo instrumento de planificación regule áreas de protección ambiental, deberá señalarse que el área privada cumple con los requisitos del área de protección ambiental que el respectivo plan define.
- Estudios descriptivos generales de los ecosistemas, especies de flora y fauna nativa, de los recursos paisajísticos u otros del área. Estos estudios deben acreditar, mediante los antecedentes científico-técnicos pertinentes, el fundamento en virtud del cual se solicita la afectación.
- La individualización completa de los titulares del predio que se desea afectar.
- La ubicación, extensión, deslindes, planos y demás antecedentes descriptivos del área a afectar.

- Títulos y certificados que acrediten la propiedad sobre el terreno a afectar.

Finalmente, la aprobación de la solicitud ha de seguir la tramitación establecida por la Ley y Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, la cual atribuye al SEREMI Regional de Vivienda y Urbanismo las facultades de aprobar, modificar y actualizar el PRSM (De la Paz Mellado, 2020).

#### 4.2.3 Comodato

El comodato, como instrumento de conservación de carácter privado, puede ser una alternativa para el establecimiento de un área de conservación, en el contexto de que los propietarios cuenten con el deseo de proteger el lugar, pero no con la intención de administrarlo. En ese sentido, los propietarios (comodantes) pueden entregar parte del predio en forma de comodato (contrato en que una de las partes entrega a otra un predio, confiriéndole el derecho de servirse de ella, con cargo de restitución) a una institución pública o privada (comodatario) para que esta se haga cargo de la administración y cuidado por un determinado tiempo. Este tipo de contratos permite que los dueños del predio no pierdan derecho alguno sobre el mismo, salvo aquellos que afectan la facultad de gozo. Así mismo, el comodatario está obligado a restituir el predio una vez finalice el contrato, por lo que debe procurar el máximo cuidado del área durante las actividades de conservación, puesto que debe restituir el predio tal cual como fue recibió en un principio.

Este tipo de acuerdos se encuentra regulado por el Código Civil, en los artículos 2174 y siguientes, y es definido como un contrato en que una de las partes entrega a la otra gratuitamente una especie, mueble o raíz, para que haga uso de ella, y con cargo de restituir la misma especie después de terminado el uso. Así mismo, solo genera obligaciones para el comodatario, siendo estas (CODEFF, 1999):

- Conservar el inmueble. El comodatario, al tener que restituir el predio, debe conservar y emplear en su conservación el debido cuidado, preservando el inmueble con el máximo cuidado que exige la ley. Por ello, el comodatario es responsable de la pérdida o deterioro del predio, que sea de su responsabilidad. Así mismo, no debe responder cuando los deterioros deriven de la propia naturaleza del inmueble, del uso legítimo de la misma o del caso fortuito, salvo las excepciones legales.
- Obligación de usar el inmueble en los términos acordados o según su uso ordinario. El

comodatario solo podrá dar el uso acordado por las partes previamente. En caso de no acordar un uso específico, el comodatario dará el uso que ordinariamente le corresponde según su naturaleza.

- Obligación de restituir el inmueble. El comodatario debe restituir el predio en el momento estipulado, o en su defecto, después de haber hecho el uso convenido.

Del mismo modo, el procedimiento administrativo para establecer un comodato está asociado al acuerdo de un contrato real, por lo que se concreta nada más que con la entrega del inmueble sin formalidad alguna. Pese a ello, y por seguridad para ambas partes, el acuerdo puede ser firmado frente a un notario y traducido a escritura pública para efectos probatorios del pacto.

#### 4.2.4 Usufructo

El usufructo, como instrumento de conservación de carácter privado, opera de manera similar al comodato, en el sentido de que permite a una persona natural o jurídica, interesada en la protección del medio ambiente, adquirir de uno o más propietarios el derecho de usufructo de un inmueble, con el fin de realizar actividades de conservación de un sitio en particular. Bajo ese contexto, el usufructo permite al o a los propietarios mantener la disposición del sitio, traspasando únicamente las facultades de uso y goce a los usufructuarios, recibiendo a cambio un pago de tipo monetario, o asociado a algún beneficio para la propiedad, como la restauración de hábitats deteriorados, el control de la erosión o incendios, o la apertura de senderos para ecoturismo, entre otros (CODEFF, 1999).

Legalmente está regulado por el Código Civil, entre los artículos 764 y 810. En él, se describe que en el usufructo participan necesariamente dos personas: el usufructuario, que tiene las facultades del uso y del goce del inmueble encomendado, y el nudo propietario, representado, valga la redundancia, por el o los propietarios del sitio en cuestión, quienes, si bien se ven privados del uso y del goce, tienen la facultad de disponer del sitio en cualquier momento. Este tipo de acuerdo obliga al nudo propietario a respetar las actividades de conservación desarrolladas por el usufructuario, viéndose imposibilitado de realizar actividades sobre el sitio que perjudiquen el ejercicio de este último. Además, el usufructuario debe asumir el compromiso de conservar el sitio en su total forma y sustancia, puesto que es su obligación restituir el inmueble una vez finalice el periodo de usufructo acordado.

Administrativamente hablando, el usufructo puede constituirse por acto de voluntad entre las partes interesadas. En este sentido, el usufructo puede ser constituido a través de una donación u otro tipo de contrato. Como en este caso, el usufructo corresponde a un inmueble, se requiere de escritura pública e inscripción en el Conservador de Bienes Raíces.

## 5. DISCUSIÓN

El presente trabajo modeló la distribución potencial del guanaco a una escala local utilizando algoritmos habitualmente utilizados en la modelación de la distribución nacional de la especie o en amplias zonas geográficas (Travaini y otros, 2007; Pedrana y otros, 2010; González y otros, 2013; Castillo y otros, 2018). Lo anterior permitió definir áreas potencialmente aptas para la ocupación de la especie en la Región Metropolitana y el establecimiento de grupos permanentes de guanaco, al menos en períodos reproductivos, producto de una recolonización pasiva de la cordillera en la zona. Dada la ocupación supra-predial que podría hacer el guanaco, se plantean diferentes herramientas de aplicación territorial que permitirían proteger el hábitat de la especie.

Random Forest y MaxEnt fueron los modelos que mayor contribución al ensamble realizaron por su alto valor AUC. Ambos poseen un alto poder predictivo ( $AUC > 95\%$ ) (Swets, 1988), lo que le da un mayor peso a la hora de definir una distribución de la especie en el modelo ensamblado. Esto se refleja en la distribución espacial potencial y en el tamaño de los sitios para las probabilidades de ocurrencia media-baja y media-alta. Esto implica que los modelos realizaron estimaciones relativamente conservadoras de la calidad del hábitat (entiéndase como probabilidad de ocurrencia de la especie), pero no así de la superficie de los sitios que son relativamente extensos. Por otro lado, tanto GLM como BioClim fueron aún más conservadores en la predicción de las probabilidades de ocurrencias y en la extensión de los sitios, lo que posiblemente condicionó la inexistencia áreas de probabilidad de ocurrencia alta en el ensamble final. Los resultados conservadores de BioClim pueden explicarse por la naturaleza del propio algoritmo, pues a diferencia de los modelos de *Machine Learning* que utilizan múltiples árboles de regresión aleatorios (Random Forest), o que maximizan la entropía (MaxEnt), BioClim solo extrapola la distribución potencial en función de las variables ambientales ligadas a datos de ocurrencia real (Varela y otros, 2014). Pese a ello, el ensamble de modelos permite reducir las incertidumbres predictivas, sobre todo aquellas relacionadas con la validez estadística de los resultados, minimizando, por ejemplo, los errores por falsos negativos o falsos positivos (Thuiller, 2004; Araújo y otros, 2005; Araújo & New, 2007; Grenouillet y otros, 2011), lo que permite corregir la sobrestimación o subestimación de superficies de aquellos modelos que escapan de la predicción promedio (Marmion y otros, 2009). El resultado del ensamble, por lo tanto, podría considerarse conservador, pues combina diferentes modelos que, integrados de forma ponderada, tiende a reducir las sobrestimaciones de la calidad y de la extensión del hábitat probable de la especie. Esto resulta útil cuando se

dispone de un número reducido de ocurrencias o cuando estas se encuentran próximas entre sí.

La proximidad a los caminos (en Random Forest) y la pendiente (en MaxEnt) son dos de las variables que más contribuyen a la modelación de la distribución probable de la especie. Esto se explica por la naturaleza de la especie, fuertemente susceptible a estímulos perturbadores como el tránsito de vehículos (Taraborelli y otros, 2014) y a su preferencia por ambientes escarpados y de pendientes abruptas (Baldi y otros, 1997). Pese a ello, esto difiere de lo reportado por otros trabajos, lo que podría deberse a diferencias en la escala del análisis. A una escala espacial mayor (González y otros, 2013), las variables que más contribuyen a la explicación del modelo fueron la precipitación acumulada anual y el promedio de las temperaturas mínimas anuales. Cuando las dimensiones geográficas del estudio son extensas, (como lo expuesto por González, Samaniego, Marín, & Estados, 2013), basta con un reducido número de variables bioclimática para explicar atributos tales como la distribución de una población. Por el contrario, cuando la escala geográficas a considerar son reducidas (como en este trabajo), se requiere de un mayor número de variables, como las topográficas o antrópicas, que expliquen con mayor precisión el mismo tipo de respuesta (Willis & Whittaker, 2002; Pearson & Dawson, 2003; Gillespie y otros, 2008). De esta forma, los aportes de cada variable a los modelos cobra una relevancia diferencial en virtud de la escala sobre la cual se realiza el estudio.

Las áreas con mayor potencial para albergar poblaciones de guanaco (sitios de ocurrencia de probabilidad media baja y media alta) se sitúan en espacios cordilleranos y precordilleranos. Por lo general, estos espacios se encuentran libres de vegetación, aunque también sobre pisos vegetacionales de baja cobertura, tales como matorrales bajos mediterráneos andinos de *Chuquiraga oppositifolia* - *Nardophyllum lanatum* y *Laretia acaulis* - *Berberis empetrifolia* y herbazales mediterráneos andinos de *Nastanthus spathulatus* - *Menonvillea spathulata* (Luebert & Pliscoff, 2018). Esto concuerda con las preferencias de hábitat de la especie por ambientes abiertos o semiabiertos (González y otros, 2013), lo que da mayor consistencia a los resultados expuestos por el modelo ensamblado.

Los sitios de ocurrencia probable coinciden en su mayoría con áreas protegidas públicas o privadas. Cinco están representadas en un porcentaje considerable por un área protegida, siendo el sitio mejor representado el de Sierra de Ramón con un 55,2%. Por otro lado, el sitio de ocurrencia probable con menor representación es el de El Arrayán con un 12,9%. El resto de

los sitios de ocurrencia probable se ven representados en un 16,9% para el caso de Río Clarillo, un 31,8% para el Pedernal y un 52,3% para Río Olivares respectivamente (Tabla 4). Lo anterior genera un alto potencial de recolonización futura de la especie en las zonas cordilleranas de la Región Metropolitana. Estos antecedentes permiten considerar la posibilidad de que estas mismas áreas protegidas puedan actuar como sumideros o sitios de tránsito para subpoblaciones o fracciones de poblaciones más grande, provenientes de sitios fuente ya establecidos. Esto plantea el desafío de estudiar la conectividad entre estas zonas, que contemplen nodos de fuente, como el sitio Cruz de Piedra, y nodos de sumideros, como el resto de los sitios de ocurrencia probable. Lo anterior permitiría complementar los antecedentes aquí expuestos, para la elaboración de propuestas concretas de conservación de la especie en la región (Anantharaman y otros, 2019).

Tanto la zona del predio Cruz de Piedra y la del Río Colorado carecen de representatividad en áreas protegidas por el estado. Esto los convierte en sitios de interés prioritario para la conservación del hábitat del guanaco, aún más teniendo en consideración el hecho de que en las inmediaciones de estos sitios se han registrado observaciones de la especie (González, 2013). De manera particular, el predio Cruz de Piedra posee una población relativamente estable de entre 100 y 150 animales durante el período reproductivo, pudiendo ascender hasta aproximadamente 300 en algunas ocasiones (González BA, com.pers.)

Los instrumentos analizados buscan proteger el hábitat potencial del guanaco para facilitar una ocupación pasiva de la especie en la región. En vista de esto, resulta significativo considerar el establecimiento de áreas protegidas en los sitios de ocurrencia probable Cruz de Piedra y Río Colorado. Para ello, se presentaron cuatro instrumentos de conservación pasiva, dos de carácter público (Santuario de la Naturaleza y Planificación Territorial) y dos de carácter privado (Comodato y Usufructo), los cuales han de tener ventajas y desventajas, tanto para los fines propios de la conservación de los sitios de ocurrencia probable, como para los propietarios de los terrenos involucrados. Por un lado, la constitución de un Santuario de la Naturaleza está supeditada tanto a la voluntad de los propietarios del terreno, como también a la aprobación del Consejo de Monumentos Nacionales. Por ende, su formalización requiere de un acuerdo entre privados y el estado. Esto podría limitar la agilidad con la cual pueda establecerse un área de este tipo. Pese a ello, su establecimiento dotaría de máximo reconocimiento legal al sitio, restringiendo todo tipo de actividad en superficie ligada a la construcción, excavación, pesca, caza, explotación rural o cualquier otra que pueda alterar el estado natural del área en cuestión, garantizando legalmente la conservación del hábitat para las poblaciones de guanaco.

Actualmente, existen experiencias como la de los santuarios de San Francisco de Lagunillas y Quillayal y Cascada de las Ánimas, que han tenido un impacto positivo en la conservación del paisaje y los ecosistemas cordilleranos (Consejo de Monumentos Nacionales, 2010). Además, se han reportado iniciativas experimentales, que han buscado reintroducir individuos de guanaco en sitios como el Santuario de la Naturaleza Cascada de las Ánimas (Guerrero-Gatica & Root-Bernstein, 2019), las que, pese a sus limitaciones, han llamado la atención de la opinión pública sobre la importancia de espacios de conservación para la especie. Del mismo modo, la regulación de otras actividades, como la ganadería, podría favorecer la permanencia de grupos de guanaco durante los periodos de invernada y veranada, aportando con nuevos espacios seguros para el desplazamiento de grupos de guanaco. Esto resulta clave para el establecimiento de poblaciones permanentes, al garantizar la protección de las vías que utiliza la especie durante sus migraciones estacionales (Novaro, 2010; Espinosa y otros, 2018).

Los instrumentos de planificación territorial están supeditados tanto a las voluntades de los propietarios, como a la voluntad de la secretaría regional del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, los Municipios involucrados y el Gobierno Regional. Esto, al igual que el caso anterior, podría limitar la agilidad con la cual puedan realizarse cambios en el uso del suelo en la región. Además, los cambios que se puedan realizar en cuanto a la planificación del territorio no garantizan la protección legal del sitio en cuestión, sino que más bien, solo restringen las actividades que se puedan desarrollar en el mismo. Por ello, el reconocimiento del espacio como un área restringida o excluida del desarrollo urbano podría cambiar el uso del suelo, rotando desde la ganadería a la de un área de valor natural, limitando este tipo de actividades, y promoviendo otras que impacten mínimamente en el paisaje, como las científicas, las educativas, o las turísticas. Bajo este cambio, resulta imprescindible restringir cualquier otro tipo de actividad permanente que pueda afectar las poblaciones de guanaco. Diferentes estudios han demostrado el impacto negativo que tienen las actividades mineras o ganadera en las poblaciones de guanaco (Baldi y otros, 2001; Burgi y otros, 2012; Wursten y otros, 2014; Moraga y otros, 2015). Tanto la destrucción del hábitat como la contaminación de las aguas, en el caso de la minería, y la competencia interespecífica, en el caso de la ganadería, podrían ser importantes factores limitantes en el establecimiento permanente de poblaciones de guanaco en la región. Esto permitiría a los propietarios desarrollar actividades de bajo o mediano impacto, en el sitio o en partes de este, durante los periodos en que estos no son transitados por poblaciones de guanaco.

Finalmente, los instrumentos privados como el comodato o el usufructo permiten a los



propietarios establecer áreas de conservación privadas sin depender de una autoridad estatal. Esto les da mayores libertades a los propietarios para mantener la posesión y/o administración de sus terrenos. A nivel local, áreas protegidas privadas como la Hacienda el Durazno, en la región de Coquimbo, han aportado a la recuperación y rehabilitación de individuos de guanaco (Fundación Llampangui, 2022), mientras que a nivel internacional la Reserva Natural Privada Villavicencio, en la provincia de Mendoza, Argentina, ha logrado proteger una población silvestre en su interior (Puig S. y otros, 2009). Esto da cuenta de la potencialidad que pueden tener las acciones de privados tanto para la conservación de la especie como para la restauración de poblaciones silvestres.

En vista de lo anterior, resulta importante señalar que una acción conjunta y coordinada, entre privados y el estado, podría garantizar la conservación del hábitat propuesto para la especie en la región. Esto a través de un sistema o red de áreas protegidas público-privadas, que garantice tanto la conservación de los sitios potencialmente habitables como también las posibles rutas que conecten a cada uno de estos sitios, en un gradiente altitudinal que permita el movimiento libre de grupos durante los periodos de invernada y veranada.

## 6. CONCLUSIÓN

Para finalizar, resulta importante destacar que se determinó la distribución potencial del guanaco en la cordillera y precordillera de la región Metropolitana, así como también de las variables ambientales que más aportaron en la estimación de esta distribución. Las variables del tipo topográficas y antrópicas contribuyeron en mayor proporción debido a la escala con la cual se hizo la predicción, con contribuciones porcentuales aproximadas que van de entre un 10% a un 17% de aporte al modelo.

El ensamble de los diferentes modelos de distribución, Random Forest, MaxEnt, GLM y Bioclim, permitió generar un mapa de distribución probable con el cual pueden identificarse siete áreas potencialmente habitables por la especie en la zona cordillerana de la Región Metropolitana: El Arrayán, Sierra de Ramón, Río Olivares, El Pedernal, Río Clarillo, Cruz de Piedra y Río Colorado. La caracterización de estas siete áreas en función de la probabilidad de ocurrencia de la especie, la agregación de píxeles de calidad media-baja y media-alta y la continuidad de estos sitios, permitió obtener 220.963 hectáreas de superficie idónea para la especie. Estas áreas de ocurrencia probable son definidas como sitios prioritarios para la conservación del guanaco en Región Metropolitana, en virtud de facilitar el establecimiento permanente de poblaciones de la especie, al menos durante el período reproductivo, principal momento en que se colectaron los datos para la construcción de los modelos. Lo anterior deja abierta la posibilidad de que más áreas sean incluidas si se incluye un mayor número de registros en período no reproductivo (otoño, invierno y parte de la primavera).

Los instrumentos de conservación de tipo público, como los Santuario de la Naturaleza y la Planificación Territorial, y privado, como el Comodato y el Usufructo, que se analizaron en el presente trabajo, podrían actuar de manera conjunta y coordinada para preservar espacios propicios para las poblaciones de guanaco, como los sitios de veranada y potencialmente de invernada, y de zonas entre sitios que favorezcan la expansión poblacional de la especie en Región Metropolitana.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez-Cárdenas, S., Galina-Tessaro, P., Díaz-Castro, S., Guerrero-Cárdenas, I., Castellanos-Vera, A., & Mesa-Zavala, E. (2009). Evaluación de elementos estructurales del hábitat del borrego cimarrón en la Sierra del Mechudo, Baja California Sur, México. *Tropical Conservation Science*, 2, 189-203.
- Anantharaman, R., Hall, K., Shah, V., & Edelman, A. (2019). Circuitscape in Julia: High performance connectivity modelling to support conservation decisions. *arXiv preprint arXiv*, 1906.03542.
- Apollonio, M., Belkin, V. V., Borkowski, J., & et al. (2017). Challenges and science-based implications for modern management and conservation of European ungulate populations. *Mammal Research*, 62, 209–217.
- Araújo, M. B., & New, M. (2007). Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology & Evolution*, 22, 42-47.
- Araújo, M. B., Whittaker, R. J., Ladle, R. J., & Erhard, M. (2005). Reducing uncertainty in projections of extinction risk from climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 14, 529-53.
- Arrondo, E., Morales-Reyes, Z., Moleón, M., Cortés-Avizanda, A., Donázar, J. A., & Sánchez-Zapata, J. A. (2019). Rewilding traditional grazing areas affects scavenger assemblages and carcass consumption patterns. *Basic and Applied Ecology*, 41, 56-66.
- ASÍ Conserva Chile, & Fundación Tierra Austral. (2020). *Estándares para la conservación privada en Chile*. Santiago, Chile: ASÍ Conserva Chile A.G.
- Austra, A. C. (2020). *Estándares para la conservación privada en Chile*. Santiago de Chile: ASÍ Conserva Chile A.G.
- Baldi, R. B., Acebes, P., Cuéllar, E., Funes, M., Hoces, D., Puig, S., & Franklin, W. L. (2016). Lama guanicoe, Guanaco. *The IUCN Red List of Threatened Species 2016*. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T11186A18540211.en>
- Baldi, R., Albon, S., & Elston, D. (2001). Guanacos and sheep: evidence for continuing competition in arid Patagonia. *Oecologia*, 129, 561–570.

- Baldi, R., Campagna, C., & Saba, S. (1997). Abundancia y distribución del guanaco (*Lama guanicoe*) en el NE del Chubut, Patagonia Argentina. *Mastozoología Neotropical*, 1(4), 5-15.
- Baldi, R., De Lamo, D. A., Failla, M., Ferrando, P., Funes, M. C., Nugent, P., . . . von Thüngen, J. (2006). *Plan Nacional de Manejo del Guanaco (Lama guanicoe)*. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, República Argentina.
- Baldi, R., Novaro, A. J., Funes, M. C., Walker, S. R., Ferrando, P., Failla, M., & Carmanchahi, P. (2010). Guanaco management in Patagonian rangelands: a conservation opportunity on the brink of collapse. En J. du Toit, R. Kock, & J. Deutsch (Edits.), *Wild Rangelands. Conserving Wildlife while Maintaining Livestock in Semi-arid Ecosystems* (págs. 266–290). Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Bates, J. M., & Granger, C. W. (1969). The Combination of Forecasts. *OR*, 20(4), 451-468.
- Belda, A., Oltra-Crespo, S., Miró-Martínez, P., & Zaragoza, B. (2020). Can spatial distribution of ungulates be predicted by modeling camera trap data related to landscape indices? A case study in a fragmented Mediterranean landscape. *Caldasia*, 42(1), 1015446/caldasia.v42n176384.
- Berger, J. (2004). The Last Mile: How to Sustain Long-Distance Migration in Mammals. *Conservation Biology*, 18, 320-331.
- Bolger, D. T., Newmark, W. D., Morrison, T. A., & Doak, D. F. (2008). The need for integrative approaches to understand and conserve migratory ungulates. *Ecology Letters*, 11, 63-77.
- Bradie, J., & Leung, B. (2017). A quantitative synthesis of the importance of variables used in MaxEnt species distribution models. *Journal of Biogeography*, 44, 1344-1361.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.
- Burgi, M., Marino, A., Rodríguez, M., Pazos, G., & Baldi, R. (2012). Response of guanacos *Lama guanicoe* to changes in land management in Península Valdés, Argentine Patagonia: Conservation implications. *Oryx*, 46(1), 99-105.
- Busby, J. R. (1986). *Bioclimate Prediction System (BIOCLIM). User's Manual Version 2.0*. Canberra, Australia: Australian Biological Resources, Study Leaflet.

- Castillo, A. G., Alo, D., González, B. A., & Samaniego, H. (2018). Change of niche in guanaco (*Lama guanicoe*): the effects of climate change on habitat suitability and lineage conservatism in Chile. *PeerJ(PeerJ)*, e4907.
- Ceballos, G., & Ehrlich, P. R. (2002). Mammal Population Losses and the Extinction Crisis. *Science*, 296, 904-907.
- CODEFF. (1999). *Las áreas silvestres protegidas privadas en Chile. Una herramienta para la conservación*. Recuperado el 1 de Junio de 2021, de <http://metadatos.mma.gob.cl/sinia/L2520MAL.pdf>
- CONAF. (2021). *Parque Nacional Río Clarillo*. Recuperado el 20 de Junio de 2021, de <https://www.conaf.cl/parques/parque-nacional-rio-clarillo/>
- Consejo de Monumentos Nacionales. (2010). *Santuarios de la Naturaleza de Chile*. Santiago, Chile: Consejo de Monumentos Nacionales.
- Consejo de Monumentos Nacionales. (2021). *Predio Cascada de Las Ánimas*. Recuperado el 20 de Junio de 2021, de <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/santuarios-de-la-naturaleza/predio-cascada-animas>
- Cutler, D. R., Edwards, T. C., Beard, K. H., Cutler, A., Hess, K. T., Gibson, J., & Lawler, J. J. (2007). Random forests for classification in ecology. *Ecology*, 88, 2783–2792.
- De la Paz Mellado, V. (2020). *Procedimiento de aprobación de Planes Reguladores Intercomunales. Revisión de las modificaciones vigentes*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Recuperado el 20 de 6 de 2021, de [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/29216/1/BCN\\_\\_procedimientos\\_\\_planes\\_intercomunales\\_\\_definitivo.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/29216/1/BCN__procedimientos__planes_intercomunales__definitivo.pdf)
- De Marco, P. J., & Nóbrega, C. C. (2018). Evaluating collinearity effects on species distribution models: An approach based on virtual species simulation. *Plos One*, 13(9), e0202403. Obtenido de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202403>
- Decreto exento N°1293. (2010). *Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, 18 de enero de 2011*.
- Decreto N° 30. (2019). *Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, 17 de diciembre de*

2020.

Decreto N° 480. (1995). *Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, 29 de agosto de 1995.*

Decreto N° 775. (2008). *Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, 26 de abril de 2008.*

Decreto N° 937. (1973). *Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, 28 de agosto de 1973.*

Decreto Supremo N° 726. (1973). *Diario Oficial de la República de Chile.*

Donadio, E., & Buskirk, S. W. (2006). Flight behavior in guanacos and vicuñas in areas with and without poaching in western Argentina. *Biological Conservation, 127*(2), 139-145.

Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., & et al. (2013). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography, 36*, 027-046.

Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., & et al. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography, 29*, 129-151.

Elschot, K., Bakker, J. P., Temmerman, S., van de Koppel, J., & Bouma, T. J. (2015). Ecosystem engineering by large grazers enhances carbon stocks in a tidal salt marsh. *Marine Ecology Progress Series, 537*, 9-21.

Espinosa, M. I., Gouin, N., Squeo, F. A., López, D., & Bertin, A. (2018). Landscape connectivity among remnant populations of guanaco (*Lama guanicoe* Müller, 1776) in an arid region of Chile impacted by global change. *PeerJ, 6*, e4429.

Flores, C. E., Cingolani, A. M., von Müller, A., & Barri, F. R. (2012). Habitat selection by reintroduced guanacos (*Lama guanicoe*) in a heterogeneous mountain rangeland of central Argentina. *The Rangeland Journal, 34*(4), 439-445.

Frank, D. A., & Evans, R. D. (1997). Effects of native grazers on grassland N cycling in Yellowstone National Park. *Ecology, 78*(7), 2238-2248.

Franklin, J. (2010). *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*. Cambridge: Cambridge University Press.

Franklin, W. L. (1983). Contrasting socioecologies of South America's camelids: the Vicugna

and Guanaco. En J. F. Eisenberg, & D. Kleiman (Edits.), *Advances in the Study of Mammalian Behavior* (Vol. 7, págs. 573–629). Special Publication American Society of Mammalogists.

Franklin, W. L., Bas, F., Bonacic, C. F., Cunazza, C., & Soto, N. (1997). Striving to Manage Patagonia Guanacos for Sustained Use in the Grazing Agroecosystems of Southern Chile. *Wildlife Society Bulletin*, 25(1), 65-73.

Freeman, E. A., Moisen, G. G., Coulston, J. W., & Wilson, B. T. (2016). Random forests and stochastic gradient boosting for predicting tree canopy cover: comparing tuning processes and model performance. *Canadian Journal of Forest Research*, 46(3), 323-339.

Fryxell, J. M., & Sinclair, A. R. (1988). Causes and consequences of migration by large herbivores. *Trends in Ecology & Evolution*, 3, 237-241.

Fundacion Llampangui. (22 de Enero de 2022). *Fundacion Llampangui*. Obtenido de Parque Hacienda El Durazno: <https://fundacionllampangui.cl/parque-hacienda-el-durazno/>

Fynn, R. W., Augustine, D. J., & Fuhlendorf, S. D. (2019). Managing Browsing and Grazing Ungulates. En I. Gordon, & H. Prins, *The Ecology of Browsing and Grazing II. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)* (Vol. 239). Cham: Springer.

Gabay, O., Perevolotsky, A., & Shachak, M. (2008). Landscape mosaics for enhancing biodiversity. On what scale and how to maintain it? *Options Méditerranéennes*, 79, 45-49.

Gaillard, J. M., Hewison, A. J., Kjellander, P., Pettorelli, N., Bonenfant, C., Van Moorter, B., . . . Vanpé, C. (2008). Population density and sex do not influence fine-scale natal dispersal in roe deer. *Proceedings of the Royal Society B*, 275, 2025–2030.

Gallina, S., & Mandujano, S. (2009). Research on ecology, conservation and management of wild ungulates in Mexico. *Tropical Conservation Science*, 2(2), 116-127.

Gibbs, J. W. (1902). *Elementary Principles of Statistical Mechanics*. Cambridge, Estados Unidos: Cambridge University Press. Obtenido de <https://www.gutenberg.org/ebooks/50992>

- Gill, R. M., & Beardall, V. (2001). The impact of deer on woodlands: The effects of browsing and seed dispersal on vegetation structure and composition. *Forestry*, 74(3), 209-218.
- Gillespie, T., Foody, G., Rocchini, D., Giorgi, A. P., & Saatchi, S. (2008). Measuring and modeling biodiversity from space. Progress in Physical Geography. *Progress in Physical Geography*, 32(2), 203-221.
- Glade, A. A. (1993). *Libro rojo de los vertebrados terrestres de Chile* (Segunda ed.). Santiago, Chile: CONAF.
- González, B. A. (2013). ¿El guanaco está de vuelta? *Dedal Oro*, 63, 34–35.
- González, B. A. (2014). ¿Qué problemas de conservación tienen las poblaciones de guanaco en Chile ? *Ambiente Forestal*, 9, 28-38.
- González, B. A., Palma, R. E., Zapata, B., & Marín, J. C. (2006). Taxonomic and biogeographical status of guanaco *Lama guanicoe* (Artiodactyla, Camelidae). *Mammal Review*, 36(2), 157-178.
- González, B. A., Samaniego, H., Marín, J. C., & Estades, C. F. (2013). Unveiling Current Guanaco Distribution in Chile Based upon Niche Structure of Phylogeographic Lineages: Andean Puna to Subpolar Forests. *Plos One*, 8(11), e78894.
- Greenwood, P. J. (1980). Mating systems, philopatry and dispersal in birds and mammals. *Animal Behaviour*, 28, 1140-1162.
- Grenouillet, G., Buisson, L., Lek, S., & Casajus, N. (2011). Ensemble modelling of species distribution: The effects of geographical and environmental ranges. *Ecography*, 34(1), 9-17.
- Guerrero-Gatica, M., & Root-Bernstein, M. (2019). Challenges and limitations for scaling up to a rewilding project: scientific knowledge, best practice, and risk. *Biodiversity*, 20, 132-138.
- Hirzel, A. H., & Le Lay, G. (2008). Habitat suitability modelling and niche theory. *Journal of Applied Ecology*, 45, 1372-1381.
- Hobbie, S. E., & Villéger, S. (2015). Interactive effects of plants, decomposers, herbivores, and predators on nutrient cycling. En *Trophic Ecology* (págs. 233-259). Cambridge University



Press.

Hobbs, N. T. (1996). Modification of Ecosystems by Ungulates. *The Journal of Wildlife Management*, 60(4), 695-713.

Iranzo, E. C., Acebes, P., Estades, C., González, B. A., Mata, C., Malo, J. E., & Traba, J. (2018). Diffusive dispersal in a growing ungulate population: guanaco expansion beyond the limits of protected areas. *Mammal Research*, 63(2), 185-196.

Jones, C. G., Lawton, J. H., & Shachak, M. (1994). Organisms as Ecosystem Engineers. *Ecosystem Management*, 130-147.

Jung, T. S. (2017). Extralimital movements of reintroduced bison (*Bison bison*): implications for potential range expansion and human-wildlife conflict. *European Journal of Wildlife Research*, 63(35).

Kauffman, M. J., Aikens, E. O., Esmaeili, S., Kaczensky, P., Middleton, A., Monteith, K. L., . . . Goheen, J. R. (2021). Causes, Consequences, and Conservation of Ungulate Migration. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 52, 453-478.

Kowalczyk, R., Krasińska, M., Kamiński, T., Górny, M., Struś, P., Hofman-Kamińska, E., & Krasiński, Z. A. (2013). Movements of European bison (*Bison bonasus*) beyond the Białowieża Forest (NE Poland): range expansion or partial migrations? *Acta Theriologica*, 58, 391-401.

Kramer, K., Groen, T. A., & van Wieren, S. E. (2003). The interacting effects of ungulates and fire on forest dynamics: an analysis using the model FORSPACE. *Forest Ecology and Management*, 181, 205-222.

Krausman, P. R., & Bleich, V. C. (2013). Conservation and management of ungulates in North America. *International Journal of Environmental Studies*, 70(3), 372-382.

Kung-Yee, L., & Zeger, S. L. (1986). Longitudinal Data Analysis Using Generalized Linear Models. *Biometrika*, 73(1), 13–22.

Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., & Neter, J. (2004). *Applied Linear Regression Models* (Cuarta ed.). McGraw-Hill Irwin.

- Liaw, A., & Wiener, M. (2002). Classification and Regression by randomForest. *R News*, 2(3), 18-22.
- Linnell, J. D., Cretois, B., Nilsen, E., Rolandsen, C., Solberg, E., Veiberg, V., . . . Kaltenborn, B. (2020). The challenges and opportunities of coexisting with wild ungulates in the human-dominated landscapes of Europe's Anthropocene. *Biological Conservation*, 244, 108500.
- Linnell, J., & Zachos, F. (2011). Status and distribution patterns of European ungulates: Genetics, population history and conservation. En R. Putman, M. Apollonio, & R. Andersen (Edits.), *Ungulate Management in Europe: Problems and Practices* (págs. 12-53). Cambridge: Cambridge University Press.
- Luebert, F., & Pliscoff, P. (2018). *Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile* (2da ed.). Santiago, Chile: Universitaria.
- Malo, J. E., & Suárez, F. (1995). Herbivorous mammals as seed dispersers in a Mediterranean dehesa. *Oecologia*, 104, 246-255.
- Marmion, M., Parviainen, M., Luoto, M., Heikkinen, R. K., & Thuiller, W. (2009). Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Diversity and Distributions*, 15, 59-69.
- Marquardt, D. W. (1970). Generalized Inverses, Ridge Regression, Biased Linear Estimation, and Nonlinear Estimation. *Technometrics*, 12(3), 591-612.
- Martin-Díaz, P., Cortés-Avizanda, A., Serrano, D., Arrondo, E., Sánchez-Zapata, J. A., & Donázar, J. A. (2020). Rewilding processes shape the use of Mediterranean landscapes by an avian top scavenger. *Scientific Reports*, 10(1), 1-12.
- Mason, R. L., Gunst, R. F., & Hess, J. L. (1989). *Statistical Design and Analysis of Experiments: With Applications to Engineering and Science*. New York: Wiley.
- MBN. (2021). *Portal de Patrimonio*. Recuperado el 20 de Junio de 2021, de <http://patrimonio.bienes.cl/patrimonio/rio-olivares/>
- McNaughton, S. J. (1994). Biodiversity and Function of Grazing Ecosystems. *Biodiversity and Ecosystem Function*, 361-383.

- Mi, C., Huettmann, F., & Guo, Y. (2014). Obtaining the best possible predictions of habitat selection for wintering Great Bustards in Cangzhou, Hebei Province with rapid machine learning analysis. *Chinese Science Bulletin*, 59, 4323-4331.
- MINVU. (2015). *Ordenanza Plan Regulador Metropolitano de Santiago*. Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- MMA. (2020). *Reglamento para Clasificar Especies según Estado de Conservación*. Ministerio del Medio Ambiente. Recuperado el 20 de Marzo de 2021, de <https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/>
- Mohr, D., Cohnstaedt, L., & Topp, W. (2005). Wild Boar and Red Deer Affect Soil Nutrients and Soil Biota in Steep Oak Stands of the Eifel. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(4), 693-700.
- Moraga, C., Funes, M., Pizarro, J., Briceño, C., & Novaro, A. (2015). Effects of livestock on guanaco *Lama guanicoe* density, movements and habitat selection in a forest–grassland mosaic in Tierra del Fuego, Chile. *Oryx*, 49(1), 30-41.
- Mueller, T., Olson, K. A., Dressler, G., Leimgruber, P., Fuller, T. K., Nicolson, C., . . . Fagan, W. F. (2011). How landscape dynamics link individual- to population-level movement patterns: a multispecies comparison of ungulate relocation data. *Global Ecology and Biogeography*, 20, 683-694.
- Muñoz, J., & Felicísimo, A. M. (2004). Comparison of statistical methods commonly used in predictive modelling. *Journal of Vegetation Science*, 15, 285-292.
- Muñoz-Schick, M., Moreira-Muñoz, A., & Villagrán, C. (2000). Caracterización florística y pisos de vegetación en los Andes de Santiago, Chile Central. *Boletín del museo nacional de historia natural*, 49, 9-50.
- Naranjo, E. J. (2009). Ecology and Conservation of Baird's Tapir in Mexico. *Tropical Conservation Science*, 2, 140–158.
- Niemeyer, H. M., Bustamante, R. O., Simonetti, J. A., Teillier, S., Fuentes-Contreras, E., & Mella, J. E. (2002). *Historia Natural de la Reserva Nacional Río Clarillo: Un Espacio para Aprender*. Santiago, Chile: Impresos Sociales.

- Novaro, A. S. (2010). Restoration of the Guanaco, Icon of Patagonia. En K. H. Redford , E. Fearn, C. Grippo, S. Alcosser, & K. Kostel, *State of the Wild 2010-2011: a global portrait*. Washington, D.C: Island Press.
- Pearson, R., & Dawson, T. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: Are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12, 361-371.
- Pedrana, J., Bustamante, J., Travaini, A., & Rodríguez, A. (2010). Factors influencing guanaco distribution in southern Argentine Patagonia and implications for its sustainable use. *Biodiversity and Conservation*, 19(12), 3499-3512.
- Pedrana2, J., Bustamante, J., Travaini, A., & Rodríguez, A. (2010). Factors influencing guanaco distribution in southern Argentine Patagonia and implications for its sustainable use. *Biodiversity and Conservation*(19), 3499–3512.
- Perea, R., Delibes, M., Polko, M., Suárez-Esteban, A., & Fedriani, J. M. (2013). Context-dependent fruit–frugivore interactions: partner identities and spatio-temporal variations. *Oikos*, 122, 943-951.
- Pereira, H. M., & Navarro, L. M. (2015). *Rewilding european landscapes*. Springer Nature.
- Peterson, A. T., Papeş, M., & Eaton, M. (2007). Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. *Ecography*, 30, 550-560.
- Phillips, S. J. (2017). *A Brief Tutorial on Maxent*. Recuperado el 20 de 06 de 2021, de [http://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/)
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231-259.
- Planella, M. T., Scherson, R., & McRostie, V. (2011). Sitio El Plomo y nuevos registros de cultígenos iniciales en cazadores del Arcaico IV en Alto Maipo, Chile Central. *Chungara*, 43(2), 189-202.
- Pliscoff, P., & Fuentes-Castillo, T. (2011). Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, 48, 61-79.

- Pliscoff, P., Luebert, F., Hilger, H. H., & Guisan, A. (2014). Effects of alternative sets of climatic predictors on species distribution models and associated estimates of extinction risk: A test with plants in an arid environment. *Ecological Modelling*, 288, 166-177.
- Plumb, G. E., White, P. J., Coughenour, M. B., & Wallen, R. L. (2009). Carrying capacity, migration, and dispersal in Yellowstone bison. *Biological Conservation*, 142, 2377-2387.
- Prasad, A. M., Iverson, L. R., & Liaw, A. (2006). Newer Classification and Regression Tree Techniques: Bagging and Random Forests for Ecological Prediction. *Ecosystems*, 9, 181-199.
- Probst, P., Wright, M. N., & Boulesteix, A.-L. (2019). Hyperparameters and tuning strategies for random forest. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining*, 9(3), e1301.
- Puig, S. (1995). Abundancia y distribución de las poblaciones de guanacos. En UICN, & S. Puig (Ed.), *Técnicas para el Manejo del Guanaco* (págs. 57-70).
- Puig, S., Rosi, M. I., Videla, F., & Mendez, E. (2011). Summer and winter diet of the guanaco and food availability for a High Andean migratory population (Mendoza, Argentina). *Mammalian Biology*, 76, 727–734.
- Puig, S., Rosi, M. I., Videla, F., & Mendez, E. (2014). Food selection by the guanaco (*Lama guanicoe*) along an altitudinal gradient in the Southern Andean Precordillera (Argentina). *Acta Theriol*, 59, 541–551.
- Puig, S., Videla, F., Cona, M. I., & Roig, V. G. (2008). Habitat use by guanacos (*Lama guanicoe*, Camelidae) in northern Patagonia (Mendoza, Argentina). *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 43(1), 1-9.
- Puig, S., Videla, F., Martínez Carretero, E., Dalmaso, A., Durán, V., V, C., . . . Moreno, D. (2009). *Plan de Manejo para la Reserva Villavicencio*.
- Reyna-Hurtado, R. (2009). Conservation Status of the White-Lipped Peccary ( *Tayassu pecari* ) Outside the Calakmul Biosphere Reserve in Campeche, Mexico: A Synthesis. *Tropical Conservation Science*, 2, 159–172.
- Ruggiero, A. (1994). Latitudinal correlates of the sizes of mammalian geographical ranges in South America. *Journal of Biogeography*, 21(5), 545-559.

- San Miguel, A., Roig, S., & Perea, R. (2016). The pastures of Spain. *Pastos*, 46, 6-39.
- Santuario Lagunillas. (2021). *Sitio Web del Santuario Lagunillas*. Recuperado el 20 de Junio de 2021, de <http://www.santuariolagunillas.org/mision/>
- Sarno, R. J., Bank, M. S., Stern, H. S., & Franklin, W. L. (2003). Forced dispersal of juvenile guanacos (*Lama guanicoe*): causes, variation, and fates of individuals dispersing at different times. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 54, 22–29.
- Sawyer, H., Kauffman, M. J., Middleton, A. D., Morrison, T. A., Nielson, R. M., & Wyckoff, T. B. (2013). A framework for understanding semi-permeable barrier effects on migratory ungulates. *Journal of Applied Ecology*, 50, 68-78.
- Sawyer, H., Kauffman, M. J., Nielson, R. M., & Horne, J. S. (2009). Identifying and prioritizing migration routes for landscape-level conservation. *Ecological Applications*, 19(8), 2016-25.
- Sawyer, H., LeBeau, C. W., McDonald, T. L., Xu, W., & Middleton, A. D. (2019). All routes are not created equal: An ungulate's choice of migration route can influence its survival. *Journal of Applied Ecology*, 56, 1860– 1869.
- Servicio Agrícola y Ganadero. (2015). *La Ley de Caza y su Reglamento*. Servicio Agrícola y Ganadero, División de Protección de los Recursos Naturales Renovables. Recuperado el 20 de Marzo de 2021, de [https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/ley\\_de\\_caza\\_y\\_su\\_reglamento\\_2015.pdf](https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/ley_de_caza_y_su_reglamento_2015.pdf)
- SII. (2021). *Cartografía digital SII Mapas*. Recuperado el 20 de Junio de 2021, de <https://www4.sii.cl/mapasui/internet/#/contenido/index.html>
- Skogland, T. (1991). What Are the Effects of Predators on Large Ungulate Populations? *Oikos*, 61(3), 401–411.
- Smit, C., & Putman, R. (2011). Large herbivores as environmental engineers. En R. Putman, M. Apollonio, & R. Andersen, *Ungulate management in Europe: problems and practices* (págs. 260-283). Cambridge: Cambridge University Press.
- Soler, R. M., Pastur, G. M., Lencinas, M. V., & Borrelli, L. (2013). Seasonal diet of *Lama guanicoe* (Camelidae: Artiodactyla) in a heterogeneous landscape of South Patagonia.

- Bosque*, 34(2), 129-141.
- Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285-1293.
- Taraborelli, P., Ovejero, R., & Mosca Torres, M. E. (2014). Different factors that modify anti-predator behaviour in guanacos (*Lama guanicoe*). *Acta Theriol*(59), 529–539.
- Tejeda-Cruz, C. (2009). *Ecología, conservación y manejo de ungulados silvestres en paisajes fragmentados de la Selva Lacandona, Chiapas, México*.
- Thuiller, W. (2004). Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate change. *Global Change biology*, 10(12), 2020-2027.
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., & Araújo, M. B. (2009). BIOMOD – a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32, 369-373.
- Travaini, A., Bustamante, J., Rodríguez, A., Zapata, S., Procopio, D., Pedrana, J., & Martínez Peck, R. (2007). An integrated framework to map animal distributions in large and remote regions. *Diversity and Distributions*(13), 289-298.
- van Proosdij, A. S., Sosef, M. S., Wieringa, J. J., & Raes, N. (2016). Minimum required number of specimen records to develop accurate species distribution models. *Ecography*, 39, 542-55.
- Varela, S., Mateo, R. G., García-Valdés, R., & Fernández-González, F. (2014). Macroecología y ecoinformática: sesgos, errores y predicciones en el modelado de distribuciones. *Ecosistemas*, 23(1), 46-53.
- Velamazán, M., San Miguel, A., Escribano, R., & Perea, R. (20118). Use of firebreaks and artificial supply points by wild ungulates: Effects on fuel load and woody vegetation along a distance gradient. *Forest Ecology and Management*, 427, 114-123.
- Wang, G., Hobbs, N. T., Twombly, S., Boone, R. B., Illius, A. W., Gordon, I. J., & Gross, J. E. (2009). Density dependence in northern ungulates: interactions with predation and resources. *Population Ecology*, 51(1), 123-132.
- Warren, D. L., & Seifert, S. N. (2011). Ecological niche modeling in Maxent: the importance of

model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological Applications*, 21, 335-342.

Watkinson, A. R., & Ormerod, S. J. (2001). Grasslands, grazing and biodiversity: editors' introduction. *Journal of Applied Ecology*, 38, 233-237.

Wheeler, J. C. (1991). Origen, evolución y status actual. *Avances y perspectivas en el conocimiento de los camélidos sudamericanos*, 11-48.

Willis, K. J., & Whittaker, R. J. (2002). Species Diversity-Scale Matters. *Science*, 295, 1245-1248.

Wurstten, A., Novaro, A. J., & Walker, R. S. (2014). Habitat use and preference by guanacos, vicuñas, and livestock in an altitudinal gradient in northwest Argentina. *European Journal of Wildlife Research*, 60, 35–43.

Zhang, L., Huettmann, F., Liu, S., Sun, P., Yu, Z., Zhang, X., & Mi, C. (2019). Classification and regression with random forests as a standard method for presence-only data SDMs: A future conservation example using China tree species. *Ecological Informatics*, 52, 46-56.



## 8. APÉNDICES

### Script Análisis de Factor de Inflación de Varianza (VIF)

```
> vifstep(predictors[[1:25]])
```

```
11 variables from the 25 input variables have collinearity problem:  
BIO_05 BIO_10 BIO_01 BIO_16 BIO_12 BIO_07 BIO_19 BIO_11 BIO_17 BIO_08  
BIO_04
```

After excluding the collinear variables, the linear correlation coefficients ranges between:

```
min correlation ( Camin ~ BIO_15 ): 0.008826776  
max correlation ( BIO_15 ~ BIO_14 ): -0.7249193
```

```
----- VIFs of the remained variables -----
```

	Variables	VIF
1	BIO_02	2.429079
2	BIO_03	2.665939
3	BIO_06	5.828309
4	BIO_09	3.811333
5	BIO_13	2.342021
6	BIO_14	3.941221
7	BIO_15	6.896916
8	BIO_18	3.693719
9	DEM	2.427371
10	PEN	1.384388
11	NDVI	2.894287
12	AU	1.615404
13	Hidro	1.362761
14	Camin	1.547326