

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA ANIMAL EN EL SECTOR
BOSQUE DE TAMBILLO DE LA RESERVA NACIONAL LOS FLAMENCOS,
COMUNA DE SAN PEDRO DE ATACAMA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA**

GABRIELA ISABEL LÓPEZ CONTRERAS

SANTIAGO, CHILE
2017

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA ANIMAL EN EL SECTOR
BOSQUE DE TAMBILLO DE LA RESERVA NACIONAL LOS FLAMENCOS,
COMUNA DE SAN PEDRO DE ATACAMA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA**

**ANIMAL CARRYING CAPACITY ESTIMATION IN BOSQUE DE TAMBILLO
AREA IN THE NATIONAL RESERVE LOS FLAMENCOS, SAN PEDRO DE
ATACAMA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA**

GABRIELA ISABEL LÓPEZ CONTRERAS

SANTIAGO, CHILE
2017

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA ANIMAL EN EL SECTOR
TAMBILLO DE LA RESERVA NACIONAL LOS FLAMENCOS, COMUNA DE
SAN PEDRO DE ATACAMA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA**

Memoria para optar al título profesional de:
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

GABRIELA LÓPEZ CONTRERAS

| Profesor Guía | Calificaciones |
|---|-----------------------|
| Sr. Giorgio Castellaro G. Ingeniero Agrónomo M.Sc. | 7,0 |
| Profesores Evaluadores | |
| Sra. Susana Muñoz M. Ingeniero Agrónomo M.Sc. | 6,0 |
| Sr. Manuel Paneque C. Bioquímico, Dr | 6,5 |

SANTIAGO, CHILE
2017

*A mi Puky, Percy y todos los peluditos
que han acompañado mi vida.*

AGRADECIMIENTOS

Agradecer en primer lugar a mi profesor guía, Giorgio Castellaro, quien ha tenido infinita paciencia durante todo este proceso y siempre estuvo ahí cuando yo aparecía. A los Guardaparques de CONAF, quienes facilitaron mi estadía en la Reserva y la toma de datos para hacer posible esta memoria. Ustedes son la razón de ser de este proyecto.

A mis papás, Carla y Carlos, por ser fuente de infinito amor y cariño, e impulsarme siempre a seguir mis convicciones, gracias a ustedes soy quien soy. A mis hermanas, hermanos y sobrinas, que son las mejores personas del mundo.

A mis amigos, a EGEA, con quienes he compartido muchos momentos que quedarán en la memoria para siempre. Especialmente agradecer a Rubén con quien he crecido y me he desarrollado de manera increíble, profesional y personalmente. Sigamos creyendo en el sueño.

Finalmente, agradecer a todos los que han pasado por mi vida, han dejado su huella y a aquellos que aún son parte importante de mi. Muchas gracias.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| RESUMEN..... | 14 |
| ABSTRACT | 15 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 16 |
| 1.1 Objetivo General | 19 |
| 1.2 Objetivos Específicos | 19 |
| 2. MATERIALES Y MÉTODOS | 20 |
| 2.1. Área de Estudio | 20 |
| 2.1.1. Ubicación | 20 |
| 2.1.2. Características Generales | 21 |
| 2.2. Materiales | 23 |
| 2.3. Métodos | 23 |
| 2.3.1. Elaboración de Carta de Pastizales | 24 |
| 2.3.2. Producción de Materia Seca..... | 25 |
| 2.3.3. Carga Animal Actual..... | 27 |
| 2.3.4. Estimación de Capacidad de Carga Animal..... | 28 |
| 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 31 |
| 3.1. Elaboración de Carta de Pastizales | 31 |
| 3.2. Producción de Materia Seca..... | 35 |
| 3.3. Carga Animal Actual | 47 |
| 3.4. Estimación de Capacidad de Carga Animal..... | 48 |
| 3.5. Recomendaciones de Manejo de Ganado en el sector Bosque de Tambillo..... | 53 |
| 4. CONCLUSIONES..... | 55 |
| 5. BIBLIOGRAFÍA | 56 |
| 6. ANEXOS Y APÉNDICES | 61 |

Índice de Cuadros

| | |
|--|----|
| Cuadro 1. Relación entre la proporción del tipo de pradera y el número de jaulas para medir la producción de materia seca y el número de líneas para la determinación de la composición botánica..... | 27 |
| Cuadro 2. Rangos de explotación ganadera según valor de coeficiente I_e | 30 |
| Cuadro 3. Superficie ocupada por las asociaciones vegetales determinadas..... | 35 |
| Cuadro 4. Composición botánica y cobertura del sitio de Pradera rala de <i>Distichlis spicata-Scirpus californicus</i> | 37 |
| Cuadro 5. Composición botánica y cobertura del sitio de Pradera abierta de <i>Distichlis spicata</i> | 39 |
| Cuadro 6. Composición botánica y cobertura del sitio de Estepa arbustiva rala de <i>Tessaria absinthioides</i> | 40 |
| Cuadro 7. Composición botánica y cobertura del sitio de Estepa arbustiva abierta de <i>Tessaria absinthioides</i> | 41 |
| Cuadro 8. Composición botánica y cobertura del sitio de Vega de <i>Distichlis spicata-Scirpus californicus</i> | 43 |
| Cuadro 9. Composición botánica y cobertura del sitio de Suelo desnudo..... | 45 |
| Cuadro 10. Cosecha de fitomasa por parcela de exclusión (cosecha realizada entre el 27 de marzo y el 01 de abril de 2014)..... | 46 |
| Cuadro 11. Cantidad de animales que son pastoreados en el sector Bosque de tambillo | 47 |
| Cuadro 12. Medidas zoométricas y estimaciones del peso vivo de cabras, ovejas y llamas | 47 |
| Cuadro 13. Equivalencias ganaderas (EG) por especie y categoría animal | 48 |
| Cuadro 14. Capacidad de carga animal total y por unidad vegetal | 49 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Área de estudio. Fuente: Elaboración propia, 2014..... | 20 |
| Figura 2. Metodología utilizada para la identificación de las asociaciones vegetales del área en estudio..... | 25 |
| Figura 3. Imagen <i>Google Earth</i> de la zona en estudio..... | 31 |
| Figura 4. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) del lugar en estudio. | 32 |
| Figura 5. Clases generadas a partir del NDVI. | 32 |
| Figura 6. Imagen en Falso Color Convencional (bandas 4-3-2)..... | 33 |
| Figura 7. Carta de pastizales obtenida en el área del estudio..... | 34 |
| Figura 8. Parcelas de exclusión instaladas según asociaciones vegetales..... | 36 |
| Figura 9. Pradera rala de <i>Distichlis spicata- Scirpus californicus</i> . Reserva Nacional Los Flamencos, sector Bosque de Tambillo. Región de Antofagasta, Chile. | 37 |
| Figura 10. Pradera abierta de <i>Distichlis spicata</i> . Reserva Nacional Los Flamencos, sector Bosque de Tambillo. Región de Antofagasta, Chile..... | 38 |
| Figura 11. Estepa arbustiva rala de <i>Tessaria absinthioides</i> . Reserva Nacional Los Flamencos, sector Bosque de Tambillo. Región de Antofagasta, Chile..... | 40 |
| Figura 12. Estepa arbustiva abierta de <i>Tessaria absinthioides</i> . Reserva Nacional Los Flamencos, sector Bosque de Tambillo. Región de Antofagasta, Chile..... | 41 |
| Figura 13. Vega de <i>Distichlis spicata - Scirpus californicus</i> . Reserva Nacional Los Flamencos, sector Bosque de Tambillo. Región de Antofagasta, Chile. | 42 |
| Figura 14. Bosque de <i>Prosopis tamarugo</i> . Reserva Nacional Los Flamencos, sector Bosque de Tambillo. Región de Antofagasta, Chile..... | 43 |

Figura 15. Afloramientos salinos presentes en el sector Bosque de Tambillo de la Reserva Nacional Los Flamencos..... 44

Figura 16. Formación Suelo desnudo. Reserva Nacional Los Flamencos, sector Bosque de Tambillo. Región de Antofagasta, Chile..... 45

Definición de Acrónimos

- ASTER: Advance Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
- BWH: Desierto Marginal de Altura
- CA: Carga animal actual
- CC: Capacidad de carga (UA ha⁻¹)
- CONAF: Corporación Nacional Forestal
- CORFO: Corporación de Fomento de la Producción
- DEM: Modelo de Elevación Digital
- EG: Equivalencias Ganaderas
- FDAgua: Factor de distancia a fuentes de agua
- Fpend: Factor de pendiente
- FUA: Factor de uso apropiado
- GDEM: Modelo de Elevación Digital Global
- MS: Materia seca
- NASA: National Aeronautics and Space Administration (Estados Unidos)
- NDVI: Normalized Difference Vegetative Index
- OLI: Operational Land Imager
- PMSA: Producción promedio anual de fitomasa aérea (kg MS ha⁻¹ año⁻¹)
- PSP: Porcentaje de especies palatables (especies deseables y menos deseables)
- REQUA: Requerimiento de MS de la unidad animal (kg MS mes⁻¹)
- UA: Unidad Animal
- USGS: United States Geological Survey
- UTM : Universal Transversal Mercator

RESUMEN

El área en estudio se localiza en la zona sur del sector Bosque de Tambillo de la Reserva Nacional Los Flamencos, se ubica entre las localidades de Toconao y San Pedro de Atacama, dentro de los límites del Salar de Atacama. Este se caracteriza por poseer una plantación de *Prosopis tamarugo* (Tamarugo), y por presentar ganado de camélidos, ovinos y caprinos en forma permanente, los cuales son custodiados por dos pastoras que habitan en el mismo sector, además hay una importante presencia de burros asilvestrados. En el presente estudio se estimó la capacidad de carga animal que posee el área, contrastándola posteriormente con la carga animal actual. Para estos propósitos, se generó una carta de pastizales, mediante una clasificación supervisada utilizando imágenes Landsat 8 OLI, la cual fue verificada y ajustada en terreno, identificándose 6 tipos de pastizales, afloramientos salinos y suelo desnudo. Se estimó la producción de materia seca para cada formación vegetal identificada, instalando 11 jaulas de exclusión al inicio de la temporada de crecimiento vegetal, asociándose a cada una de estas una línea de evaluación de 100 metros para determinar su composición botánica y cobertura. Por otra parte, se estimó la carga animal actual que existe en el sector (cabras, ovejas, llamas y burros), utilizando equivalencias ganaderas (EG) según el peso metabólico de las diferentes categorías de ganado, expresándose en Unidades Animales (UA), obteniéndose un total de 165,62 UA. Para la estimación de capacidad de carga se basó en el procedimiento propuesto por Holechek (1988), resultando que el sector en estudio posee una capacidad de carga de 59,87 Unidades Animales Anuales. Comparando este valor con el de la carga actual se obtuvo un coeficiente de intensidad de explotación de 2,766, lo que indica que existe un alto grado de sobrepastoreo. Según los resultados obtenidos, se da cuenta de un exceso de carga animal, donde las praderas se encuentran sobre utilizadas, por lo que se debe disminuir la presión ganadera del sector. Se considera primordial erradicar a los burros ferales y tomar medidas para el mejoramiento en la composición de los rebaños. Dada la importancia ecológica de la zona, se sugiere ir disminuyendo paulatinamente la carga animal, en conjunto con los dueños de animales y pastoras.

Palabras clave: carga animal, producción materia seca, pastizales Salar de Atacama, sobrepastoreo.

ABSTRACT

The study area is located in the southern zone of the Bosque de Tambillo sector in the National Reserve *Los Flamencos*, between the town of Toconao and San Pedro de Atacama, also within the limits of the Atacama Salt Flat. This sector is characterized by possessing a *Prosopis tamarugo* (Tamarugo) plantation, and presents permanent livestock populations of camelids, sheep and goats, as well as an important presence of wild donkeys. The domesticated livestock are under the care of two local shepherdesses. In the present study, the animal carrying capacity of the area was estimated, contrasting it with the actual stocking rate. For these purposes, a grassland cartography was generated, according to a supervised classification using Landsat 8 OLI images, which was verified and adjusted in the field, identifying 6 types of grasslands, salt outcrops and uncovered soil. The dry matter production for each identified vegetation unit was estimated, by the installation of 11 exclusion cages at the beginning of the plant growth season, associating each one with an evaluation line of 100 meters to determine its botanical composition and coverage. On the other hand, the stocking rate in the sector (goats, sheep, llamas and donkeys) was estimated using livestock equivalences (EG) according to the metabolic weight of the different cattle categories, expressed in Animal Units (UA), obtaining a total of 165.62 UA. The estimation of carrying capacity was based on the procedure proposed by Holechek (1988), obtaining a carrying capacity of 59.87 annual Animal Units for the area under study. Comparing this value with that of stocking rate, the coefficient of operating intensity of 2,766 was obtained, indicating that there is a high level of overgrazing. According to the results obtained, there is a noted animal load excess; the prairies are overused and overgrazed, thus it is absolutely necessary to reduce the cattle pressure in the sector. Furthermore complicating the issue is that it is considered primordial to both eradicate the feral donkeys and take measures to improve flock composition. Given the ecological importance of the area, these results suggest gradually reducing the stocking rate, decision to be taken together with the animal owners and shepherdesses in the area.

Keywords: Stocking rate, dry matter production, Atacama salt flat grasslands, overgrazing

1. INTRODUCCIÓN

En la región del Norte Grande de Chile, específicamente en la zona centro-oriente de la Región de Antofagasta, comuna de San Pedro de Atacama, a una altura media de 2.300 m.s.n.m. se encuentra el Salar de Atacama, el cual corresponde al cuerpo salino de mayor extensión del país con una superficie aproximada de 3.000 Km², ubicado en una cuenca hidrográfica cerrada cuyos límites son la cordillera de los Andes por el este y la Cordillera de Domeyko por el oeste (Alonso y Richaser, 1996; Salazar *et al.*, 2003).

El salar de Atacama se encuentra bajo el régimen climático de Desierto Marginal de Altura (Köppen, 1948; DGA, 2004), alcanzando una temperatura media anual de 14°C y una precipitación media anual de alrededor de 25 mm. Estas precipitaciones se concentran durante los meses de verano y son ocasionadas por el fenómeno denominado “invierno altiplánico” el cual consiste en masas de aire cargadas de humedad, que provienen desde zonas amazónicas y del atlántico, que van ascendiendo la ladera oriental de los Andes (DGA, 2004).

Solo se encuentran suelos tipo Entisol, adyacentes al cuerpo salino del salar, los que se caracterizan por ser pobremente desarrollados, con un alto contenido salino, un pH elevado y baja disponibilidad de nutrientes. Justamente es en estas áreas donde se dan las condiciones para que se desarrolle vegetación, ya que existen algunos afloramientos de agua (vegas). En el borde oriente y hacia el sur del salar se pueden encontrar comunidades vegetales de tipo estepáricas, siendo las más representativas las de *Atriplex atacamensis-Tessaria absinthioides* (Cachiyuyo-Brea). El resto del Salar presenta extensiones carentes completamente de vegetación (DGA, 2004).

La presencia de vegetación es el factor determinante para el establecimiento de actividades ganaderas, por lo que esta se encuentra limitada a espacios considerablemente reducidos dentro de la región desértica. La ganadería y agricultura es ejercida por grupos derivados de etnias originarias, principalmente atacameños, organizados en comunidades, con diferentes grados de parentesco. En su mayor parte el ganado es constituido por camélidos, ovinos y caprinos (Ahumada y Faúndez, 2001). La cosmovisión de estas comunidades está centrada en su relación con la naturaleza y sus recursos, sin embargo, en los últimos años se ha evidenciado una alta migración desde las zonas rurales hacia los centros urbanos, especialmente de personas jóvenes, en busca de mejores oportunidades laborales. Este fenómeno se ve reforzado además por conflictos generados por los derechos y uso de fuentes hídricas con empresas mineras, lo que ha significado una disminución en las áreas de pastoreo y en una mayor sensación de vulnerabilidad frente a los grupos de poder económico que operan en el área (Yáñez y Molina, 2008). La minería ejerce extracción sistemática de

agua generalmente en vegas o bofedales modificando los ecosistemas, donde los impactos han sido poco evaluados desde el punto de vista de pérdida de productividad y alteración comunitaria (Ahumada y Faúndez, 2001).

Las condiciones climáticas y características ambientales rigurosas de la zona, entre las que destacan grandes fluctuaciones térmicas diarias, baja concentración de oxígeno, marcados periodos de aridez, alta radiación solar y suelos poco nutritivos, permite el desarrollo de flora y fauna altamente especializada, existiendo altos niveles de endemismo, es decir la biodiversidad del lugar se considera única y exclusiva (Gastó *et al.*, 1993; Jaksic *et al.*, 1997; Iriarte *et al.*, 2011;). No existen estudios suficientes para determinar la existencia de procesos de sobrepastoreo en estas áreas, pero sin duda en donde se ha ejercido mayor presión es en las zonas de vegas o bofedales. Lo anterior, hace que estos ecosistemas sean vulnerables frente a la acción antrópica, haciéndose indispensable impulsar y desarrollar investigación respecto de las cargas animales actuales y el potencial forrajero de las diversas asociaciones vegetales, para así poder dimensionar los potenciales impactos del ganado sobre la vegetación natural y regular su manejo.

Una de las formas de conocer las aptitudes pastorales de las comunidades vegetales, es mediante la estimación de la capacidad de carga de cada uno. Capacidad de carga o capacidad de sustentación, se define como “la máxima carga ganadera posible que es consecuente con el mantenimiento o mejora de la vegetación o de los recursos relacionados”, según la Sociedad de Manejo de Pastizales de Estados Unidos de América (Society for Range Management, 2014) se refiere a la capacidad de carga como “la carga animal óptima que puede soportar un pastizal conservando su estado o condición”, correspondiendo la carga animal al número de animales que ocupa un pastizal en un determinado periodo de tiempo. Ambos términos son expresados en unidades animales por unidad de superficie (Redfearn y Bidwell, 2007). Es relevante comprender que la carga animal es asignada en forma arbitraria por el productor en base a sus propios parámetros, pero que no indica si se está realizando un buen manejo o no, sobre el pastizal, solo representa una decisión que puede ser o no acertada de acuerdo a la capacidad de carga animal del sector (Gastó *et al.*, 1993).

El cálculo de la capacidad de carga es una medida prioritaria para realizar una adecuada utilización de un pastizal y para la determinación de acciones complementarias de ser necesario. Para una buena estimación de la capacidad de carga se deben tener algunos antecedentes base como son la producción de materia seca por área, la carga animal actual y los requerimientos energéticos por especie ganadera (FAO, 1996).

La relevancia de esta medida para el manejo, ha sido validada por la realización de diversos estudios de capacidad de carga para el sector del altiplano, y parte de la pre-cordillera de la provincia de Parinacota (Troncoso, 1983; Castellaro, 2003). Estos estudios han estimado la

capacidad de carga de unidades de vegetación con aptitud pastoral a través de distintas metodologías que consideran el aporte energético de las diferentes especies vegetales y los requerimientos nutricionales del ganado en los sectores evaluados. Sin embargo, estos estudios no han considerado la producción anual de materia seca de las praderas, o bien la han estimado a través de modelos, pero abarcando superficies pequeñas respecto a la extensión de las praderas de la zona. La falta de mediciones de terreno de esta variable para praderas altiplánicas del país y de estudios relativos a los requerimientos nutricionales, hábitos alimenticios y composición botánica de la dieta de las especies ganaderas para el altiplano chileno han constituido hasta el presente una limitación para la obtención de medidas más precisas de capacidad de carga animal (Castellaro, 2007).

Para las praderas altiplánicas chilenas, son escasas las mediciones de terreno de la capacidad de carga, ya que ello implica efectuar estudios con animales en pastoreo o bien mediciones de la producción anual de materia seca de las praderas por varias temporadas de crecimiento. No obstante lo anterior, se han efectuado varias estimaciones a través de técnicas de simulación y análisis de imágenes de satélites (Castellaro y Araya, 2012).

La presente memoria de título se desarrolla bajo un requerimiento por parte de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), que busca regular el manejo del ganado doméstico presente en el sector Bosque de Tambillo de la Reserva Nacional Los Flamencos (23° 07' 16'' Lat. S; 68° 04' 42'' Long. O; 2436 m.s.n.m.), con el fin de evitar el sobre pastoreo, mantener las características de los ecosistemas que se pueden encontrar en el área y dar cumplimiento con el Plan de Manejo que se encuentra vigente. A partir de este estudio se espera entregar información estratégica y relevante para la toma de decisiones sobre el manejo del sector Bosque de Tambillo que asegure la perdurabilidad de sus ecosistemas.

1.1 Objetivo General

Estimar la capacidad de carga animal del sector Bosque de Tambillo de la Reserva Nacional Los Flamencos, Comuna de San Pedro de Atacama.

1.2 Objetivos Específicos

- Generar una carta de pastizales mediante la identificación de las formaciones vegetales presentes en el sector bajo estudio.
- Estimar la producción de materia seca anual de las diferentes unidades de vegetación.
- Determinar la carga ganadera actual del sector, contrastándola posteriormente con la capacidad de carga animal estimada.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de Estudio

2.1.1. Ubicación

El sector 7 de la Reserva Nacional Los Flamencos, denominada Bosque de Tambillo, tiene una superficie de 6.013,16 ha, se encuentra en la comuna de San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta, Chile, por el cual cruza el camino internacional CH-23 que une el pueblo Toconao con San Pedro de Atacama, a 27 kilómetros de este último (Torres y Torres, 1998; CONAF, 2013). Particularmente el área en estudio corresponde a una zona de 3.264 ha localizada en el sector sur de Bosque de Tambillo, con una altura media de 2.344 m.s.n.m. Se encuentra ubicada entre las coordenadas geográficas 23° 00' 25'' S - 68° 04' 4'' O y 23°08'55'' S - 68°08'20'' O correspondientes a los límites norte y sur, respectivamente (Figura 1). Se delimitó esta superficie debido a que corresponde al área efectiva de uso de los animales que forrajean en el sector según los guardaparques y las pastoras.

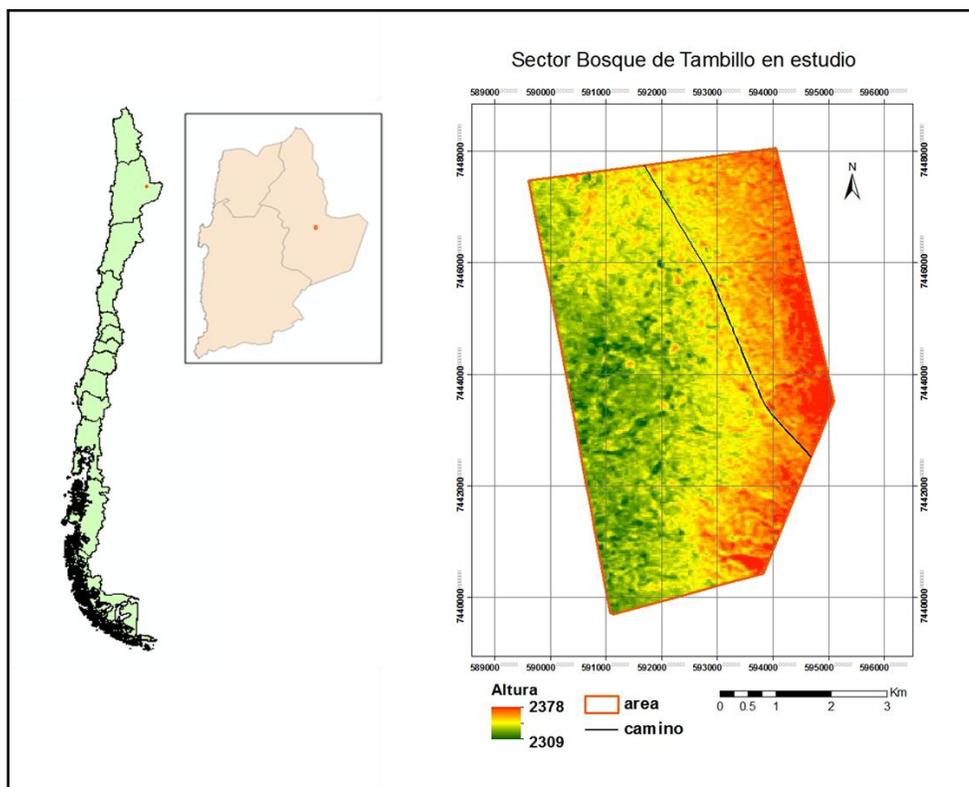


Figura 1. Área de estudio. Fuente: Elaboración propia, 2016

2.1.2. Características Generales

Según la clasificación climática de Köppen, en la zona predomina un clima de Desierto Marginal de Altura (BWH) (Köppen, 1948), donde las precipitaciones (alrededor de 28 mm año⁻¹) se concentran comúnmente en los meses de verano (diciembre a marzo), siendo influenciado por el fenómeno denominado invierno altiplánico o invierno boliviano, con una temperatura media anual de 15°C, presentando una alta oscilación térmica y una humedad relativa muy baja (IGM, 1990; SIIT, 2013; CONAF, 2013). Los suelos presentes están en su mayoría constituidos por el cuerpo salino del Salar de Atacama. En el sector sur del área en estudio, adyacente al salar, se pueden encontrar suelos del orden Entisol, que poseen horizontes poco desarrollados y evolucionados, debido a sus condiciones de aridez, alto contenido salino y elevado pH (DGA, 2004; Luzio, 2010).

Una de las características principales del área es la presencia de una plantación monoespecífica y coetánea de 535,3 ha de Tamarugo (*Prosopis tamarugo*) la que fue desarrollada dentro del programa agropecuario “Proyecto de plantaciones de Tamarugo y explotación ganadera en el Norte Grande de Chile” por la CORFO, entre los años 1971 y 1975. Esta plantación tiene una ausencia casi total de especies en los estratos herbáceos y de sotobosque.

Además, cuenta con zonas de praderas de secano (pajonales) y vegas, donde predominan las especies *Tessaria absinthioides* (Brea), *Distichlis spicata* (Gramma salada) y *Scirpus californicus* (totora chica o junquillo). También se encuentra presencia de *Atriplex atacamensis* (Cachiyuyo) en algunas áreas específicas del sector (CONAF, 2008).

Las asociaciones vegetales que se pueden encontrar en el lugar son los siguientes:

Asociación *Atriplex atacamensis* –*Tessaria absinthioides*: Está constituida por 18 especies, entre las que destaca por su abundancia y cobertura, *Tessaria absinthioides* (Brea) y *Distichlis spicata* (Gramma salada). La cobertura de la asociación alcanza el 20%. La asociación presenta alta concentración de especies características del borde del Salar de Atacama, adaptada a condiciones halófilas. No se registran especies con problemas de conservación en esta asociación. Presenta un bajo potencial productivo, no obstante se registran 3 especies de interés forrajero (18,7%): *Ephedra breana* (Pingo pingo), *Tessaria absinthioides* (Brea) y *Atriplex atacamensis* (Cachiyuyo), las cuales soportan pastoreo de ganado caprino, mulares y camélido.

Asociación *Prosopis tamarugo*: Esta asociación se constituye de 3 especies que son las de menor riqueza florística, dado que esencialmente corresponde a una plantación monoespecífica de *Prosopis tamarugo* (Tamarugo), sin presencia de sotobosque ni estrato

herbáceo, a excepción de *Atriplex atacamensis* (Cachiyuyo) en el margen sur del bosque, el cual crece asociado a las condiciones microambientales que se generan bajo cada árbol de Tamarugo, cubriendo en algunos casos todo el fuste y parte importante del follaje de los árboles. La cobertura de la asociación alcanza al 5%, presente sólo en el sector “Tambillo”. El Tamarugo es clasificado por el Reglamento de clasificación de especies como En peligro (MMA, 2014), manifestándose un gran interés productivo sobre la especie, dado que los productos del manejo del bosque, pueden ser materia prima para la elaboración de carbón, artesanía o piezas especializada para diversos usos.

Desde el punto de vista de la fauna, se han identificado la presencia de 3 biotopos faunísticos: Vegas y/o bofedales, Arbustivo Herbáceo y Tamarugal.

Las especies de fauna que componen este sector corresponden principalmente a aves como la Lechuza (*Tyto alba*), la Golondrina de dorso negro (*Pygochelidon cyanoleuca*), el chincol (*Zonotrichia capensis*), el Pequén (*Athene cunicularia*), el Halcón perdiguero (*Falco femoralis*), Garza boyera (*Bubulcus ibis*), Chorlo de Campo (*Oreopholus ruficollis*). Entre los mamíferos se encuentran el Zorro culpeo (*Pseudalopex culpaeus*), Zorro gris (*Pseudalopex griseus*), el Tuco tuco del norte (*Ctenomys fulvus*), la Llaca de la puna (*Thylamys pallidior*) y el Murciélago oreja de ratón del norte (*Myotis atacamensis*) (CONAF, 2008). En el apéndice I se presenta el biotopo al que pertenece cada especie.

En el sector se encuentra el sitio arqueológico conocido como Tambillo, donde se han encontrado restos de material lítico, cerámica y utensilios en superficie así como también un antiguo campamento de pastores de 8.000 años de antigüedad aproximadamente, conocido como Tambillo 112.

En la actualidad reside en el área en forma semipermanente un grupo de familias atacameñas vinculadas al proyecto de manejo forestal del sector cuyos productos son la leña, artesanía y carbón de Tamarugo que se comercia a nivel local. En el área también se desarrollan cultivos para autoconsumo y forraje de animales, existen corrales asociados a casas rústicas.

La utilización que se realiza en el sector depende de la disponibilidad de agua, lo que ha permitido la existencia de pequeñas vegas que sirven para el pastoreo de ganado de camélidos, ovinos y caprinos. CONAF (2008), en su plan manejo, menciona que se debe erradicar el ganado caprino del lugar, sin embargo no se refiere a las llamas y ovejas presentes. Además, en el sector existe un número importante de burros asilvestrados que también forrajean. Hasta el momento no se han realizado acciones dirigidas a regular esta actividad, lo que ha provocado inquietud respecto al estado ecosistémico del sector, especialmente debido a posibles impactos negativos atribuidos al sobrepastoreo.

2.2. Materiales

Para la presente memoria de título se utilizaron los siguientes materiales:

- Imágenes satelitales Landsat 8 OLI (Operational Land Imager), con resolución espacial de 30 metros, liberadas por el Servicio Geológico de los Estados Unidos - U.S. Geological Survey (USGS), correspondientes al mes de marzo 2014, con nubosidad igual o inferior al 10% en cada cuadrante de los cuatro que conforman la imagen.
- Imágenes de Google Earth de resolución variable del área de estudio, con Datum WGS84 y coordenadas geográficas latitud/longitud, y antigüedad máxima de dos años.
- Modelo de Elevación Digital (DEM) del área de estudio. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM), producto desarrollado por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón y por la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) de los Estados Unidos, con una resolución espacial de 30 m.
- Imagen cartográfica en formato *Shape* de los límites administrativos del sector Bosque de Tambillo.
- Programa computacional: ArcGis®, versión 10.0.
- Instrumentos y herramientas para aplicar los métodos en terreno: parcelas de exclusión, palas, huinchas de medir, GPS, entre otros.

2.3. Métodos

Se utilizó una metodología basada en la propuesta de Castellaro (2007) para manejo de praderas altiplánicas, en donde la estimación de la capacidad de carga se realiza a partir de la oferta potencial de forraje que puede proporcionar cada unidad de vegetación y los requerimientos de cada especie presente en el área de estudio.

Para lograr el cumplimiento de los objetivos planteados se siguieron los siguientes lineamientos principales:

2.3.1. Elaboración de la Carta de Pastizales

En primer lugar se realizó un análisis preliminar del área, en base a imágenes satelitales Landsat 8 sensor OLI con una resolución espacial de 30 metros y nubosidad igual o inferior al 10%. Se utilizaron las bandas de la región visible, los infrarrojos cercanos y medio, y la banda 8, correspondiente al pancromático (la que tiene una resolución espacial de 15m.). Estas ya contienen la corrección radiométrica respectiva incorporada, por lo que fue necesario aplicar solamente una corrección atmosférica y topográfica a las imágenes (Apéndice II). El sistema de referencia utilizado para este trabajo fue Datum WGS84 y proyección Universal Transversal Mercator (UTM) huso 19 Sur.

Para la identificación de las unidades de vegetación presentes en el área de estudio, se ejecutó una clasificación supervisada (Chuvienco, 1985, Apéndice III). Este proceso de clasificación se realizó para una escena capturada el 24 de marzo del 2014, coincidiendo con el fin de la etapa de crecimiento vegetacional de la zona, para que de esta manera las diferentes unidades vegetacionales fuesen más evidentes. Las imágenes fueron procesadas en el software de información geográfica ArcGis®, versión 10.

Las áreas de entrenamiento fueron definidas mediante análisis visual de la escena, corroborándose la pertenencia de cada clase con una imagen de NDVI y la imagen en Falso Color Convencional, complementando con la información obtenida en terreno y utilizando una imagen de referencia *Google Earth*. Con dicha información se generaron varios polígonos para cada clase determinada.

Cada clase resultante fue verificada y ajustada posteriormente en terreno (a través de transectos y jaulas de exclusión), y según esta información se identificaron y caracterizaron las distintas unidades vegetales presentes en el área de estudio.

Un esquema del procedimiento anterior, se presenta en la Figura 2.



Figura 2. Esquema de los procesos aplicados para la identificación de las asociaciones vegetales del área en estudio. Fuente: Elaboración propia, 2016.

2.3.2. Cobertura de la vegetación y composición botánica de las praderas.

Dentro de cada unidad de vegetación determinada, se establecieron líneas o transectos para la determinación de su cobertura y composición botánica, utilizando para ello el método de los tres pasos de Parker, desarrollado por la División del U.S. Department of Agriculture (Gastó *et al.*, 1993; Herrick *et al.*, 2009). Esta metodología tiene buena fundamentación técnica, es simple, práctica, precisa y requiere de escasa inversión de tiempo y recursos. Como en este caso se evaluaron praderas extensivas áridas se utilizó una cinta de medir de 50 metros, la que fue extendida orientación Norte - Sur y fijada en sus extremos con estacas clavadas en el terreno. Cada 50 centímetros se hizo una medición de la cubierta vegetal, con una aguja cuyo extremo inferior tiene un anillo horizontal de $\frac{3}{4}$ de pulgada. De esta forma se realizaron 100 mediciones en cada línea. Así cada medición depende de si el anillo está ocupado en su mayor parte por hierbas o en el caso de arbustos y árboles de la proyección de la corona aérea perenne, o también puede ser predominante dentro del anillo el suelo desnudo o mantillo (Gastó *et al.*, 1993; Herrick *et al.*, 2009). Las mediciones fueron registradas en el ficha de cobertura y composición botánica (Anexo I), donde los resultados de cada línea se suman por especie y se determina la proporción de cada una respecto del total. Posteriormente, se toman fotografías del pastizal en puntos permanentes de la zona. Este procedimiento fue ejecutado al inicio de la temporada (enero) y fue repetido al término de la temporada de crecimiento

(abril). Además, se tomaron muestras de las especies vegetales encontradas en la zona para su posterior identificación por el personal del herbario de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Se adicionó la información de composición botánica y cobertura de vegetación recopilada en terreno, a la imagen resultante del proceso de clasificación supervisada y utilizando la clave de tipos fisionómicos propuesta por Bran y Ayesa (1992), se logró generar una clasificación de las asociaciones vegetales del área en estudio.

2.3.3 Producción de materia seca (MS) de los pastizales.

Esta fue estimada directamente en terreno mediante la instalación de parcelas de exclusión de 2x2 m. de superficie efectiva, las que se construyeron de malla de gallinero y polines de 2 metros de alto. Estas parcelas fueron distribuidas en forma representativa según la proporción de la superficie total que ocupa cada tipo de pastizal respecto de la superficie total evaluada (Etienne *et al.*, 1979) y debidamente georreferenciadas. Se instalaron al inicio de la temporada de crecimiento (principio de mes de enero) y su vegetación fue cosechada al final de esta temporada (abril) (Castellaro y Araya, 2012). En las parcelas cuya vegetación fue herbácea, se dejó un remanente de 2 cm. de vegetación para desde ese nivel medir su crecimiento; en aquellas parcelas que contienen vegetación arbustiva, se cortaron las ramas y ramillas verdes, asumiendo que estas son consumibles por el ganado, dejando los tallos principales.

Para determinar el porcentaje de materia seca (MS) de la biomasa cosechada, se utilizó el procedimiento desarrollado por Canseco *et al.* (2007), consistente en el uso de un microondas de 850 Watt o superior y una balanza con una sensibilidad de 0,1 gramo. Cada muestra de 100 gramos de forraje recogido se mezcló y se cortó en trozos de 3 cm aproximadamente. En los casos en que la muestra total fue menor a 100 g, se utilizó la muestra completa. Se colocó cada muestra en un plato y se registró el peso inicial, se introdujo el plato en el microondas por 5 minutos con un vaso de 150 ml de agua fría, para evitar que se queme la muestra y se registró el peso. Se colocaron las muestras nuevamente en el microondas, pero esta vez durante 3 minutos y se registró su peso. Se realizaron repeticiones de este procedimiento manteniendo la muestra en el microondas en intervalos de 3 minutos, cambiando el agua del vaso cada vez para evitar que hierva, hasta que las muestras se estabilizaron y no registraron más pérdida de peso. Así el porcentaje de materia seca corresponde al último registro del peso de cada muestra.

Los datos de fitomasa obtenidos en cada parcela de exclusión fueron corregidos por su correspondiente porcentaje de MS y expresados en kg ha^{-1} . Posteriormente, dichos datos fueron promediados en el caso de aquellas exclusiones que se instalaron en una misma

unidad. De esta forma, se obtuvo la producción de materia seca por cada unidad vegetal, y la correspondiente al total del área de estudio.

Tanto el número de transectos lineales como la cantidad de parcelas de exclusión, fue determinado basándose en los valores propuestos por Etienne *et al.* (1979) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Relación entre la proporción del tipo de pradera y el número de jaulas para medir la producción de materia seca y el número de líneas para la determinación de la composición botánica.

| | Proporción del elemento o tipo de pradera (%) | | | | |
|------------------|--|---------|---------|---------|----------|
| | 0 a 10 | 10 a 25 | 25 a 50 | 50 a 75 | 75 a 100 |
| Número de jaulas | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Número de líneas | - | 1 | 2 | 3 | 4 |

Fuente: Etienne *et al.* (1979).

En caso del bosque de Tamarugo, no se procedió a realizar cosecha, utilizándose los datos de producción promedio de forraje estimados en el Inventario Forestal del sector Tambillo, elaborado por Altamirano (1998), donde se estimó que la tasa de crecimiento promedio de la plantación de *Prosopis Tamarugo* corresponde a $0,72 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ anual, obteniéndose producciones promedio de forraje de $1.748 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Lo anterior se calculó tomando como base los datos de producción de frutos por temporada estimados en el sector Pillalla de la RN Pampa del Tamarugal.

2.3.4. Carga Animal Actual

Para determinar si los pastizales están adecuadamente utilizados, es preciso conocer la carga animal actual. Para ello, se realizó una encuesta personal a las pastoras que habitan el lugar y las que son encargadas del cuidado de los animales que permanentemente utilizan el área para alimentarse. De esta forma, se obtuvo información respecto del número de las distintas especies y categorías de animales que pastorean en la zona. En el caso de los burros, que se encuentran en condición feral, se estimó la cantidad de individuos mediante información entregada por las pastoras y los guardaparques de la Reserva Nacional.

El número de animales de diferentes especies y categorías, fue expresado en términos de Unidades Animales (UA), utilizando Equivalencias Ganaderas (EG) calculadas a partir del peso metabólico de las diferentes categorías de ganado, expresado en la siguiente ecuación (Vallentine, 2001):

$$EG = \left(\frac{W}{450}\right)^{0,75}$$

Donde W es el peso vivo de la especie y/o categoría animal, el cual se estimó a su vez a partir de mediciones zoométricas efectuadas en una muestra de animales pertenecientes a una especie y/o categoría. El número de animales a medir dependió de la disponibilidad de los mismos en terreno. En cada uno de los individuos de la muestra, se determinó el Largo del cuerpo (L, cm) y el perímetro torácico (C, cm), aplicándose posteriormente ecuaciones de predicción del peso vivo en función de dichas mediciones.

Para los camélidos (llamas) se utilizó la siguiente ecuación, calculada en base a los datos proporcionados por Zea (2006), Leyva y Falcón (2007) y Quispe (2014):

$$W = 0.0007 \cdot C^{2.4738}$$

Para ovinos, se utilizó la ecuación propuesta por da Silva *et al.* (2006):

$$W = -68,739 + 1,3515 \cdot C$$

En el caso de los caprinos, se utilizó la ecuación propuesta por Castellaro y Ruz (2011).

$$\ln(W) = -8,59572 + 1,44627 \cdot \ln(C) + 1,33135 \cdot \ln(L)$$

Para los burros, y por no contar con mediciones zoométricas por su condición de feral, se utilizó un peso vivo de referencia, según su categoría; para las hembras y machos se utilizaron pesos de 216 y 231 kilogramos respectivamente (Delgado *et al.*, 2014). Para las crías, menores de 1 año, un peso de 73,6 kg (Aluja *et al.*, 2005).

2.3.5 Capacidad de Carga Animal

Conocida la producción promedio anual de materia seca (MS) de cada una de las diferentes praderas evaluadas y los requerimientos de forraje de la unidad animal, se puede estimar la capacidad de carga, utilizando la siguiente ecuación, la cual está basada en el procedimiento propuesto por Holechek (1988), para tales propósitos:

$$CC = \frac{PMSA \cdot PSP}{REQUA \cdot n} \cdot FUA \cdot Fpend \cdot FDAgua$$

Donde:

CC: Capacidad de carga (UA ha⁻¹)

PMSA: Producción promedio anual de fitomasa aérea (kg MS ha⁻¹ año⁻¹)

PSP: Porcentaje de especies palatables (especies deseables y menos deseables)

REQUA: Requerimiento de MS de la unidad animal (kg MS mes⁻¹)

n: periodo de pastoreo (meses)

FUA: Factor de uso apropiado

Fpend: Factor de pendiente

FDAgua: Factor de distancia a fuentes de agua

El porcentaje de especies palatables (PSP) fue estimado mediante información de literatura relativa al valor forrajero que presentan las plantas presentes en el área en estudio; REQUA corresponde a la demanda mensual de MS de la Unidad Animal de referencia que se utilizó, la que corresponde a 365 kg de materia seca, equivalente al consumo de una vaca de carne de 454 kg de peso vivo con su ternero al pie (Castellaro *et al.*, 2013); los valores del FUA fueron fijados en relación a los valores sugeridos por Holecheck (1988) en donde estos dependen del tipo, condición y época de utilización de la pradera; Fpend y FDAgua son factores relacionados al efecto que tiene la pendiente y la distancia a fuentes de agua respectivamente; la duración de la temporada de pastoreo de estos pastizales corresponde a los 12 meses del año (n=12).

Finalmente, se determinó la intensidad relativa de la explotación ganadera, la cual se expresa por el coeficiente de intensidad de explotación (I_e), el cual se estimó mediante el cociente entre la carga ganadera actual (CA) y la Capacidad de Carga obtenida (Passera *et al.*, 1986 y Gastó *et al.*, 1993).

$$I_e = \frac{\text{Carga Animal Actual (CA)}}{\text{Capacidad de Carga (CC)}}$$

Los valores del coeficiente I_e serán clasificados de acuerdo a los rangos propuestos por Passera *et al.* (1986), para tales propósitos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Rangos de explotación ganadera según valor de coeficiente I_e

| Explotación ganadera | Valor coeficiente I_e |
|---------------------------------------|---|
| Muy insuficiente (muy extensivo) | 0,00 - 0,19 |
| Insuficiente (extensivo) | 0,20 - 0,39 |
| Mediano | 0,40 - 0,59 |
| Bueno (intensivo) | 0,60 - 0,79 |
| Muy Bueno (muy intensivo, uso óptimo) | 0,80 - 1,00 |
| sobreutilización (sobrepastoreo) | > 1,00 |

Fuente: Passera *et al.*, 1986.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Carta de Pastizales

A continuación se presentan las imágenes utilizadas en el proceso de identificación de las coberturas existentes en el área de estudio.

A partir del análisis de la imagen visible (Figura 3), se pudieron distinguir 2 grandes áreas: una de color blanco correspondientes a afloramientos salinos y zonas más oscuras que representan vegetación densa, la que correspondió a bosque de *Prosopis tamarugo*.

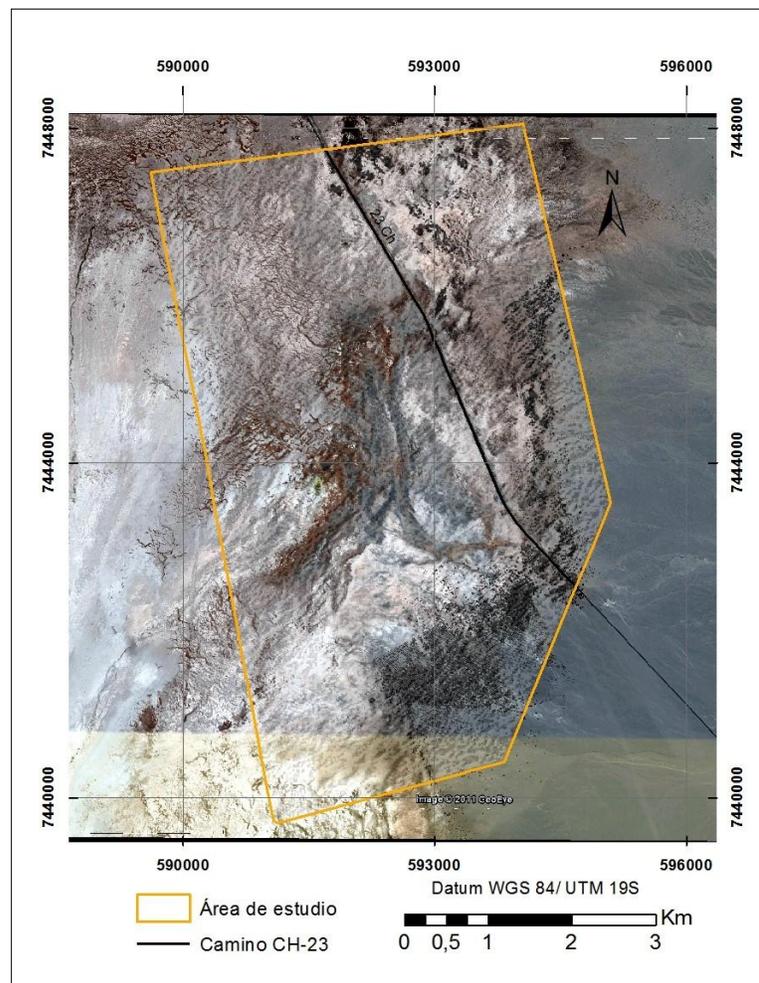


Figura 3. Imagen *Google Earth* de la zona en estudio. Fuente: Elaboración propia, en base a *Google Earth Pro*, 2015

Respecto al análisis de la imagen NDVI (Figura 4 y 5) se pudo distinguir zonas de diferente

vigor de la vegetación. Los valores más altos de este índice se asociaron a vegetación de bosque de Tamarugo y a vega hidromórfica, mientras que los valores más bajos estuvieron asociados a cuerpos salinos del Salar de Atacama y suelo desnudo. No obstante lo anterior no fue posible distinguir formaciones vegetales diferentes como bosque y vega

Por ende, a través de este método, si bien se pueden identificar ciertas clases, no se logra distinguir entre formaciones vegetales muy distintas como bosque de vegas.

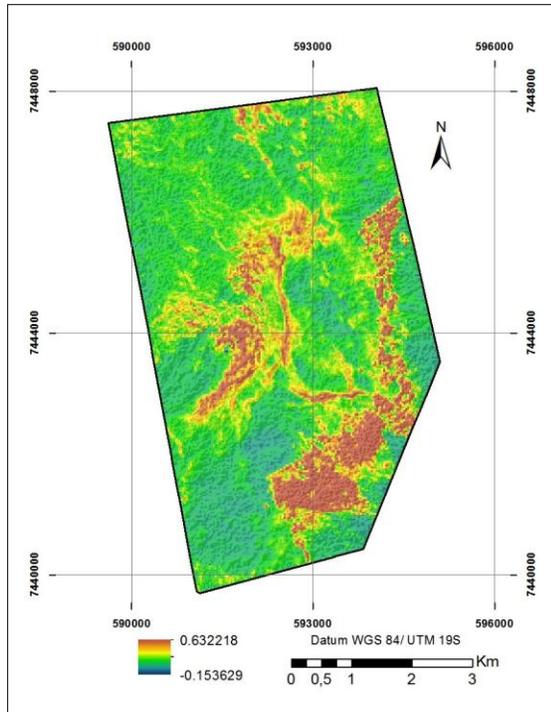


Figura 4. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) del lugar en estudio. Fuente: Elaboración propia, 2016

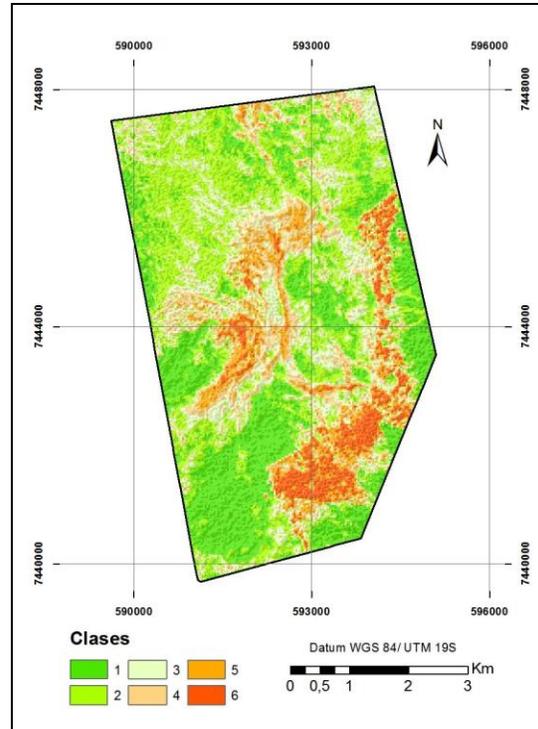


Figura 5. Clases generadas a partir del análisis *cluster* con imagen de NDVI. Fuente: Elaboración propia, 2016.

La composición de bandas en falso color convencional, infrarrojo cercano - rojo - verde (bandas 4-3-2), permitió identificar de mejor manera la cobertura vegetal, ya que esta composición de bandas resalta la vegetación más verde en colores rojos (Figura 6). En este caso sí se puede notar la diferencia en las tonalidades entre las asociaciones vegetales vega hidromórfica y bosque de Tamarugo.

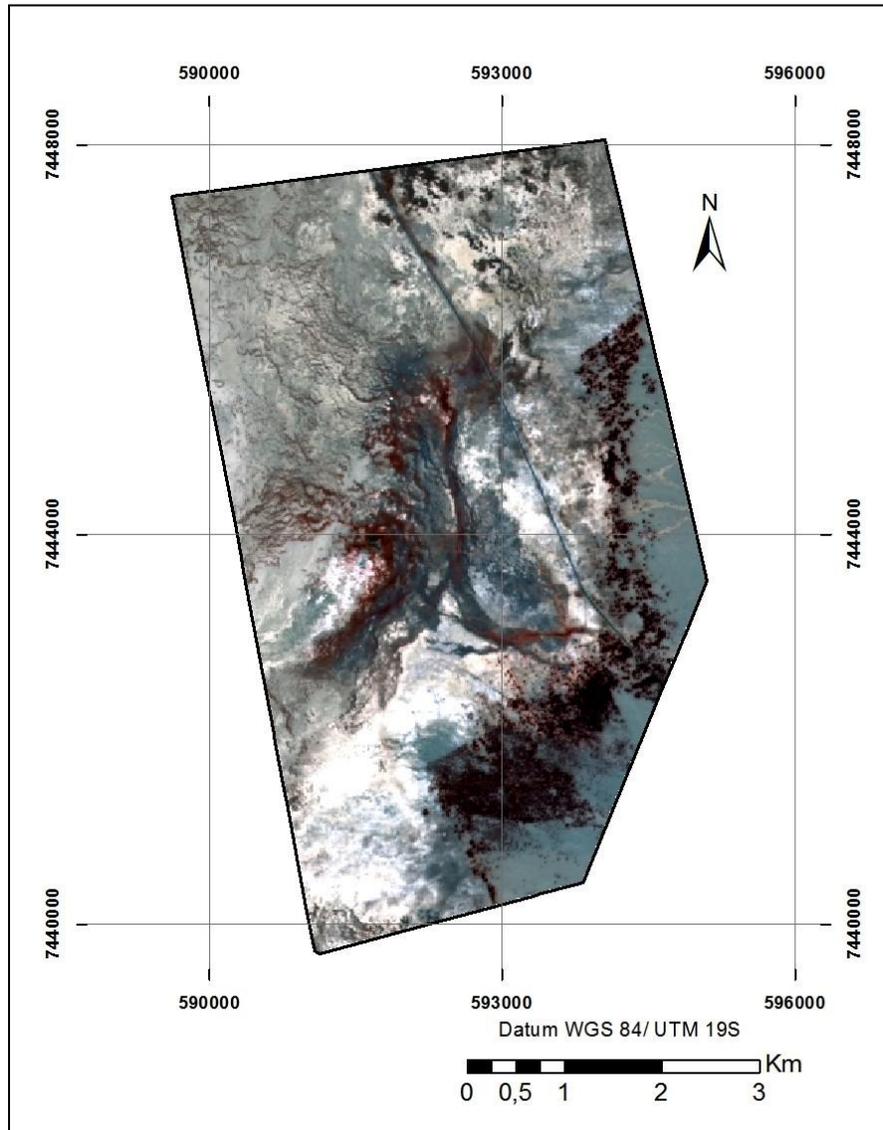


Figura 6. Composición de bandas en Falso Color Convencional (bandas 4-3-2). Fuente: Elaboración propia, 2016.

Producto del proceso de las imágenes anteriores se pudo confeccionar una carta de pastizales, donde se diferenciaron seis tipos de terrenos de pastoreo, además de áreas de afloramiento salino y suelo desnudo (Figura 7).

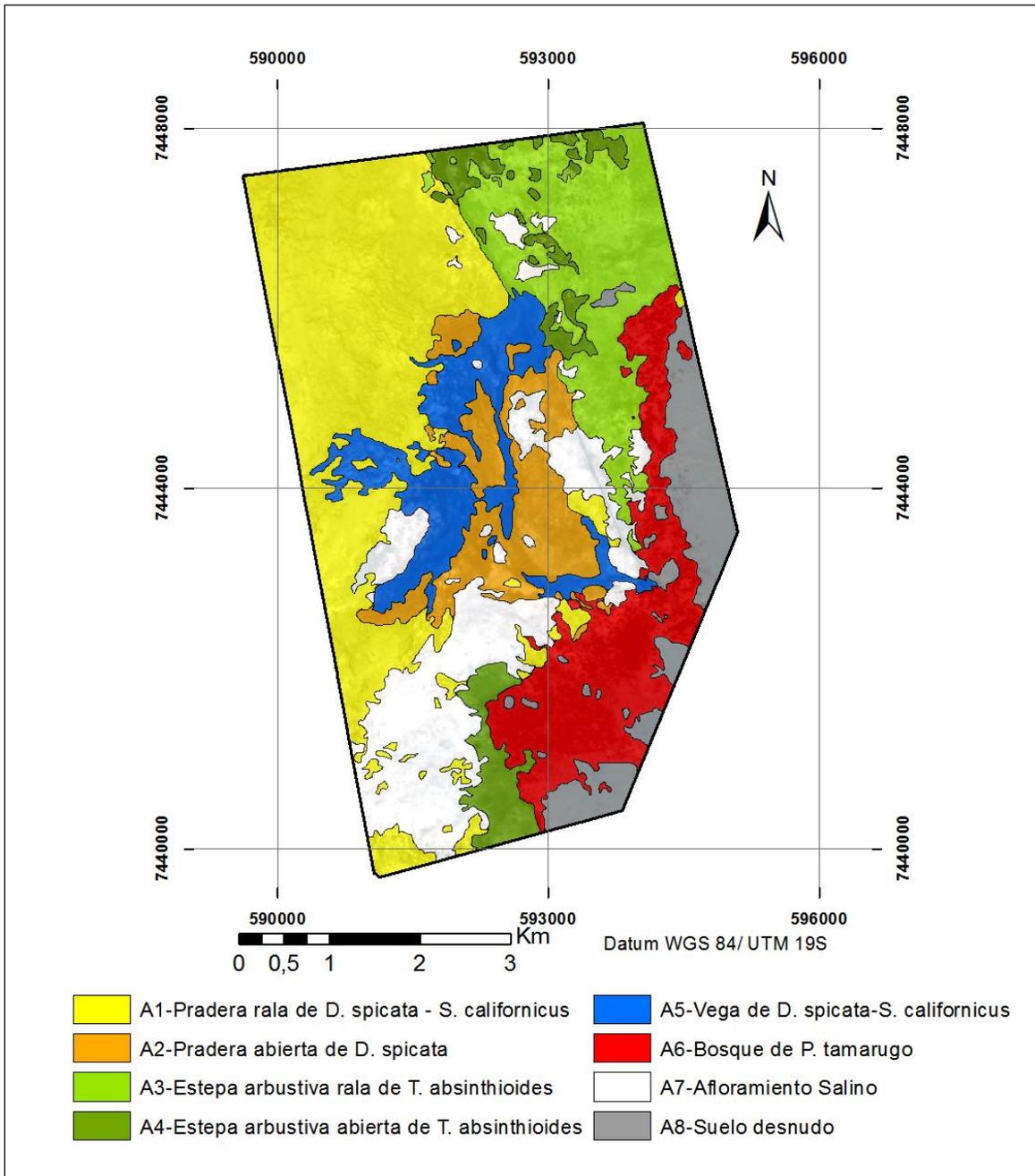


Figura 7. Carta de pastizales obtenida en el área del estudio. Fuente: Elaboración propia, 2016.

Los terrenos de pastoreo diferenciados fueron los siguientes: A1) Pradera rala de *Distichlis spicata* - *Scirpus californicus*; A2) Pradera abierta de *Distichlis spicata*; A3) Estepa arbustiva rala de *Tessaria absinthioides*; A4) Estepa arbustiva abierta de *Tessaria absinthioides*; A5) Vega de *Distichlis spicata* - *Scirpus californicus*; A6) Bosque de *Prosopis tamarugo*. Adicionalmente, se determinaron la presencia de Afloramientos salinos y Suelo

desnudo. La superficie y proporciones de cada uno de los elementos antes mencionados, se presenta en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Superficie ocupada por las asociaciones vegetales determinadas

| Asociación vegetal o tipo de pastizal | Código de identificación | Superficie (ha) | Proporción (%) |
|--|--------------------------|-----------------|----------------|
| Pradera rala de <i>D. spicata</i> - <i>S. californicus</i> | A1 | 936 | 28,7 |
| Pradera abierta <i>D. spicata</i> | A2 | 296 | 9,1 |
| Estepa arbustiva rala de <i>T. absinthioides</i> | A3 | 444 | 13,6 |
| Estepa arbustiva abierta de <i>T. absinthioides</i> | A4 | 167 | 5,1 |
| Vega <i>D. spicata</i> - <i>S. californicus</i> | A5 | 289 | 8,9 |
| Bosque de <i>P. tamarugo</i> | A6 | 422 | 12,9 |
| Afloramiento salino | A7 | 475 | 14,6 |
| Suelo desnudo | A8 | 234 | 7,2 |
| | Total | 3.263 | 100 |

Elaboración propia, 2016.

La asociación que posee mayor superficie corresponde a Pradera rala de *Distichlis spicata*-*Scirpus californicus*, ocupando un 28,7% de la superficie total del área en estudio. La clase con menor representatividad es la Estepa arbustiva abierta de *Tessaria absinthioides*, con un 5,1%, sin embargo, si su área se suma a Estepa arbustiva rala de *Tessaria absinthioides* se obtiene un área de 611 hectáreas, correspondiendo al 18,7%, obteniendo mayor importancia relativa. Las coberturas de suelo que no corresponden a asociaciones vegetales, fueron Afloramiento salino, la cual ocupa el segundo lugar en cantidad de superficie (14,6%, respecto al área total en estudio), y Suelo desnudo, ocupando solo 234 hectáreas, siendo la clase con menor superficie.

3.2. Cobertura y composición botánica de los pastizales.

En la Figura 8 se muestra la ubicación de las exclusiones y su correspondiente línea de evaluación, estas se identificaron con un código que indica la formación a la que pertenecen. Las coordenadas geográficas de cada una de estas unidades de evaluación se presenta en el Apéndice IV.

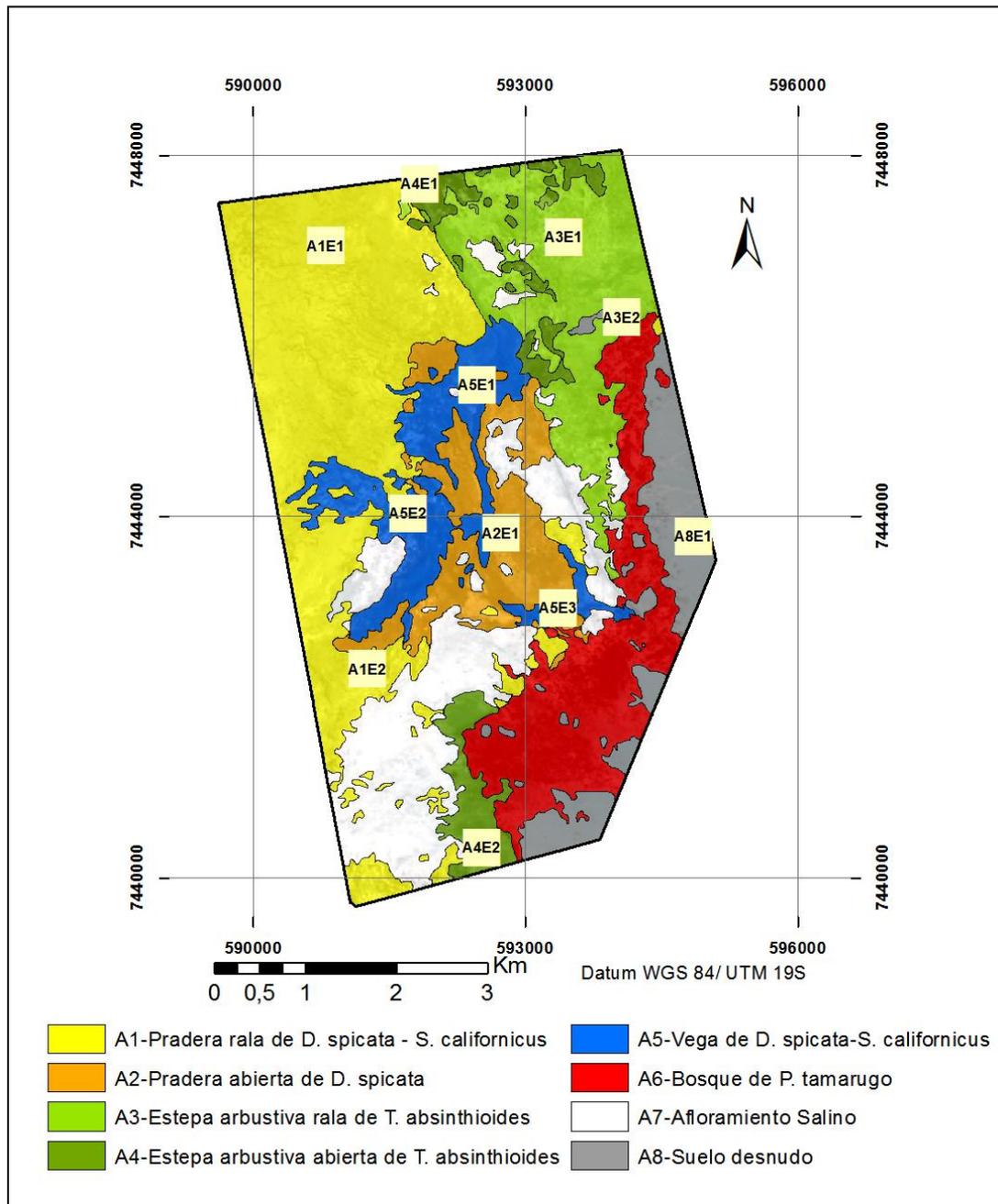


Figura 8. Ubicación de las parcelas de exclusión y sus correspondientes líneas de evaluación instaladas en cada una de los tipos de pastizales identificados¹. Fuente: Elaboración propia, 2016.

A continuación se presentan los resultados de cobertura y composición botánica en cada uno

¹ De acuerdo a la metodología utilizada para definir el número de exclusiones, se determinó que sería necesario instalar 13 parcelas, lo cual en la práctica se redujo a 11, debido a que algunas zonas presentaron suelos muy blandos por el efecto de la presencia de costras salinas y a la acción del roedor *Ctenomys fulvus* (chululo o tuco-tuco del norte), el cual cava grandes redes de túneles bajo el suelo, imposibilitando el acceso a estas áreas mediante vehículo.

de los tipos de pastizales. El detalle de la información obtenida en cada línea de evaluación puede ser consultada en el Apéndice V.

A1 - Pradera rala de *Distichlis spicata*- *Scirpus californicus*

Este tipo de pastizal presenta una cobertura vegetal baja, de alrededor del 16%. Más del 80% corresponde a suelo desnudo, formado por costra salina, propia del Salar de Atacama (Figura 9). Las principales especies que se pueden encontrar son *Distichlis spicata* y *Scirpus californicus* (Cuadro 4).

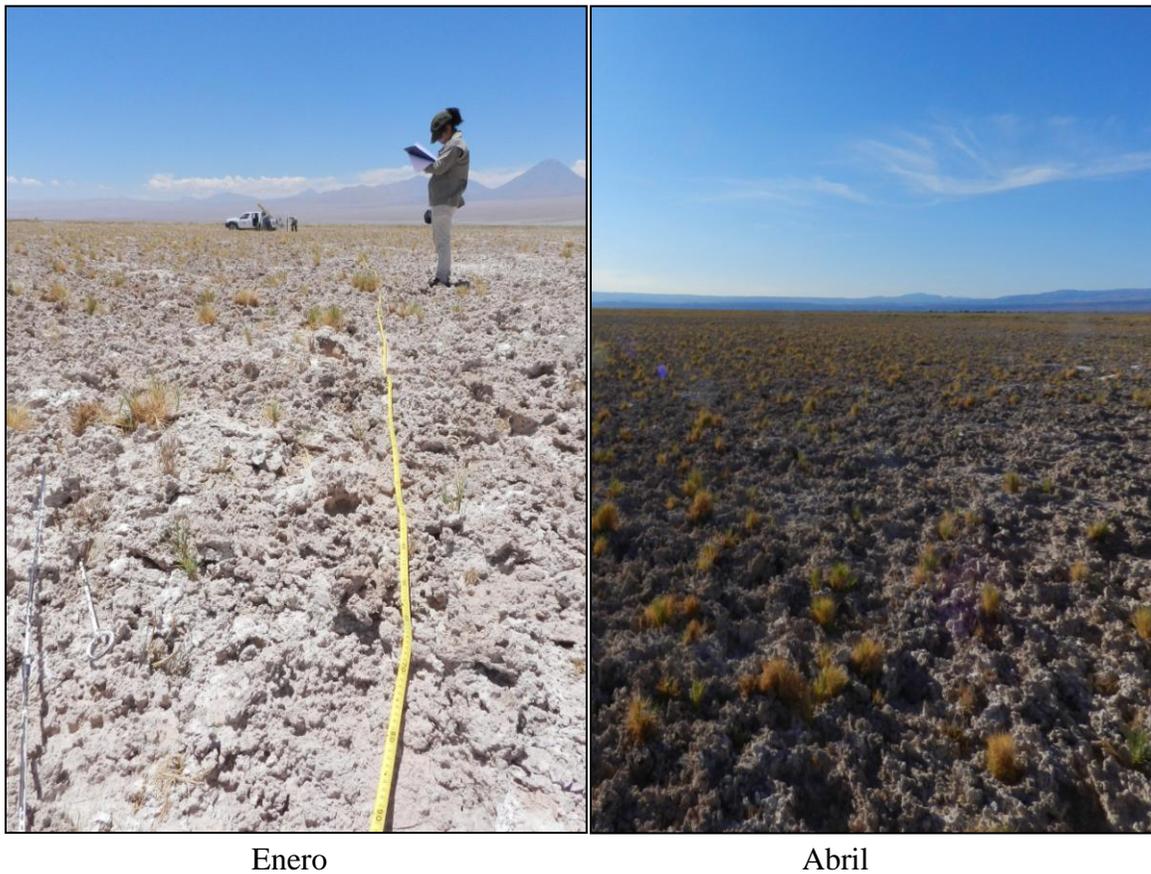


Figura 9. Pradera rala de *Distichlis spicata*- *Scirpus californicus*. Reserva Nacional Los Flamencos, sector Bosque de Tambillo. Fuente: Elaboración propia, 2016.

Cuadro 4. Composición botánica y cobertura del sitio de Pradera rala de *Distichlis spicata*- *Scirpus californicus*.

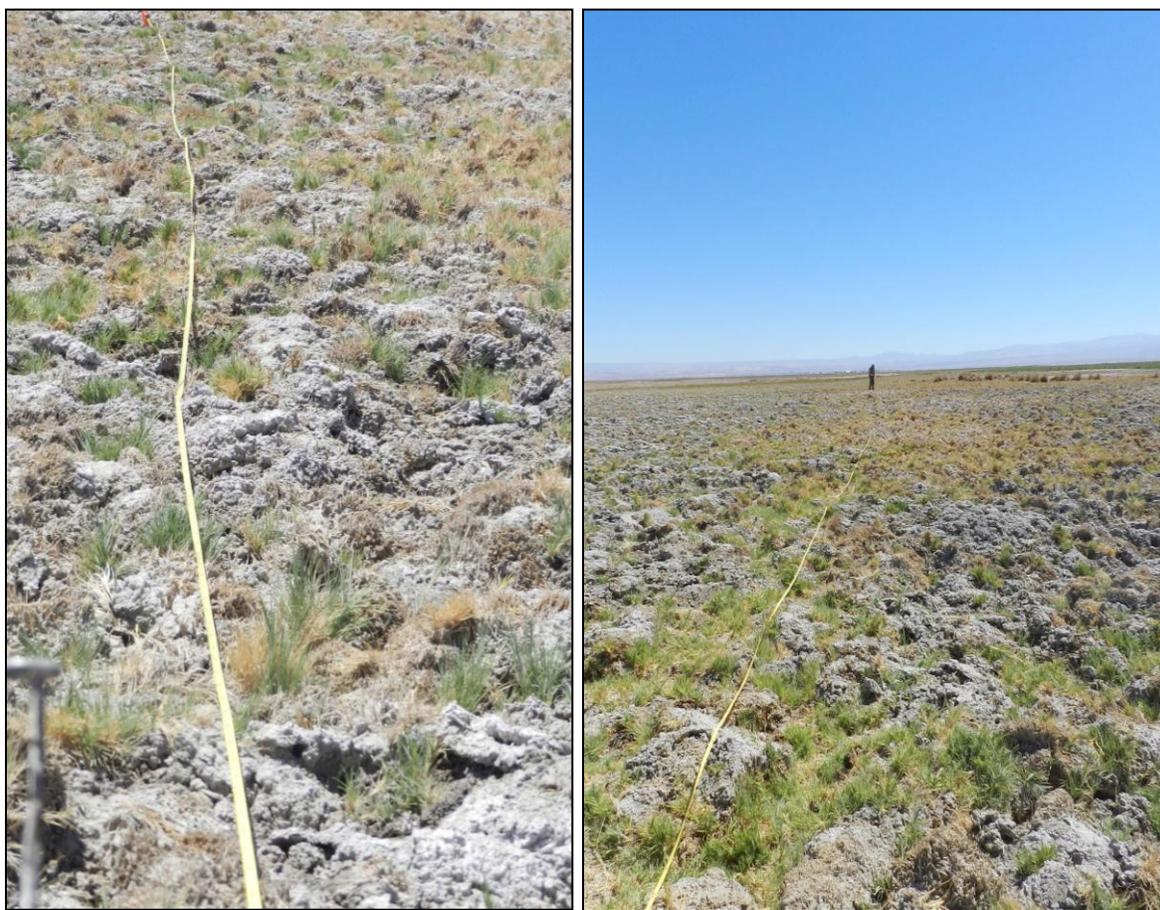
| Especie vegetal | Enero | Abril | Promedio |
|-----------------------------|--------------|--------------|-----------------|
| <i>Distichlis spicata</i> | 37,0 | 48,7 | 42,9 |
| <i>Scirpus californicus</i> | 62,9 | 51,3 | 57,1 |
| Cobertura (%) | 13,5 | 19,5 | 16,5 |

| Especie vegetal | Enero | Abril | Promedio |
|------------------------|--------------|--------------|-----------------|
| Suelo desnudo | 86,5 | 80,5 | 83,5 |
| Mantillo | 0 | 0 | 0 |
| Rocas y Piedras | 0 | 0 | 0 |
| Total | 100 | 100 | 100 |

Valores obtenidos del promedio de 2 líneas de evaluación. Fuente: Elaboración propia, 2016.

A2- Pradera abierta de *Distichlis spicata*.

La presente formación tiene características similares a la anterior (Figura 10), sin embargo, presenta una mayor densidad vegetal de alrededor del 30%, y sólo se evidenció la presencia de una especie dominante correspondiente a *Distichlis spicata* (Cuadro 5).



Enero

Abril

Figura 10. Pradera abierta de *Distichlis spicata*. Reserva Nacional Los Flamencos, sector Bosque de Tambillo. Fuente: Elaboración propia, 2016.

Cuadro 5. Composición botánica y cobertura del sitio de Pradera abierta de *Distichlis spicata*.

| Especie vegetal | Enero | Abril | Promedio |
|---------------------------|--------------|--------------|-----------------|
| <i>Distichlis spicata</i> | 100 | 100 | 100 |
| Cobertura (%) | 36 | 27 | 31,5 |
| Suelo desnudo | 61 | 68 | 64,5 |
| Mantillo | 3 | 5 | 4 |
| Rocas y Piedras | 0 | 0 | 0 |
| Total | 100 | 100 | 100 |

Valores obtenidos 1 línea de evaluación. Fuente: Elaboración propia, 2016.

A3-Estapa arbustiva rala de *Tessaria absinthioides*.

Este tipo de pastizal se caracteriza por ser dominado por la especie *Tessaria absinthioides* (Brea) (Figura 11). Posee una cobertura vegetal del 15,5% y una superficie de suelo desnudo de 82% (Cuadro 6).

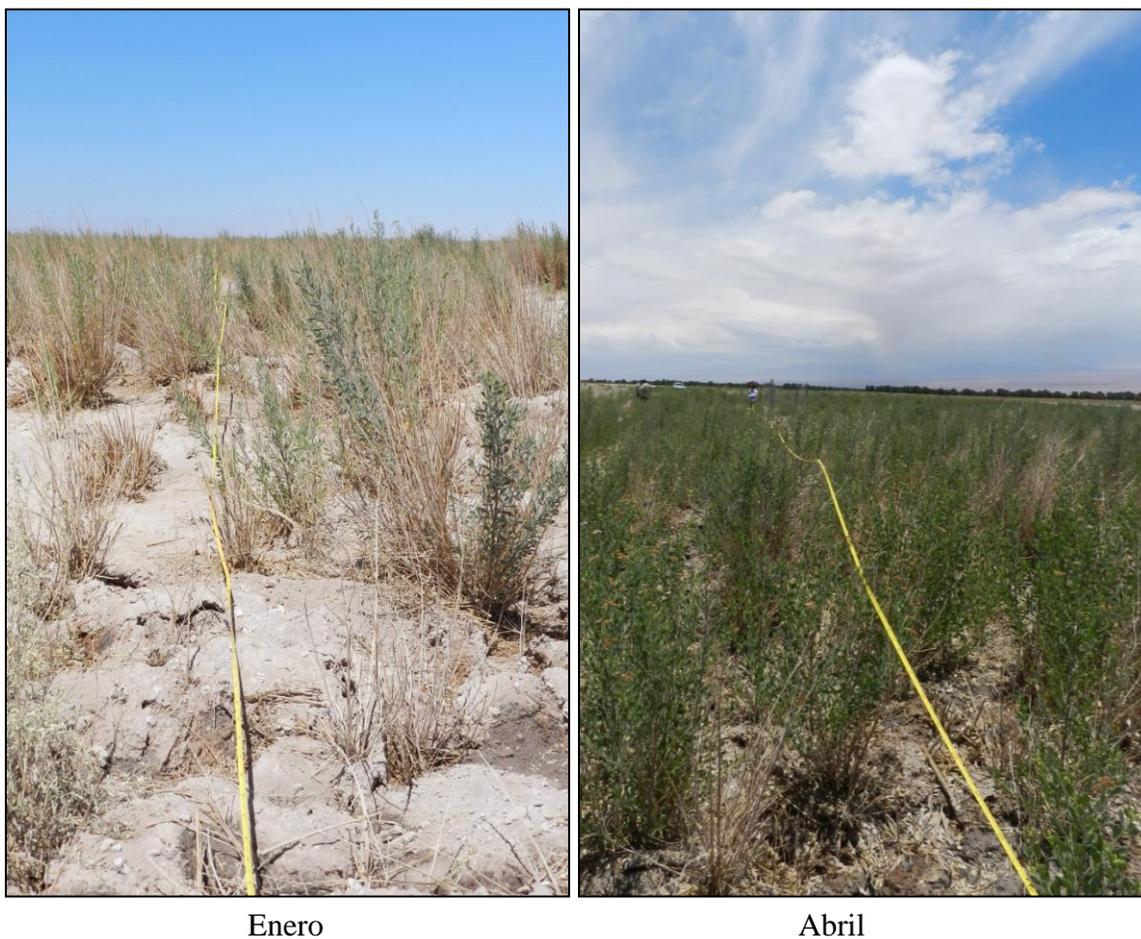


Figura 11. Estepa arbustiva rala de *Tessaria absinthioides*. Reserva Nacional Los Flamencos, sector Bosque de Tambillo. Región de Antofagasta, Chile. Fuente: Elaboración propia, 2016.

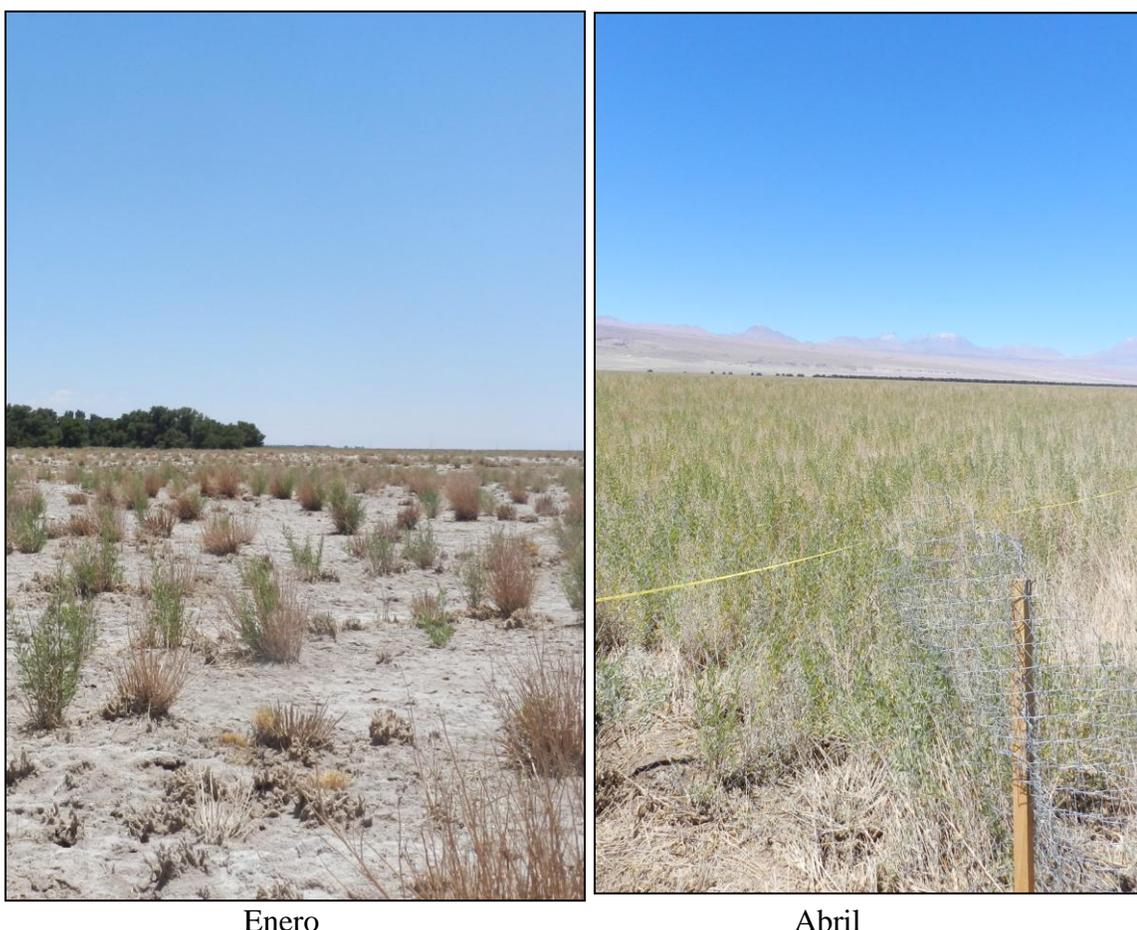
Cuadro 6. Composición botánica y cobertura del sitio de Estepa arbustiva rala de *Tessaria absinthioides*

| Especie vegetal | Enero | Abril | Promedio |
|-------------------------------|-------|-------|----------|
| <i>Tessaria absinthioides</i> | 100 | 100 | 100 |
| Cobertura (%) | 17,5 | 13,5 | 15,5 |
| Suelo desnudo | 80 | 84,5 | 82,25 |
| Mantillo | 2,5 | 2 | 2,25 |
| Rocas y Piedras | 0 | 0 | 0 |
| Total | 100 | 100 | 100 |

Valores obtenidos del promedio de 2 líneas de evaluación. Fuente: Elaboración propia, 2016

A4-Estepa arbustiva abierta *Tessaria absinthioides*.

Similar a la asociación anterior, formación con la especie dominante *Tessaria absinthioides* (Figura 12) pero con coberturas vegetales mayores, del 48%, con presencia de 48% de la superficie como suelo desnudo, y más del 3% de mantillo (Cuadro 7).



Enero

Abril

Figura 12. Estepa arbustiva abierta de *Tessaria absinthioides*. Reserva Nacional Los Flamencos, sector Bosque de Tambillo. Región de Antofagasta, Chile. Fuente: Elaboración propia, 2016.

Cuadro 7. Composición botánica y cobertura del sitio de Estepa arbustiva abierta de *Tessaria absinthioides*.

| Especie vegetal | Enero | Abril | Promedio |
|-------------------------------|--------------|--------------|-----------------|
| <i>Tessaria absinthioides</i> | 100 | 100 | 100 |
| Cobertura (%) | 43 | 53,5 | 48,25 |
| Suelo desnudo | 53 | 44 | 48,5 |
| Mantillo | 4 | 2,5 | 3,25 |
| Rocas y Piedras | 0 | 0 | 0 |
| Total | 100 | 100 | 100 |

Valores obtenidos del promedio de 2 líneas de evaluación. Fuente: Elaboración propia, 2016

A5-Vega de *Distichlis spicata* - *Scirpus californicus*

Esta formación presenta un hidromorfismo permanente, siendo atravesada por cursos de agua superficial. La formación vegetal se define como una de tipo herbácea densa, con una cobertura vegetal promedio de 70%. No presenta rocas ni piedras en superficie, siendo el porcentaje de suelo desnudo de un 26%, evidenciando presencia de mantillo. La cobertura vegetal es dominada por *Distichlis spicata* y *Scirpus californicus*. También es posible detectar la presencia, pero en bajos porcentajes de *Ranunculus sp.*, *Atriplex glaucescens* y *Festuca deserticola* (Figura 13). La composición botánica del sitio antes descrito, se presenta en el Cuadro 8.



Enero

Abril

Figura 13. Vega de *Distichlis spicata* - *Scirpus californicus*. Reserva Nacional Los Flamencos, sector Bosque de Tambillo. Región de Antofagasta, Chile. Fuente: Elaboración propia, 2016.

Cuadro 8. Composición botánica y cobertura del sitio de Vega de *Distichlis spicata*-*Scirpus californicus*.

| Especie vegetal | Enero | Abril | Promedio |
|-----------------------------|--------------|--------------|-----------------|
| <i>Distichlis spicata</i> | 66,5 | 50,9 | 58,7 |
| <i>Scirpus californicus</i> | 32,5 | 47,3 | 39,9 |
| <i>Ranunculus sp.</i> | 0,0 | 0,4 | 0,2 |
| <i>Atriplex glaucescens</i> | 1,0 | 0,0 | 0,5 |
| <i>Festuca deserticola</i> | 0,0 | 1,3 | 0,7 |
| Cobertura (%) | 65,7 | 74,7 | 70,2 |
| Suelo desnudo | 33,7 | 20,0 | 26,8 |
| Mantillo | 0,7 | 5,0 | 2,8 |
| Rocas y Piedras | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Total | 100 | 100 | 100 |

Valores obtenidos del promedio de 3 líneas de evaluación. Fuente: Elaboración propia, 2016.

A6-Bosque de *Prosopis tamarugo*.

Corresponde a una plantación monoespecífica de *Prosopis tamarugo* que se caracteriza por estar compuesta de árboles coetáneos de aproximadamente 43 años. Fueron plantados con un distanciamiento de 15 metros (densidad de 44 individuos por hectárea) (Figura 14). Las zonas más densas presentan una cobertura de alrededor del 55% y aquellas más ralas llegan al 25% (Vita *et al.*, 2007).



Figura 14. Bosque de *Prosopis tamarugo*. Reserva Nacional Los Flamencos, sector Bosque de Tambillo. Región de Antofagasta, Chile. Fuente: Elaboración propia, 2016.

A7-Afloramiento salino

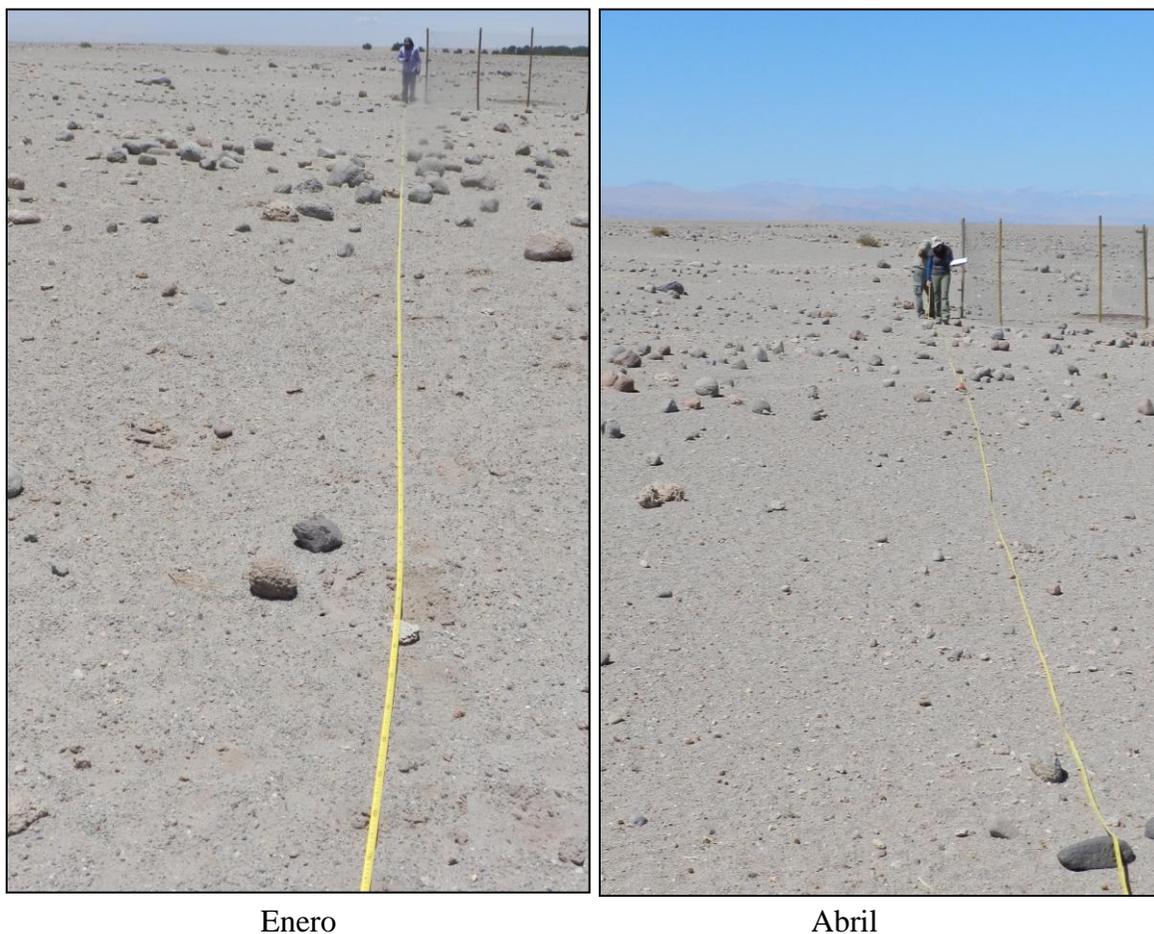
Esta zona se encuentra compuesta por una costra salina continua que contiene una salmuera intersticial de cloruro de sodio rica en magnesio, potasio, litio y boro (Richaser, 1996). Se caracteriza por poseer ausencia de vegetación, por lo que no se instalaron parcelas de exclusión en estos sitios (Figura 15).



Figura 15. Afloramientos salinos presentes en el sector Bosque de Tambillo de la Reserva Nacional Los Flamencos. Fuente: Elaboración propia, 2016.

A8-Suelo Desnudo

Corresponde a una formación de suelos del orden Entisol, que se localiza en la zona sur oriente del sector Bosque de Tambillo. Tiene un alto contenido salino, pero se encuentra adyacente al cuerpo salino y no presenta costras de sal. Al realizar la medición de cobertura de suelo, mediante transectos, se encontró un 95% de suelo desnudo y un 5% de rocas y piedras (Figura 16, Cuadro 9). Sin embargo se evidenció la presencia de *Tiquilia atacamensis* en proporciones marginales.



Enero

Abril

Figura 16. Formación Suelo desnudo. Reserva Nacional Los Flamencos, sector Bosque de Tambillo. Región de Antofagasta, Chile. Fuente: Elaboración propia, 2016.

Cuadro 9. Composición botánica y cobertura del sitio de Suelo desnudo

| Especie vegetal | Enero | Abril | Promedio |
|------------------------|--------------|--------------|-----------------|
| - | 0 | 0 | 0 |
| Cobertura (%) | 0 | 0 | 0 |
| Suelo desnudo | 92 | 98 | 95 |
| Mantillo | 0 | 0 | 0 |
| Rocas y Piedras | 8 | 2 | 5 |
| Total | 100 | 100 | 100 |

Valores obtenidos de 1 línea de evaluación. Fuente: Elaboración propia, 2016.

3.2 Producción de Materia seca de los pastizales

Los valores de producción anual de MS, en cada uno de los tipos de pastizales del área del estudio, se presentan en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Cosecha de fitomasa por parcela de exclusión (cosecha realizada entre el 27 de marzo y el 01 de abril de 2014).

| Asociación vegetal o tipo de pastizal | Superficie (ha) | Código exclusión | Fitomasa parcela (g m⁻²) | Fitomasa unidad (kg ha⁻¹ año⁻¹) |
|--|------------------------|-------------------------|--|--|
| Pradera rala de <i>D. spicata</i> - <i>S. californicus</i> | 936 | A1E1 | 3,00 | 51,7 |
| | | A1E2 | 7,35 | |
| Pradera abierta <i>D. spicata</i> | 296 | A2E1 | 25,93 | 259,3 |
| Estepa arbustiva rala <i>T. absinthioides</i> | 444 | A3E1 | 0,32 | 25,4 |
| | | A3E2 | 4,75 | |
| Estepa abierta de <i>T. absinthioides</i> | 167 | A4E1 | 9,2 | 66,0 |
| | | A4E2 | 4 | |
| Vega <i>D. spicata</i> - <i>S. californicus</i> | 289 | A5E1 | 6,25 | 161,3 |
| | | A5E2 | 13,61 | |
| | | A5E3 | 28,53 | |
| Bosque de <i>P. tamarugo</i> | 422 | - | - | 1.478,0 ¹ |
| Afloramiento Salino | 475 | - | 0,0 | 0,0 |
| Suelo desnudo | 234 | A8E1 | 0,0 | 0,0 |

Fuente: Elaboración propia, 2016.

¹En el caso de la asociación Bosque de Tamarugo, dado que se obtuvo en base al estudio realizado por Altamirano (1998), Vita *et al.* (2007) recomienda que este cálculo sea ratificado y/o ajustado en base a mediciones actuales de productividad del bosque.

La información levantada en terreno es de suma importancia, tanto para la validación de las coberturas vegetales determinadas mediante métodos digitales, como para la estimación de materia seca que produce cada asociación. En el estudio sólo se evaluó una temporada de crecimiento vegetal, por lo que para obtener datos respecto del desarrollo de la vegetación frente a distintas variables climáticas (por ejemplo la diferencia entre un año seco de un año húmedo o un año frío de uno con altas temperaturas) es necesario tomar mediciones constantes durante varias temporadas, y en cada una, deben hacerse las correcciones que correspondan, de acuerdo a la evolución de la cobertura vegetal, de la condición de esta y de la productividad del ganado.

Para el caso del bosque de Tamarugo se hace necesario realizar un estudio de su producción de fitomasa aérea, para conocer con mayor precisión su capacidad de carga.

3.3. Carga Animal Actual

La información obtenida respecto del número de animales de diferentes especies de ungulados que pastorean el lugar, se presenta en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Cantidad de animales que son pastoreados en el sector Bosque de tambillo

| Especie | Hembras | Machos | Crías |
|---------------------|----------------|---------------|--------------|
| Cabras | 420 | 10 | 160 |
| Ovejas | 120 | 20 | 30 |
| Llamas | 20 | 2 | 10 |
| Burros (estimación) | 40 | 8 | 15 |

Fuente: Elaboración propia en base a información de CONAF, 2016.

No existe información relativa a la cantidad de burros ferales que hay en el sector, en este caso los guardaparques estimaron su cantidad según avistamientos, sin embargo es probable que dicho valor sea bastante mayor, dada la extensión del área de estudio.

Las medidas zoométricas para la estimación del peso vivo de las distintas especies se presentan en el Cuadro 12 para cabras, ovejas y llamas. Las medidas resultantes de cada individuo se encuentran en el Apéndice VI.

Cuadro 12. Medidas zoométricas y estimaciones del peso vivo de cabras, ovejas y llamas (promedio \pm desviación estándar).

| Animal | N° de individuos medidos | Largo del Cuerpo (cm) | Perímetro de tórax (cm) | Peso vivo estimado (kg) | |
|---------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------|
| Caprinos | Hembras | 12 | 85,4 \pm 6 | 85,1 \pm 3 | 42,9 \pm 6 |
| | Machos | 3 | 84,7 \pm 8 | 88,6 \pm 12 | 45,8 \pm 10 |
| | Crías | 5 | 71,2 \pm 4 | 74,2 \pm 4 | 27,5 \pm 3 |
| Ovinos | Hembras | 12 | 81,6 \pm 4 | 87,8 \pm 4 | 51,1 \pm 6 |
| | Machos | 3 | 89,0 \pm 9 | 95,5 \pm 4 | 60,4 \pm 6 |
| | Crías | 5 | 74,2 \pm 8 | 78,8 \pm 6 | 37,6 \pm 8 |
| Llamas | Hembras | 6 | 114,0 \pm 8 | 123,8 \pm 6 | 105,8 \pm 11 |
| | Machos | 1 | 102,0 \pm 0 | 173 \pm 0 | 147,1 \pm 0 |
| | Crías | 2 | 65,5 \pm 14 | 70 \pm 12 | 28,8 \pm 15 |

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Con la estimación del peso animal se aplicó la ecuación propuesta por Vallentine (2001), para el cálculo de equivalencias ganaderas, para de ese modo determinar el número de Unidades Animales (UA) correspondiente a cada especie y categoría (Cuadro 13).

Cuadro 13. Equivalencias ganaderas (EG) por especie y categoría animal

| Caprinos | Cantidad | Peso vivo (kg) | EG (UA) | UA total |
|-----------------|-----------------|-----------------------|----------------|-----------------|
| Hembras | 420 | 42,9 | 0,170 | 71,538 |
| Machos | 10 | 45,8 | 0,179 | 1,791 |
| Cabritillas | 160 | 27,5 | 0,122 | 19,539 |

| Ovinos | Cantidad | Peso vivo (kg) | EG (UA) | UA total |
|---------------|-----------------|-----------------------|----------------|-----------------|
| Hembras | 120 | 51,1 | 0,194 | 23,306 |
| Machos | 20 | 60,4 | 0,220 | 4,402 |
| Corderos | 30 | 37,6 | 0,155 | 4,650 |

| Llamas | Cantidad | Peso vivo (kg) | EG (UA) | UA total |
|---------------|-----------------|-----------------------|----------------|-----------------|
| Hembras | 20 | 105,8 | 0,335 | 6,708 |
| Machos | 2 | 147,1 | 0,429 | 0,859 |
| Crías | 10 | 28,8 | 0,126 | 1,264 |

| Burros (estimación) | Cantidad | Peso vivo (kg) | EG (UA) | UA total |
|----------------------------|-----------------|-----------------------|----------------|-----------------|
| Hembras | 40 | 216 | 0,573 | 22,914 |
| Machos | 8 | 231 | 0,602 | 4,820 |
| Crías | 15 | 73,6 | 0,255 | 3,832 |

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Por lo tanto, la carga animal actual en unidades animales corresponde a la sumatoria de las equivalencias ganaderas de cada categoría de las distintas especies (Cuadro 16), siendo este valor **165,62 unidades animales**.

3.4. Estimación de Capacidad de Carga Animal

Los resultados de la capacidad de carga obtenida según asociación vegetal se presentan en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Capacidad de carga animal total y por unidad vegetal

| Unidad de vegetación | Superficie (ha) | Superficie ponderada (%) | PPN (kg ha ⁻¹ año ⁻¹) | PSP | FUA | Fpend | FDAgua | CC (UA ha ⁻¹ año ⁻¹) | CC ponderada (UA ha ⁻¹ año ⁻¹) | CC total (UA año ⁻¹) |
|--|-----------------|--------------------------|--|-----|-----|-------|--------|---|---|----------------------------------|
| Afloramiento Salino | 475 | 14,6 | 0,0 | 0 | 0,0 | 1 | 1 | 0,000 | 0,0000 | 0,000 |
| Pradera rala de <i>D. spicata</i> - <i>S. californicus</i> | 936 | 28,7 | 51,7 | 1 | 0,4 | 1 | 1 | 0,005 | 0,0014 | 4,423 |
| Pradera abierta de <i>D. spicata</i> | 296 | 9,1 | 259,3 | 1 | 0,4 | 1 | 1 | 0,024 | 0,0021 | 7,008 |
| Bosque de <i>P. tamarugo</i> | 422 | 12,9 | 1478,0 | 1 | 0,3 | 1 | 1 | 0,101 | 0,0131 | 42,720 |
| Suelo desnudo | 234 | 7,2 | 0,0 | 0 | 0,0 | 1 | 1 | 0,000 | 0,0000 | 0,000 |
| Estepa arbustiva rala de <i>T. absinthioides</i> | 444 | 13,6 | 25,4 | 1 | 0,3 | 1 | 1 | 0,002 | 0,0002 | 0,771 |
| Estepa abierta de <i>T. absinthioides</i> | 167 | 5,1 | 66,0 | 1 | 0,3 | 1 | 1 | 0,005 | 0,0002 | 0,755 |
| Vega de <i>D. spicata</i> - <i>S. californicus</i> | 289 | 8,9 | 161,3 | 1 | 0,4 | 1 | 1 | 0,015 | 0,0013 | 4,257 |
| Total | 3263 | 100 | | | | | | | 0,0184 | 59,934 |

Fuente: Elaboración propia

Donde; PMSA: Producción promedio de materia seca anual; PSP: Porcentaje de especies palatables; FUA: Factor de uso apropiado; Fpend: Factor de pendiente; FDAgua: Factor de distancia a fuentes de agua; CC: Capacidad de carga animal; CC ponderada: corresponde al producto entre la CC y la superficie ponderada.

* Los valores del Factor de Uso Adecuado (FUA) se asignaron en función del tipo de vegetación presente en el lugar; matorral desértico de salar, pradera desértica, vega hidromórfica, entre otros. Se determinó, que aquellas asociaciones vegetales que poseyeran vegetación herbácea, un FUA de 0,4 y aquellas con vegetación leñosa un FUA=0,3, dado las distintas velocidades de regeneración de la vegetación.

**El Factor de pendiente (Fpend) y de distancia a fuentes de agua (FDAgua), se consideraron con valor 1, ya que las pendientes del sector no superan los 10° y existen fuentes de agua (vegas y bebederos) a menos de 2 km desde el punto más alejado del área de estudio, por lo que no se consideraron como factores de restricción para el pastoreo de ganado.

Según la tabla anterior se obtiene finalmente una **Capacidad de Carga total de 59,87 Unidades Animales anuales**. Siendo el Bosque de Tamarugo, la formación con mayor productividad y la que admitiría una carga mayor de animales.

El Coeficiente de Intensidad de explotación (I_e), según la carga actual de 165,62 UA y la capacidad de carga estimada, corresponde a 2,766. Esto indica que el sector tiene un alto sobrepastoreo, evidenciándose que los pastizales se estarían degradando y el ganado se mantiene debido a la acumulación de biomasa vegetal ya existente.

Las unidades vegetales con mayor capacidad de carga animal corresponden al bosque de *Prosopis tamarugo* y vega de *Distichlis spicata* - *Scirpus californicus*. En esta última se observó en terreno mayor concentración de ganado, infiriéndose que se debe a la presencia de fuentes de agua superficial de mayor tamaño durante todo el año, lo que genera una preferencia por parte del ganado en permanecer en esta unidad vegetal.

Durante las campañas en terreno, en la totalidad de formaciones vegetales se observaron a simple vista gran cantidad de senderos de tránsito animal y zonas de descanso. Estas zonas poseen suelos con señales de mayor compactación y una marcada disminución o nula cobertura vegetal, lo que puede ser un indicio de que las unidades vegetales se encuentran en procesos de degradación (Figura 17).

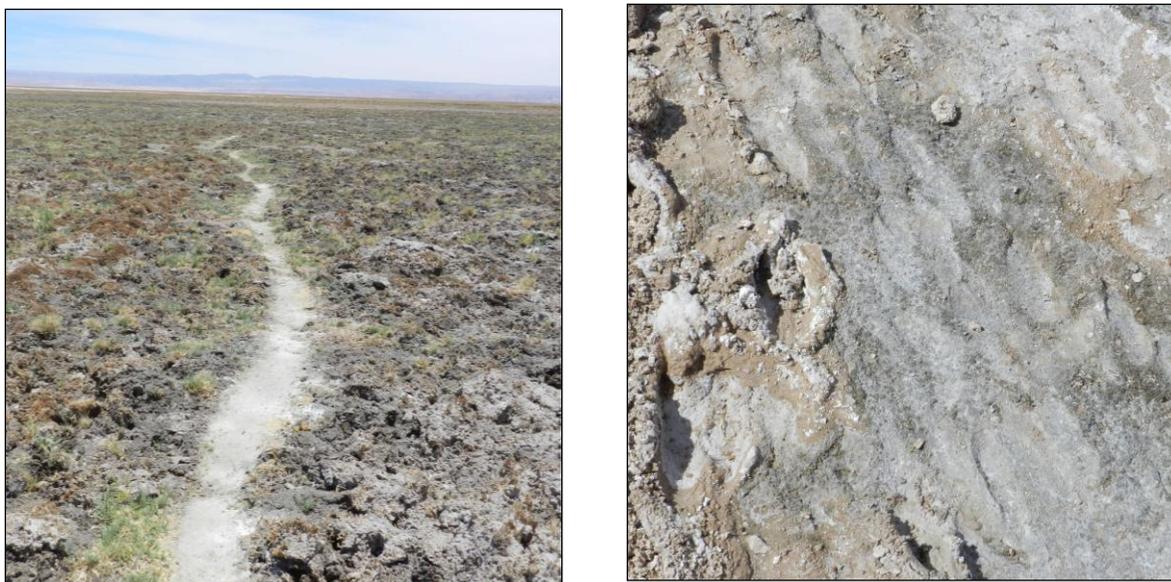


Figura 17. Sendero originado por el tránsito de animales (izquierda). Huellas de ganado impresas en el terreno (derecha). Fuente: Elaboración propia, 2015.

El estudio realizado por Yu *et al.* (2010) estimó la capacidad de carga de una región en China, utilizando el análisis de imágenes satelitales (en este caso imágenes MODIS) y una

clasificación supervisada para determinar distintas unidades de vegetación, para esto aplicó distintos índices de vegetación incluyendo el NDVI. Para la estimación de fitomasa disponible utilizó modelos climáticos, lo que originó que algunas coberturas fueran clasificadas erróneamente, ocasionando una sobre estimación en la producción de materia seca y, por ende, de la capacidad de carga del sistema.

Asimismo el estudio de Frederiksen (2010), realizado para el altiplano chileno (Región de Arica y Parinacota, y Región de Tarapacá), estima la producción anual de biomasa mediante la integración de modelos topoclimáticos y de simulación de la productividad primaria. De esta forma, para la estimación de capacidad de carga en diversos ecosistemas en el país, se evidencia la importancia de la toma de datos y/validación en terreno, en especial para la clasificación de los tipos coberturas y el cálculo de fitomasa generada en cada una de estas. En el citado estudio se obtuvo una CC de 0,002 y 0,00085 UA ha⁻¹ año⁻¹ en asociaciones de pajonal y pajonal – tolar, respectivamente. Comparando estos montos con los obtenidos en las asociaciones vegetales de pradera de *D. spicata* (0,005 y 0,024 UA ha⁻¹ año⁻¹ en pradera rala y abierta respectivamente) se evidencia que existe mayor CC en las praderas del sector Tambillo.

Se han realizado otros estudios en las zonas altioplánicas de la provincia de Parinacota, mediante el método del Valor Pastoral (Daget et Poissonet, 1971). Troncoso (1983), estimó la CC teórica global obteniendo valores de 0,111 y 0,097 UA para las asociaciones pajonal y pajonal - tolar respectivamente. Castellaro *et al.* (1998), obtuvieron cifras de 0,31 y 0,36 UA ha⁻¹ año⁻¹, para bofedales. En este caso, los valores de CC en praderas distan de los resultantes en las asociaciones pajonal y pajonal-tolar del estudio de Troncoso (1983), siendo montos menores.

Posteriormente, aplicando la metodología de estimación de la condición y la producción anual de Materia Seca de la pradera, se estimaron valores entre 0,0056 y 0,0133 UA ha⁻¹ año⁻¹ para formaciones arbustivas (Castellaro y Araya, 2012). Los valores obtenidos en el presente estudio para formaciones arbustivas (Estepa arbustiva de *T. absinthioides*) ascienden a 0,002 y 0,005 UA ha⁻¹ año⁻¹, los cuales se encuentran en órdenes de magnitudes cercanos.

Los estudios antes citados corresponden a los pocos realizados en la zona norte de Chile y están enfocados en camélidos sudamericanos, particularmente Vicuña. En estos se evidencian diferencias en las asociaciones vegetales presentes, sin embargo los valores no distan mucho de los obtenidos en el sector Bosque de Tambillo de la Reserva Nacional Los Flamencos.

Por otra parte, en el estudio realizado en el marco del Plan de Acción Santiago Andino (Castellaro *et al.*, 2011), el cual estimó la CC ganadera en ecosistemas de montaña en la comuna San José de Maipo, Región Metropolitana. Se obtuvieron valores de CC en praderas

de vega entre 0,063 y 0,607 UA ha⁻¹ año⁻¹. En formaciones de matorrales (estepas arbustivas), los valores oscilaron entre 0,063 y 0,193 UA ha⁻¹ año⁻¹. Estos valores fueron mayores a los obtenidos en el presente estudio, dada la ubicación geográfica, régimen pluviométrico y las características de las praderas que se presentan en la zona cordillerana de la Región Metropolitana, lo que permite un mayor crecimiento vegetal y capacidad de carga animal.

3.5. Recomendaciones de Manejo de Ganado en el sector Bosque de Tambillo

Se considera que el análisis cartográfico de clasificación supervisada realizado tiene ventajas desde el punto de vista de los recursos requeridos. Sin embargo, para obtener una mayor precisión respecto a las coberturas existentes en el lugar de estudio, se pueden adquirir imágenes satelitales con mayor resolución espacial, lo que puede facilitar significativamente la identificación de diferentes asociaciones vegetales.

El actual estudio da cuenta de un exceso de carga animal, donde las praderas se encuentran sobre utilizadas, de lo que se desprende que debiese disminuir la presión ganadera del sector. En primer lugar, se considera primordial que los burros ferales que están presentes en el área de estudio sean erradicados completamente, ya que su presencia representa un 19% de la carga animal actual. Si se excluyen los burros, la carga animal del área de estudio disminuiría a 134,06 UA.

Para lograr un uso adecuado de los pastizales y evitar su degradación, así como no poner en riesgo a la fauna silvestre del sector, la carga animal debe ser igual o menor a la capacidad de carga estimada (59,87 UA).

Se deben tomar medidas para mejorar la composición de los rebaños, eliminando aquellos animales improductivos, como también individuos enfermos o muy viejos (mayores a 7 años en el caso de caprinos), para de ese modo mantener una composición etaria adecuada y tener las proporciones apropiadas entre hembras, machos y crías.

Además, se pueden instalar bebederos en las unidades de vegetación que presenten un menor nivel de degradación, para incentivar que los animales se trasladen y disminuyan la presión en aquellas unidades vegetales más degradadas, las que generalmente se ubican cerca de las aguadas naturales.

Se sugiere estudiar los beneficios que se reciben por especie ganadera y priorizar una o dos. Preliminarmente, se tiene conocimiento de que los caprinos son la especie que posee mayores usos productivos (leche, carne, cuero) por lo tanto, estos se debiesen mantener. Si este fuera el caso, en que sólo pastorearan caprinos en el lugar, la carga animal sería de 92,86 UA, existiendo un excedente de 32,9 UA, el cual se puede ir reduciendo aplicando medidas de mejora en la composición del rebaño o bien sustentar dicha masa en base a forraje suplementario.

Para obtener mayor información que ayude a la toma de decisión respecto al manejo del ganado de la zona, es que se deben realizar estudios que midan la productividad del Bosque de Tamarugo, para así contar con un dato actualizado y de mayor precisión. Se recomienda

también estudiar la calidad de los pastizales de área a través de análisis bromatológico de las principales especies vegetales componentes de los mismos, para de esa forma estimar su real valor nutritivo. Como complemento de lo anterior, se sugiere realizar estudios de análisis dietarios para caracterizar la composición botánicas de las dietas y el grado de solapamiento trófico existente entre las diferentes especies ganaderas, aspectos que sirvan de base para la planificación de sistemas de pastoreo sustentables. También es relevante tener en cuenta que el presente estudio midió la producción de fitomasa del sector durante una sola temporada de crecimiento, por lo que la capacidad de carga puede ir variando en función de las precipitaciones que se presenten año a año (año lluvioso- año seco), por lo que esta variable debiese ser monitoreada a través del tiempo por un plazo no menor a 5 temporadas.

Se debe considerar que la zona en que se realizó el estudio forma parte de un área silvestre protegida que tiene un alto valor ecológico y posee múltiples funciones ecosistémicas. Esta forma parte del Salar de Atacama y presenta zonas de humedales, las cuales se consideran ecosistemas frágiles y escasos, ya que están inmersos en la Región del Desierto de Atacama, los cuales tienen importancia vital para diversas especies que los utilizan como lugar de paso, descanso, alimento y reproducción. Dada la relevancia ecológica del sector, es que se sugiere ir paulatinamente disminuyendo la carga animal actual, mediante un proceso que sea acordado en conjunto con los dueños de los animales y las cuidadoras que habitan en área, para que estos no se vean afectados drásticamente en términos económicos, culturales y sociales.

4. CONCLUSIONES

Las unidades de vegetación presentes en la zona pudieron ser identificadas mediante la generación de una carta de pastizales, utilizando diferentes procesos de análisis de imágenes satelitales y digitalizando los tipos de pastizales. No obstante en este tipo de análisis, es esencial la verificación y ajuste en terreno de estos resultados.

La producción de materia seca anual de las unidades de vegetación identificadas pudo ser estimada mediante la instalación de parcelas de exclusión, midiendo el crecimiento vegetal durante una temporada de crecimiento. Sin embargo, esta información refleja las características meteorológicas durante un determinado periodo de tiempo, por lo que estos datos se encuentran sujetos a las fluctuaciones climáticas de cada año.

La metodología utilizada permitió estimar la capacidad de carga anual en los pastizales estudiados, reflejando en forma adecuada las características territoriales del área en estudio. Se manifiesta la relevancia que posee la formación vegetal Vega de *Distichlis spicata* y *Scirpus californicus* en la sustentación del ganado presente en la zona.

Al apreciar los valores de carga animal y capacidad de carga obtenidos en este estudio, se concluye que en el área analizada existe un fuerte grado de sobre-pastoreo.

El valor obtenido de capacidad de carga del sector es referencial, debiendo ser complementado con estudios de selectividad y requerimientos nutricionales del ganado que utiliza las praderas. Se debe considerar también la posible variabilidad estacional y anual en la producción de materia seca, lo que implica realizar un monitoreo permanente de la capacidad de carga a través del tiempo.

Dado el valor y la fragilidad que presenta el Salar de Atacama, el cual se configura como una gran reserva de recursos naturales, los resultados del presente estudio permiten orientar la toma de decisiones respecto de las acciones que se deben realizar para optimizar las prácticas de manejo, evitar la degradación de las asociaciones vegetales presentes en la zona, y así apuntar hacia la conservación de los ecosistemas y a un desarrollo productivo adecuado, que se ajuste a la realidad territorial.

5. BIBLIOGRAFÍA

Ahumada, M. y L. Faúndez. 2001. Guía Descriptiva de las Praderas Naturales de Chile. Santiago, Chile: Ministerio de Agricultura. Servicio Agrícola y Ganadero. 98p.

Alonso, H. y F. Richaser. 1996. Geoquímica del salar de Atacama, parte 1: Origen de los componentes y balance salino. *Revista Geológica de Chile*. 23(2):113-122.

ALTAMIRANO, G.H. 1998. Reserva Nacional Los Flamencos., Región de Antofagasta. Inventario Forestal del sector Tambillo, Informe N° 1. Antofagasta, Chile.

Aluja, A., Tapia, G., López, F. & R. Pearson. 2005. Live Weight Estimation of Donkeys in Central Mexico from Measurements of Thoracic Circumference. *Tropical Animal Health and Production*. 37(1):159-171.

Bran, D y J. Ayesa. 1992. Clave de tipos fisonómicos presentes en Patagonia. En: Curso Planificación Integral de Campos, 1ro.;S.C. de Bariloche, Río Negro; INTA. EEA Bariloche. PRECODEPA T.1 7 p. Serie: Comunicaciones Técnicas Recursos Naturales. Pastizales Naturales N.4

Canseco, C., Demanet, R., Balocchi, R. Parga, J., Anwandter, V., Abarzúa, A., Teuber, N. y J. Lopetegui. Determinación de la disponibilidad de materia seca de praderas en pastoreo. Osorno, Chile: Universidad de La Frontera. 26 p.

Castellaro, G., C. Gajardo, Parraguez, V., Rojas, R. y L. Raggi. 1998. Productividad de un rebaño de camélidos sudamericanos domésticos en un sector de la provincia de Parinacota: I. Variación estacional de la composición botánica, disponibilidad de materia seca, valor pastoral y valor nutritivo de los bofedales. *Agric. Téc. (Chile)* 58: 191 - 204.

Castellaro, G.; Orellana, C.; Escanilla, J. 2013. Caracterización productiva de praderas hidromórficas en la alta cordillera de Cuncumén, IV Región de Coquimbo, Chile. I. Producción de materia seca y capacidad de carga. Libro de Resúmenes del XXXVIII Congreso Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal, Frutillar, Chile. Pp. 167-168.

Castellaro, G. y R. Araya. 2012. Manejo de Praderas altiplánicas. Antecedentes, descripción, evaluación y manejo. Santiago, Chile: Universidad de Chile. 65 p.

Castellaro, G., R. Araya, y J. P. Escanilla. 2011. Buenas prácticas para la actividad ganadera. Capítulo 2.2 pp. 42-67. En: Fredericksen, N.; J. Pérez y X. Contreras (Eds.). Manual de buenas prácticas para uso sustentable de ecosistemas de montaña. Plan de Acción Santiago

Andino. Sistemas de Producción Sustentables para Ecosistemas de Montaña. Sitios Prioritarios para la Conservación N° 4, 5 y 10. INNOVA CHILE de CORFO. Proyecto 07CN13IYM-16. 117 p.

Castellaro, G. 2003. Evaluación de la capacidad de carga de las praderas de los predios Jaillave y Challapujo en los terrenos destinados al manejo en cautiverio de vicuña. Arica, Chile: Secretaría Regional Ministerial de Agricultura de la Primera Región. 111p.

Castellaro, G. 2007. Aproximación metodológica para la estimación de la capacidad de carga de praderas altiplánicas destinadas al manejo de la vicuña (*Vicugna vicugna* Mol.). Avances en Producción Animal. 32(1-2): 43-57.

Castellaro, G. G. y Ruz D. Y. 2011. Estimación del peso vivo en caprinos a través de medidas morfométricas. In XXXVI Reunión Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal A. G. (SOCHIPA). Centro Regional de Investigación Kampenaike. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Punta Arenas, 9 al 11 de noviembre de 2011. pp. 307-308.

Chuvieco, E. 2002. Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el Espacio. Ariel Ciencia Editores, Barcelona, España. 586p.

Chuvieco, E. 1985. Aportaciones de la Teledetección espacial a la cartografía de ocupación del suelo. Madrid, España: Ediciones Universidad de Complutense. 48p.

Corporación Nacional Forestal (CONAF). 2013. Reserva Nacional Los Flamencos. [En línea]. Recuperado en: <http://conaf.cl/parques/ficha-reserva_nacional_los_flamencos-4.html>. Consultado el 12 de noviembre de 2014.

Corporación Nacional Forestal (CONAF). 2008. Actualización Plan de Manejo Participativo Reserva Nacional Los Flamencos. Antofagasta, Chile.

Da Silva, D., Machado, D., Azevêdo, A., Guimarães, J., Elizabete, M. e Mendes, C. 2006. Estimativa do Peso Vivo Através do Perímetro Torácico de Ovinos Santa Inês. *Rev. Cient. Prod. Anim.* 8(2): 41-46.

Daget, P. et J. Poissonet. 1971. Une méthode d'analyse phytologique des prairies, critères d'application. *Ann. Agron.* 22: 5 – 41.

Delgado, J., Navas, F., Miranda, J., Miró, M., Arando, A. y M. Pizarro. 2014. Metodología preliminar de estimación del peso corporal y su aplicación a la raza asnal andaluza como productor energético. Actas Iberoamericanas de Conservación Animal. 4: 207-209.

DGA (Dirección General de Aguas). 2004. Diagnostico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca Salar de Atacama. [En línea]. Recuperado en: < <http://www.sinia.cl/1292/w3-article-31018.html>> Consultado el: 12 de noviembre de 2014.

ESRI (Environmental Systems Research Institute). 2016. Caja de herramientas de Spatial Analyst, Conjunto de herramientas Multivariante, Clasificación no supervisada de cluster ISO. [En línea]. Recuperado en: <<https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/iso-cluster-unsupervised-classification.htm>> Consultado el: 16 de octubre 2016.

ESRI (Environmental Systems Research Institute), 2013. ArcGIS Resources. Ayuda de ArcGIS 10.1. [En línea]. Recuperado en: <<http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#>> Consultado el 17 de abril de 2015.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). 1996. Manual de Prácticas de Manejo de Llamas y Alpacas. Roma, Italia: FAO. 97p. (Estudio FAO Producción y Sanidad Animal).

Florez, A. 1993. Producción y Utilización de los Pastizales Altoandinos del Perú. Quito, Ecuador: Red de Pastizales Andinos. 202p.

Fredericksen, N. 2010. Estimación de la capacidad carga de los tipos vegetacionales con aptitud pastoral destinados al manejo de vicuña (*Vicugna vicugna* Mol.), en el altiplano de la provincia de Parinacota, Región de Arica y Parinacota. Memoria para optar al título profesional de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 114p.

Gastó, J., Cosio, F. y D. Panario. 1993. Clasificación de las ecorregiones y determinación de sitio y condición. Manual de aplicación a municipios y predios rurales. Santiago, Chile: Red de Pastizales Andinos. 254p.

Herrick, J., Van Zee, J., Havstad, K., Burkett, L. and W. Whitford. 2009. Monitoring Manual for Grassland, Shrubland and Savanna Ecosystems. Tucson, U.S.A.: The University of Arizona Press. 36p.

Holecheck, J. 1988. An Approach for Setting the Stocking Rate. Rangelands. 10(1): 10-14.

Holechek, J., Pieper, R. & Herba, C. 1998. Range management. Principles and practices. 3rd Edition, Upper Saddle River, U.S.A. Prentice Hall. 456p.

Iriarte, A., Lagos, N. y R. Villalobos. 2011. Los Mamíferos de la Región de Antioagasta. Chile: Ediciones Flora & Fauna Chile. 330p.

Jaksic, F., Marquet, P. y H. González. 1997. Una perspectiva ecológica sobre el uso del agua en el Norte Grande: la región de Tarapacá como caso de estudio. [En línea]. Recuperado en: <http://www.cepchile.cl/dms/lang_1/doc_1657.html> consultado el: 20 de agosto de 2015.

Koppen, W. 1948. Climatología. Distrito Federal, México: Fondo de Cultura Económica. 55p.

Luebert, F. y P. Pliscoff. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile Santiago de Chile: Editorial Universitaria. 316 p.

Luzio, W. 2010. Suelos de Chile. Santiago de Chile: Departamento de Ingeniería y Suelos, Universidad de Chile. 364 p.

Martínez, J. y M. Martín. 2010. Guía Didáctica de Teledetección y Medio Ambiente. Red Nacional de Teledetección Ambiental. España. [En línea]. Recuperado en: <http://www.aet.org.es/files/guia_teledeteccion_medio_ambiente.pdf> consultado el: 20 de agosto de 2015.

Meneses, C. 2011. El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque. Food and Agriculture Organization (FAO). Unasyuva 62: 38-46.

MMA (Ministerio del Medio Ambiente). 2014. Lista de especies nativas según estado de conservación. [En línea]. Recuperado en: <<http://www.mma.gob.cl/clasificacionespecies/listado-especies-nativas-segun-estado-2014.htm>>. Consultado el: 10 de diciembre de 2015.

Passera, C. B., A. D. Dalmaso y O. Borsetto. 1986. Método de “point quadrat modificado”. cap. 12, pag. 71-79. In. ” Taller de arbustos forrajeros para zonas áridas y semiáridas 2da ed. Subcomité asesor del árido subtropical argentino.amawald. s. a. Buenos Aires Argentina. 107 p.

Quispe, J. 2014. Caracterización Fenotípica de Llamas del tipo T'amphulli Conservadas en Condición in situ en las Regiones de Quetena Grande – Potosí y Calientes – Cochabamba. Tesis Maestría en Manejo y Conservación en Recursos Fitogenéticos y Biotecnología Vegetal Aplicada. Cochabamba, Bolivia. Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, Universidad Mayor de San Simón. 79p.

Redfearn, D. & T. Bidwell. 2007. Stocking Rate: The key to successful livestock production. [En línea]. Recuperado en:

<<http://www.okrangelandswest.okstate.edu/files/grazing%20management%20pdfs/F-2871web.pdf>> consultado el: 12 de noviembre de 2014.

Riaño, D., Salas, J. y E. Chuvieco. 2000. Corrección Atmosférica y Topográfica, Información Multitemporal y Auxiliar Aplicadas a la Cartografía de Modelos de Combustibles con Imágenes Landsat-TM. *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible*. 2000: 222-239.

Salazar, C., Rojas, L., Alonso, H. y F. Richaser. 2003. Geoquímica de la Cuencas Cerradas de los Salares de las Regiones I, II y III. Santiago, Chile: Dirección General de Aguas. 296p.

Society for Range Management. 2014. Glossary. [En línea]. Recuperado en: <<https://globalrangelands.org/rangelandswest/glossary>> consultado el 12 de noviembre de 2014.

Troncoso, R. 1983. Evaluación de la capacidad de carga animal del Parque Nacional Lauca. Informe de Consultoría. Arica, Chile: Corporación Nacional Forestal, Región de Tarapacá. 147p.

Vallentine, J. F. 2001. Grazing management, second edition. San Diego. USA : Academic Press. 659 p.

Vita, A., Luna, G., González, J. y M. Valenzuela. 2007. Actualización del Plan de Ordenación Forestal y Desarrollo Participativo para el Bosque de Tambillo, comuna de San Pedro de Atacama, región de Antofagasta. Chile: Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. 51p.

Yáñez, N. y R. Molina. 2008. La gran minería y los derechos indígenas en el Norte de Chile. Chile: LOM Ediciones. 264p.

Yu, L., Zhou, L., Liu, W. & H. Zhou. 2010. Using remote sensing and GIS technologies to estimate grass yield and livestock carrying capacity of alpine grasslands in Golog prefecture, China. *Pedosphere*. 20(3): 342-351.

Zea, O. 2006. Evaluación de las medidas de la grupa, muslo y de la ubre para su uso como indicadores en la selección temprana de llamas (*Lama glama*) para carne. Tesis Médico Veterinario. Lima, Perú: Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad nacional de San Marcos. 86p.

Apéndice I. Fauna presente en el sector Bosque de Tambillo según biotopo

| Especie | Biotopo | | |
|---|---------------------|--------------------|-----------|
| | Vegas y/o bofedales | Arbustivo herbáceo | Tamarugal |
| Perdiz de la puna (<i>Tinamotis pentlandii</i>) | | X | X |
| Suri (<i>Pterocnemia pennata</i>) | | X | X |
| Lechuza (<i>Tyto alba</i>) | X | X | |
| Gallina ciega (<i>Caprimulgus longirostris</i>) | | X | X |
| Golondrina de dorso negro (<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>) | X | X | |
| chincol (<i>Zonotrichia capensis</i>) | | X | X |
| Pequén (<i>Athene cunicularia</i>) | | X | |
| Halcón perdiguero (<i>Falco femoralis</i>) | X | X | X |
| Garza boyera (<i>Bubulcus ibis</i>) | X | X | X |
| Chorlo de Campo (<i>Oreopholus ruficollis</i>) | | X | X |
| Zorro Culpeo (<i>Pseudalopex culpaeus</i>) | X | X | X |
| Zorro gris (<i>Pseudalopex griseus</i>) | | X | X |
| Tuco tuco del norte (<i>Ctenomys fulvus</i>) | X | X | X |
| Llaca de la puna (<i>Thylamys pallidior</i>) | | X | X |
| Murciélago oreja de ratón del norte (<i>Myotis atacamensis</i>) | | | X |
| Lagartija de Constanza (<i>Liolaemus constanzae</i>) | | X | X |
| Sapo (<i>Telmatobius halli</i>) | X | | |

Fuente: Elaboración propia en base a CONAF, 2008.

Apéndice II. Corrección atmosférica y topográfica aplicada a las imágenes satelitales utilizadas

Corrección atmosférica

La corrección atmosférica se utiliza para eliminar el efecto de la dispersión de la radiación electromagnética originada por parte de los gases y partículas en suspensión de la atmósfera, para que las variaciones en los modelos sean independientes de las condiciones atmosféricas. Para ello se calculó la reflectividad mediante la siguiente ecuación (Chuvieco, 2002):

$$\rho_k = \frac{K\pi(L_{sen,k} - L_{a,k})}{\tau_{k,o}(E_{o,k} \cos\theta_i \tau_{k,i} + E_{d,k})}$$

Donde:

ρ_k = Reflectividad en la banda k.

K = Distancia Tierra-Sol en unidades astronómicas (1 UA = 1.49598 · 10⁸ Km, varía a lo largo del año entre 0.983 y 1.017 UAs).

$L_{sen,k}$ = Radiancia espectral recibida por el sensor en la banda k (W m⁻² sr⁻¹ mm¹).

$L_{a,k}$ = Radiancia atmosférica debida a la dispersión en la banda k (W m⁻² sr⁻¹ mm¹).

$\tau_{k,o}$ = Transmisividad atmosférica para el flujo ascendente en la banda k.

$E_{o,k}$ = Irradiancia solar en el techo de la atmósfera en la banda k (W m⁻² mm¹).

$\cos\theta_i$ = Coseno del ángulo cenital del flujo incidente (complementario del ángulo de elevación solar).

$\tau_{k,i}$ = Transmisividad atmosférica para el flujo descendente en la banda k.

$E_{d,k}$ = Irradiancia difusa atmosférica debida a la dispersión en la banda k (W m⁻² mm¹)

Corrección topográfica

Si bien las pendientes presentes en el área en estudio son relativamente suaves, se realizó una corrección topográfica que permitió compensar las diferencias de iluminación solar, debidas a la variación altitudinal del terreno. Las zonas de umbría presentan menos reflectividad de lo que debieran, mientras que las zonas en solana presentan una reflectividad más alta de lo esperado (Riaño *et al.*, 2000). Para realizar la corrección topográfica es necesario calcular la iluminación (IL), es decir, el coseno del ángulo de incidencia (γ_i):

$$IL = \cos\gamma_i = \cos\theta_p \cos\theta_i + \sin\theta_p \sin\theta_i \cos(\phi_a - \phi_o)$$

Donde:

θ_p = pendiente del terreno: La inclinación del terreno con respecto a la horizontal.

θ_i = ángulo cenital solar: El ángulo complementario de la elevación solar.

ϕ_a = ángulo azimutal solar: La dirección del sol con respecto al norte.

ϕ_o = ángulo de orientación: El ángulo existente entre el vector que señala el norte y la proyección sobre el plano horizontal del vector normal a la superficie en ese punto.

$$\rho_H = \rho_T \left(\frac{\cos\theta_i + c_k}{IL + c_k} \right)$$

Donde:

ρ_k = Reflectividad en la banda k.

$$c_k = \frac{b_k}{m_k} ; \text{Para: } \rho_T = b_k + m_k IL$$

Se introduce un parámetro “ c_k ” que es el cociente entre la pendiente (b_k) y el término independiente (m_k) de la ecuación de regresión entre la ρ_T y la IL. De esta manera se consiguió homogeneizar la variabilidad espectral de las imágenes.

Apéndice III. Metodología utilizada para generar la clasificación supervisada.

Falso color Convencional

Las imágenes en falso color, son aquellas que combinan distintas bandas espectrales de una escena, para generar una imagen coloreada que permita una mejor visualización de esta.

Un falso color convencional es una composición de las bandas infrarrojo cercano, rojo y verde (según el modelo de color RGB), la cual permite identificar de forma más clara las diferencias de cobertura de suelo, de modo que la vegetación se observa en color rojo, y los suelos desprovistos de cobertura vegetal se aprecian en una variedad cromática de blancos y azules (Martínez y Martín, 2010).

En este caso para el falso color convencional se utilizaron las bandas 3, 4 y 5, en la cual se aumentó su resolución espacial mediante la utilización de la imagen pancromática (banda 8), quedando la composición con una resolución de 15 metros, esto para mejorar el análisis visual de la imagen.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

El NDVI es uno de los índices de medida de la cubierta vegetal más conocido y ampliamente utilizado, el cual hace una relación entre la energía absorbida y emitida de los objetos en la Tierra. Arroja valores de intensidad del verdor del área en estudio, reflejando cantidad de vegetación presente y su vigor vegetativo: Esta última característica puede entregar información del estado de degradación de la vegetación (Chuvieco, 2002; Meneses, 2011).

Con las bandas 3 y 4, rojo e infrarrojo cercano respectivamente, del satélite Landsat OLI se calculó el NDVI utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{Infrarrojo cercano} - \text{Rojo}}{\text{Infrarrojo cercano} + \text{Rojo}}$$

Los valores de NDVI oscilan entre -1 (vegetación nula) y 1 (vegetación verde vigorosa); teniendo como referencia que valores alrededor de 0,1 son zonas desérticas y los valores próximos a 0,9 corresponden a bosques densos. Los valores negativos son generados por una mayor reflectancia en el espectro visible que en el infrarrojo, lo que puede dar cuenta de nubes, nieve, agua, zonas de suelo desnudo, rocas o cuerpos salinos. El valor del NDVI puede variar en función del uso de suelo, estación fenológica, situación hídrica del territorio y ambiente climático de la zona. Estas propiedades hacen que el NDVI se haya constituido en una valiosa herramienta para la evaluación de cubiertas vegetales, así como para estudiar la

clasificación y dinámica vegetal y sus aspectos fenológicos (Chuvienco, 2002).

Es importante mencionar que se utilizaron imágenes del período en que la vegetación tiene un mayor crecimiento en el año, que en este caso es marzo, que corresponde al fin de la temporada de crecimiento vegetal.

Una vez obtenida la imagen con sus respectivos valores de NDVI, se realizó un análisis *cluster*, donde se agruparon aquellos píxeles en que los valores fueron considerados similares, pudiendo homologar los conjuntos de píxeles resultantes en distintos tipos de unidades homogéneas. Para lo anterior se utilizó la herramienta Clasificación No Supervisada de cluster ISO (*Iso Cluster Unsupervised Classification*), la cual combina las funcionalidades de los algoritmos de Cluster ISO y Clasificación de Máxima Verosimilitud (ESRI, 2016).

Clasificación supervisada

En la clasificación supervisada, se identifican en la imagen muestras representativas y homogéneas de las diferentes clases, denominadas áreas de entrenamiento o áreas piloto. La información numérica presente en las bandas espectrales es utilizada para reconocer otras áreas espectralmente similares a la clase. Mediante un programa especial o algoritmo, se determina la firma espectral de cada clase, y luego la misma es comparada con la del píxel en la imagen para asignarlo dentro de la clase con mayor semejanza (Chuvienco, 1985). De esta forma, la clasificación supervisada intenta definir las clases temáticas que no tengan claro significado espectral, razón por la que es considerada un método artificial.

La clasificación supervisada requiere de cierto conocimiento previo del terreno y de los tipos de coberturas presentes en el área de estudio, es por esto que se realizó una primera visita a terreno para determinar ciertas unidades de vegetación presentes.

Apéndice IV. Coordenadas geográficas (UTM, huso 19S) donde fueron instaladas las parcelas de exclusión

| ID Parcela exclusión | X | Y |
|-----------------------------|----------|----------|
| A1E1 | 590807 | 7446992 |
| A1E2 | 591284 | 7442559 |
| A2E1 | 592861 | 7443836 |
| A3E1 | 593419 | 7447088 |
| A3E2 | 594065 | 7446186 |
| A4E1 | 591998 | 7447762 |
| A4E2 | 592341 | 7440064 |
| A5E1 | 592473 | 7445455 |
| A5E2 | 591703 | 7444031 |
| A5E3 | 593366 | 7442981 |
| A8E1 | 594853 | 7443773 |

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Apéndice V. Cobertura y composición botánica obtenida mediante transectos en cada punto donde se instaló una parcela de exclusión, medidos al inicio y al final de la etapa de crecimiento vegetacional (Enero - Abril).

| ENERO | | | ABRIL | | |
|-----------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------|
| Exclusión A1E1 | | | Exclusión A1E1 | | |
| Especie | Total puntos | Porcentaje | Especie | Total puntos | Porcentaje |
| <i>Distichlis spicata</i> | 4 | 100 | <i>Distichlis spicata</i> | 13 | 100 |
| Cobertura | 4 | 4 | Cobertura | 13 | 13 |
| Suelo desnudo | 96 | 96 | Suelo desnudo | 87 | 87 |
| Mantillo | 0 | 0 | Mantillo | 0 | 0 |
| Rocas y piedras | 0 | 0 | Rocas y piedras | 0 | 0 |
| Total | 100 | 100 | Total | 100 | 100 |
| Exclusión A1E2 | | | Exclusión A1E2 | | |
| Especie | Total puntos | Porcentaje | Especie | Total puntos | Porcentaje |
| <i>Distichlis spicata</i> | 6 | 26,1 | <i>Distichlis spicata</i> | 6 | 23,1 |
| <i>Scirpus californicus</i> | 17 | 73,9 | <i>Scirpus californicus</i> | 20 | 76,9 |
| Cobertura | 23 | 23 | Cobertura | 26 | 26 |
| Suelo desnudo | 77 | 77 | Suelo desnudo | 74 | 74 |
| Mantillo | 0 | 0 | Mantillo | 0 | 0 |
| Rocas y piedras | 0 | 0 | Rocas y piedras | 0 | 0 |
| Total | 100 | 100 | Total | 100 | 100 |
| Exclusión A2E1 | | | Exclusión A2E1 | | |
| Especie | Total puntos | Porcentaje | Especie | Total puntos | Porcentaje |
| <i>Distichlis spicata</i> | 36 | 100 | <i>Distichlis spicata</i> | 27 | 100 |
| Cobertura | 36 | 36 | Cobertura | 27 | 27 |
| Suelo desnudo | 61 | 61 | Suelo desnudo | 68 | 68 |
| Mantillo | 3 | 3 | Mantillo | 5 | 5 |

| | ENERO | | ABRIL | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------|-----|
| Rocas y piedras | 0 | 0 | Rocas y piedras | 0 |
| Total | 100 | 100 | Total | 100 |

Exclusión A3E1

| Especie | Total puntos | Porcentaje |
|-------------------------------|---------------------|-------------------|
| <i>Tessaria absinthioides</i> | 17 | 100 |
| Cobertura | 17 | 17 |
| Suelo desnudo | 78 | 78 |
| Mantillo | 5 | 5 |
| Rocas y piedras | 0 | 0 |
| Total | 100 | 100 |

Exclusión A3E1

| Especie | Total puntos | Porcentaje |
|-------------------------------|---------------------|-------------------|
| <i>Tessaria absinthioides</i> | 15 | 100 |
| Cobertura | 15 | 15 |
| Suelo desnudo | 81 | 81 |
| Mantillo | 4 | 4 |
| Rocas y piedras | 0 | 0 |
| Total | 100 | 100 |

Exclusión A3E2

| Especie | Total puntos | Porcentaje |
|-------------------------------|---------------------|-------------------|
| <i>Tessaria absinthioides</i> | 18 | 100 |
| Cobertura | 18 | 18 |
| Suelo desnudo | 82 | 82 |
| Mantillo | 0 | 0 |
| Rocas y piedras | 0 | 0 |
| Total | 100 | 100 |

Exclusión A3E2

| Especie | Total puntos | Porcentaje |
|-------------------------------|---------------------|-------------------|
| <i>Tessaria absinthioides</i> | 12 | 100 |
| Cobertura | 12 | 12 |
| Suelo desnudo | 88 | 88 |
| Mantillo | 0 | 0 |
| Rocas y piedras | 0 | 0 |
| Total | 100 | 100 |

Exclusión A4E1

| Especie | Total puntos | Porcentaje |
|-------------------------------|---------------------|-------------------|
| <i>Tessaria absinthioides</i> | 56 | 100 |
| Cobertura | 56 | 56 |
| Suelo desnudo | 42 | 42 |

Exclusión A4E1

| Especie | Total puntos | Porcentaje |
|-------------------------------|---------------------|-------------------|
| <i>Tessaria absinthioides</i> | 76 | 100 |
| Cobertura | 76 | 76 |
| Suelo desnudo | 19 | 19 |

| ENERO | | | ABRIL | | |
|-----------------|-----|-----|-----------------|-----|-----|
| Mantillo | 2 | 2 | Mantillo | 5 | 5 |
| Rocas y piedras | 0 | 0 | Rocas y piedras | 0 | 0 |
| Total | 100 | 100 | Total | 100 | 100 |

| Exclusión A4E2 | | | Exclusión A4E2 | | |
|-------------------------------|--------------|------------|-------------------------------|--------------|------------|
| Especie | Total puntos | Porcentaje | Especie | Total puntos | Porcentaje |
| <i>Tessaria absinthioides</i> | 30 | 100 | <i>Tessaria absinthioides</i> | 31 | 100 |
| Cobertura | 30 | 30 | Cobertura | 31 | 31 |
| Suelo desnudo | 64 | 64 | Suelo desnudo | 69 | 69 |
| Mantillo | 6 | 6 | Mantillo | 0 | 0 |
| Rocas y piedras | 0 | 0 | Rocas y piedras | 0 | 0 |
| Total | 100 | 100 | Total | 100 | 100 |

| Exclusión A5E1 | | | Exclusión A5E1 | | |
|-----------------------------|--------------|------------|-----------------------------|--------------|------------|
| Especie | Total puntos | Porcentaje | Especie | Total puntos | Porcentaje |
| <i>Distichlis spicata</i> | 51 | 64,6 | <i>Distichlis spicata</i> | 18 | 19,6 |
| <i>Scirpus californicus</i> | 26 | 32,9 | <i>Scirpus californicus</i> | 71 | 77,2 |
| <i>Ranunculus sp.</i> | 0 | 0 | <i>Ranunculus sp.</i> | 0 | 0 |
| <i>Atriplex glaucescens</i> | 2 | 2,5 | <i>Atriplex glaucescens</i> | 0 | 0 |
| <i>Festuca deserticola</i> | 0 | 0 | <i>Festuca deserticola</i> | 3 | 3,3 |
| Cobertura | 79 | 79 | Cobertura | 92 | 92 |
| Suelo desnudo | 21 | 21 | Suelo desnudo | 7 | 7 |
| Mantillo | 0 | 0 | Mantillo | 1 | 1 |
| Rocas y piedras | 0 | 0 | Rocas y piedras | 0 | 0 |
| Total | 100 | 100 | Total | 100 | 100 |

| Exclusión A5E2 | | | Exclusión A5E2 | | |
|---------------------------|--------------|------------|---------------------------|--------------|------------|
| Especie | Total puntos | Porcentaje | Especie | Total puntos | Porcentaje |
| <i>Distichlis spicata</i> | 49 | 65,3 | <i>Distichlis spicata</i> | 54 | 65,9 |

| ENERO | | | ABRIL | | |
|-----------------------------|-----|------|-----------------------------|-----|------|
| <i>Scirpus californicus</i> | 26 | 34,7 | <i>scirpus californicus</i> | 28 | 34,1 |
| <i>Ranunculus sp.</i> | 0 | 0 | <i>Ranunculus sp.</i> | 0 | 0 |
| <i>Atriplex glaucescens</i> | 0 | 0 | <i>Atriplex glaucescens</i> | 0 | 0 |
| <i>Festuca deserticola</i> | 0 | 0 | <i>Festuca deserticola</i> | 0 | 0 |
| Cobertura | 75 | 75 | Cobertura | 82 | 82 |
| Suelo desnudo | 23 | 23 | Suelo desnudo | 18 | 22 |
| Mantillo | 2 | 2 | Mantillo | | 0 |
| Rocas y piedras | 0 | 0 | Rocas y piedras | | 0 |
| Total | 100 | 100 | Total | 100 | 100 |

Exclusión A5E3

| Especie | Total puntos | Porcentaje |
|-----------------------------|--------------|------------|
| <i>Distichlis spicata</i> | 31 | 72,1 |
| <i>scirpus californicus</i> | 12 | 27,9 |
| <i>Ranunculus sp.</i> | 0 | 0 |
| <i>Atriplex glaucescens</i> | 0 | 0 |
| <i>Festuca deserticola</i> | 0 | 0 |
| Cobertura | 43 | 43 |
| Suelo desnudo | 57 | 57 |
| Mantillo | 0 | 0 |
| Rocas y piedras | 0 | 0 |
| Total | 100 | 100 |

Exclusión A5E3

| Especie | Total puntos | Porcentaje |
|-----------------------------|--------------|------------|
| <i>Distichlis spicata</i> | 42 | 84 |
| <i>Scirpus californicus</i> | 7 | 14 |
| <i>Ranunculus sp.</i> | 1 | 2 |
| <i>Atriplex glaucescens</i> | 0 | 0 |
| <i>Festuca deserticola</i> | 0 | 0 |
| | | 0 |
| Cobertura | 50 | 50 |
| Suelo desnudo | 39 | 40 |
| Mantillo | 11 | 10 |
| Rocas y piedras | 0 | 0 |
| Total | 100 | 100 |

Exclusión A8E1

| Especie | Total puntos | Porcentaje |
|---------------|--------------|------------|
| - | - | 0 |
| Cobertura | 0 | 0 |
| Suelo desnudo | 92 | 92 |
| Mantillo | 0 | 0 |

Exclusión A8E1

| Especie | Total puntos | Porcentaje |
|---------------|--------------|------------|
| - | - | 0 |
| Cobertura | 0 | 0 |
| Suelo desnudo | 98 | 98 |
| Mantillo | 0 | 0 |

| | ENERO | | ABRIL | | |
|-----------------|--------------|-----|-----------------|-----|-----|
| Rocas y piedras | 8 | 8 | Rocas y piedras | 2 | 2 |
| Total | 100 | 100 | Total | 100 | 100 |

Apéndice VI. Medidas zoométricas y estimaciones de peso vivo de cabras, ovejas y llamas, por individuo.

Medidas zoométricas y estimaciones del peso vivo de cabras

| Individuo | Largo del cuerpo (cm) | Perímetro de tórax (cm) | Peso vivo (kg) |
|------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| Hembra | 93 | 89 | 50,9 |
| Hembra | 89 | 87 | 46,5 |
| Hembra | 76 | 79 | 32,8 |
| Hembra | 96 | 90 | 54,0 |
| Hembra | 86 | 82 | 40,8 |
| Hembra | 82 | 88 | 42,4 |
| Hembra | 93 | 85 | 47,7 |
| Hembra | 75 | 79 | 32,2 |
| Hembra | 83 | 85 | 41,0 |
| Hembra | 85 | 84 | 41,6 |
| Hembra | 81 | 87 | 41,0 |
| Hembra | 86 | 86 | 43,7 |
| Macho | 83 | 85 | 41,0 |
| Macho | 77 | 78 | 32,7 |
| Macho | 94 | 103 | 63,8 |
| Cabritilla | 64 | 73 | 23,3 |
| Cabritilla | 72 | 80 | 31,1 |
| Cabritilla | 75 | 77 | 31,0 |
| Cabritilla | 73 | 71 | 26,6 |
| Cabritilla | 72 | 70 | 25,6 |

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Medidas morfométricas y estimaciones del peso vivo de ovinos

| Individuo | Largo del cuerpo (cm) | Perímetro de tórax (cm) | Peso vivo (kg) |
|------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| Hembra | 79 | 85 | 46,1 |
| Hembra | 80 | 93 | 57,0 |
| Hembra | 76 | 90 | 52,9 |
| Hembra | 88 | 100 | 66,4 |
| Hembra | 82 | 85 | 46,1 |
| Hembra | 75 | 84 | 44,8 |
| Hembra | 87 | 88 | 50,2 |

| | | | |
|---------|----|----|------|
| Hembra | 81 | 83 | 43,4 |
| Hembra | 84 | 88 | 50,2 |
| Hembra | 83 | 86 | 47,5 |
| Hembra | 78 | 83 | 43,4 |
| Hembra | 85 | 88 | 50,2 |
| Hembra | 83 | 89 | 51,5 |
| Macho | 96 | 99 | 65,1 |
| Macho | 82 | 92 | 55,6 |
| cordero | 81 | 78 | 36,7 |
| cordero | 73 | 86 | 47,5 |
| cordero | 59 | 68 | 23,2 |
| cordero | 78 | 82 | 42,1 |
| cordero | 80 | 80 | 39,4 |

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Medidas morfométricas y estimaciones del peso vivo de llamas

| Individuo | Largo del cuerpo (cm) | Perímetro de tórax (cm) | Peso vivo (kg) |
|------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| Hembra | 108 | 122 | 101,5 |
| Hembra | 114 | 122 | 101,5 |
| Hembra | 102 | 115 | 87,7 |
| Hembra | 115 | 135 | 130,4 |
| Hembra | 122 | 121 | 99,4 |
| Hembra | 123 | 128 | 114,3 |
| Macho | 102 | 173 | 147,1 |
| Cría | 48 | 52 | 12,3 |
| Cría | 83 | 88 | 45,2 |

Fuente: Elaboración propia, 2016.

