**Análisis de la dinámica de la vegetación de la Puna jujeña
en relación con los ungulados domésticos y silvestres
y su impacto sobre la desertificación**

TESIS DOCTORAL

Fotografía: Silvina Enrietti

Tesista: **Verónica Rojo**
Directora: **Dra. Bibiana Vilá**
Codirectora: **Dra. Yanina Arzamendia**
Asesora Académica: **Dra. Carolina Pérez**

Facultad Ciencias Agrarias y Forestales
Universidad Nacional de La Plata
2016

Índice

Agradecimientos.....	3
Resumen	6
Abstract.....	8
Capítulo I: Introducción.....	10
• La Puna Argentina.....	10
• La productividad primaria de la vegetación natural en los sistemas pastoriles puneños	15
• Los sistemas pastoriles: relación planta-herbívoro	16
• La capacidad de carga	17
• Los camélidos sudamericanos.....	18
• La conservación del sistema, síntomas de deterioro ambiental.....	24
• Descripción de esta tesis	26
• Relevancia de este trabajo.....	26
• Objetivo general.....	29
• Objetivos específicos.....	29
• Hipótesis.....	29
Capítulo II: Área de estudio.....	31
Capítulo III: Dinámica de la vegetación	43
• Introducción.....	43
• Métodos	46
• Resultados	51
• Discusión.....	84
Capítulo IV: Aportes metodológicos a los estudios de la vegetación andina: los modelos predictivos de la biomasa.....	91
• Introducción.....	91
• Métodos	92
• Resultados	94
• Discusión.....	99
Capítulo V: Modelos de capacidad de carga.....	101
• Introducción.....	101
• Métodos	106
• Resultados	110
• Discusión.....	113

Capítulo VI: El manejo pastoril y síntomas de degradación	119
• Introducción.....	119
• Métodos	123
• Resultados	127
• Discusión.....	160
Capítulo VII: Discusión y conclusiones	167
Bibliografía citada.....	175

Agradecimientos

Son muchas las personas que colaboraron en esta tesis, de forma directa o indirecta, de las que estoy profundamente agradecida. Muchas gracias a quienes me ayudaron con palabras de aliento en las etapas más difíciles de este camino, el cual no considero finalizado, sino más bien una una posta, un punto fundamental en un trayecto mucho más largo, el de la carrera científica. Siento aún que me queda mucho por aprender y mucho por aportar.

Quisiera empezar con un inmenso agradecimiento a mi directora, Bibiana Vilá, quien confió en mí desde mis comienzos durante el trabajo final de grado, y me ayudó en todas las etapas de esta tesis. A mi co-directora, Yanina Arzamendia, por alojarme en su casa durante todos los viajes, y por su participación activa desde las primeras ideas de lo que sería el proyecto de tesis, tanto en los muestreos de campo, como en el análisis de los datos y redacción del manuscrito y sobre todo, por la confianza en mí al comenzar una tesis en un tema tan importante como el de capacidad de carga. A Jorge Baldo quien colaboró en el trabajo de campo y en las instancias posteriores de la realización de la tesis. No podría imaginar esta tesis sin la confianza y el apoyo de ellos tres, muchísimas gracias por su amistad y cariño. A Santi por haberme aguantado en su casa y también en el campo.

A mi Asesora Académica, Carolina Pérez, por su apoyo y su valiosa colaboración en todas las instancias, desde los inicios del proyecto de doctorado, sus aportes han enriquecido en forma notable esta tesis.

A todos mis compañeros de VICAM, por el cariño, la colaboración permanente, y por estar siempre: Hugo Yacobaccio, Gisela Marcoppido, Mariela Borgnia, Celeste Samec, Brenda Oxman, Marcelo Morales, Ana Wawrzyk, Belén Tartaglia y Juan Atán Remesar.

A Fernando Momo, por su generosidad y valiosa contribución en la elaboración de los modelos de capacidad de carga.

A los productores de la Cooperativa COOPASAC y sus familias, quienes ofrecieron sus campos para llevar a cabo esta investigación en el marco del Plan

de Manejo de vicuñas silvestres del equipo VICAM, y me brindaron su compañía y confianza. A la Comunidad Aborigen Atu Saphi de Morritos por compartir sus campos para la investigación científica. A los pobladores de Santa Catalina, por su calidez y hospitalidad, particularmente a Oscar Solís, Carmen y Espicha, por toda su ayuda y el cariño brindado durante mi estadía.

A los estudiantes de la Universidad Nacional de Jujuy: Araceli Cachizumba, Emilce Castro, Agustina Machado Rosas, Noelia Núñez, Soledad Segundo, Yanina Toconas y Antonio Vilca por su colaboración en las campañas de muestreo de la vegetación.

A los integrantes del LISEA, por recibirme siempre en mis visitas a La Plata. A la Directora de la Carrera de Doctorado de la Facultad, Dra. Cecilia Mónaco y a Lelia Gualtieri, por la predisposición durante la presentación del proyecto y posterior manuscrito. A los evaluadores convocados por la CGAD, quienes aportaron valiosos comentarios y sugerencias que enriquecieron la versión final del proyecto de tesis.

A mis compañeros docentes de Manejo del Sistema Agropecuario: Juan Martín Gueçaimburu, Juan Manuel Vázquez, Gisela Reposo y Maximiliano Martínez, por su amistad y el apoyo, en particular durante las ausencias por las campañas de campo.

Al Servicio Meteorológico Nacional y al CIM, por el aporte de la información meteorológica de la estación de La Quiaca de los últimos años.

Al CONICET, por el privilegio de haber obtenido una beca de doctorado para realizar esta tesis. A las instituciones que financiaron gran parte del desarrollo de la tesis: la Agencia de Promoción Científica y Tecnológica, mediante los proyectos PICT 0306-2010 y PICT 0479-2013, y los proyectos SECTER-UNJu 109/2014 y SECTER-UNJu A/B 033/16. A la Universidad Nacional de Luján, por formarme como profesional y por brindarme lugar de trabajo durante la beca.

A mis amigas, que fueron pilares fundamentales en todas las instancias de esta tesis, se me hace imposible enumerar todo lo que hicieron por mí durante este camino, especialmente Gisela Reposo, Florencia Trabichet, Romina Iódice,

Agustina Ansa, Laura Rigacci, Verónica Vergara, Paula Verón, María Inés Valsecchi y Sabrina Costa Tártara.

A mi familia, por el apoyo constante: mi mamá, mis hermanos: Lito y Sebas, Claudia, Nacho, Del y Meli.

A mi compañero de vida, Juan, con quien comparto el amor por la Puna, por todo el cariño y el aguante tanto en el trabajo de campo como en las etapas más intensas de escritura de la tesis...

Como siempre, les dedico todos mis logros y sobre todo, el esfuerzo, a papá y a Pablo, siempre presentes.

¡¡¡Gracias a todos!!!

Resumen

En esta tesis se analizan diversos aspectos de los sistemas pastoriles puneños, centrando el análisis en la vegetación natural y su relación con el manejo pastoril tradicional. Los relevamientos fueron realizados en cercanías de la localidad de Santa Catalina, provincia de Jujuy, considerando la estacionalidad del clima. Se cartografiaron las unidades de vegetación mediante el análisis integrado de los puntos de muestreo georreferenciados en el campo y diversos productos satelitales, como índices de vegetación y combinaciones de bandas. Para caracterizar cada unidad de vegetación en función de sus especies dominantes, fueron evaluadas las variables cobertura, biomasa y composición de especies, relevadas en función de los estratos de la vegetación puneña: alto y bajo. Las especies dominantes del estrato alto fueron además medidas en sus dimensiones altura, diámetro mayor y perpendicular, lo que permitió desarrollar modelos predictivos de la biomasa para cada especie y grupo funcional. En este trabajo también se estimó la capacidad de carga mediante un modelo desarrollado específicamente para la región, considerando las características ambientales de la misma y basado en las teorías ecológicas de la interacción predador-presa. Los resultados indicaron que la vegetación es influida por el clima (particularmente las precipitaciones y temperatura) y la geomorfología, siendo las unidades más productivas, en relación a la productividad primaria y capacidad de carga, los chillaguales, las vegas y los peladares. Estas unidades fueron además las que soportaron las mayores presiones ganaderas (llamas y ovejas) y tuvieron mayor densidad de herbívoros silvestres (vicuñas), aunque la presencia de estos últimos también estuvo influenciada por factores antrópicos. En el área de estudio se relevaron campos pertenecientes a una cooperativa de productores locales (COOPASAC), una comunidad aborigen, y productores privados. El manejo ganadero no presentó grandes diferencias entre unidades productivas, siendo las mayores limitantes para la producción, la escasez de agua y forraje durante los períodos secos. Estos problemas se vieron incrementados durante el último año debido a las insuficientes precipitaciones

durante la estación húmeda, provocando un manejo de reducción de las cargas ganaderas.

Se encontraron diversos indicios de degradación de las tierras, principalmente síntomas de erosión hídrica y eólica en algunas unidades de vegetación, asociados, en parte, a un uso heterogéneo del ambiente por el ganado. Los resultados de esta tesis contribuyen al conocimiento de una región escasamente estudiada desde la perspectiva de la interacción planta-herbívoro y cómo ésta es influida por el manejo pastoril local. En base a la información obtenida, se espera profundizar sobre aspectos ecológicos de la vegetación a una mayor escala espacial y temporal, que permitan obtener recomendaciones apropiadas de cargas ganaderas para la zona, sin desencadenar procesos degradatorios de las tierras.

Abstract

In this thesis, different aspects of Puna pastoral systems were analysed, based on natural vegetation and its relationship with traditional livestock management. Data were collected in Santa Catalina, Jujuy province, taking into account seasonality in precipitation regimes. Vegetation units were mapped through georeferenced sampling units and satellite products, as vegetation indexes and band combinations. Each vegetation unit identified was described through its plant cover, aerial biomass and species composition, evaluating separately the two strata present in Puna vegetation, high and low. High stratum species were also measured (height, maximum and perpendicular diameter) in order to develop predictive equation of the plant biomass by species and life form. A carrying capacity model was developed specifically for this region, taking into account its environmental characteristics and based on the ecological theory of predator-prey interaction. Results showed that vegetation is influenced by climate (mainly precipitations) and geomorphology. The most productive vegetation units, considering aboveground primary production and carrying capacity, were chillaguales, vega and peladares. These units had also the higher animal stock (sheep and llamas) and wild herbivores (vicuñas), although the presence of vicuñas was influenced by human activities.

In the study area a varied group of pastoral systems were analyzed: local producers cooperative (COOPASAC), an indigenous community and private producers. Livestock management did not show differences among productive units, being the most relevant problems for the activity the reduced forage and water availability for animals during dry periods. These problems were severe in the last year, due the small amount of precipitation in the wet season, causing a management oriented to reduce stock numbers.

Diverse evidences of land degradation were found, especially symptoms of water and wind erosion at some vegetation units, associated, in part, to a heterogeneous livestock habitat use. The results obtained contribute to the knowledge of a region scarcely studied from a plant-herbivore interaction perspective, and how it is influenced by local pastoral activity. Based on the

information obtained, future studies at a higher time and space scale, are needed to develop adequate animal stock in the area, preventing land degradation processes.

Capítulo I

Introducción

El estudio de los sistemas pastoriles puneños que incluyen ganado camélido tradicional (llamas, *Lama glama*), ganado introducido (principalmente ovino, *Ovis aries*) y vicuñas (*Vicugna vicugna*), un camélido silvestre, constituye un interesante desafío por su carácter interdisciplinario, donde se deben integrar conocimientos de diversas ciencias incorporando además los saberes locales (Genin et al., 1995; Vilá, 2014). La situación actual en estos sistemas es fruto de la convergencia de la historia ambiental (como por ejemplo el impacto biocultural de la conquista española), la cosmovisión de los pueblos originarios, y la influencia de diversas políticas productivas (locales y regionales) en un escenario con condiciones ambientales extremas en comparación con la mayoría de las producciones agropecuarias tradicionales.

- **La Puna Argentina**

La Puna es una región montañosa ubicada en los Andes Centrales, que ocupa territorios de Perú, Bolivia, Chile y Argentina. Se extiende a lo largo de 1800 kilómetros entre los 13° y los 27°S, superando los 3000 m.s.n.m., con un ancho entre 350 y 400 km (Isacks, 1988; Allmendinger et al., 1997). En forma general, la Puna es una altiplanicie rodeada de cordones montañosos, con volcanes que superan los 5000 m.s.n.m. y lagunas o salares en las zonas más bajas (Alonso & Viramonte, 1987). Debido a su extensión latitudinal, los regímenes de humedad disminuyen de Norte a Sur, encontrándose entonces la Puna Húmeda en el centro-sur de Perú y norte de Bolivia, la Puna Seca en el Sur de Bolivia y noroeste de Argentina y la Puna Desértica en el noreste de Chile y oeste de Argentina (Cabrera, 1968).

Los términos Puna y Altiplano suelen ser utilizados como sinónimos, sin embargo algunos autores (Alonso & Viramonte, 1987; Allmendinger et al., 1997) consideran Altiplano a la porción norte de la región (Perú y Bolivia) y Puna a la porción Sur (Chile y Argentina). Diferenciación que se realiza en función de la

historia geológica; la geomorfología (presentando la puna una elevación promedio de 1 kilómetro superior al Altiplano) y la vegetación. En esta tesis el término Puna será el utilizado para hacer referencia al sector sur de toda la región.

La Puna argentina abarca una superficie aproximada de 10000 kilómetros cuadrados (Alonso & Viramonte, 1987) ocupando el oeste de Jujuy, Salta, Catamarca, La Rioja y el noroeste de San Juan (Burkart et al., 1999) (Figura 1.1). Cabrera (1971;1976) la clasifica dentro del Dominio Andino Patagónico, como la Provincia Fitogeográfica Puneña. Fitogeográficamente, la Puna en Argentina presenta un límite altitudinal entre 3400 y 4500 msnm, altura desde la cual se inicia la Provincia Altoandina. El clima es frío y seco, reflejado en un balance hidrológico con déficit hídrico a lo largo del todo el año (Buitrago, 2000). Debido a la escasa humedad ambiental y a una elevada irradiación durante la noche, los cambios de temperatura son muy marcados. Las precipitaciones son estacionales, concentradas en los meses de verano, en el sur de la región se registran los valores mínimos de alrededor de 50 milímetros anuales y en el norte los valores oscilan alrededor de los 400 milímetros al año (Bianchi et al., 2005). Los vientos son intensos, pudiendo estar acompañados por nieve o granizo durante el invierno (Buitrago, 2000).

Estas condiciones ambientales, determinan un paisaje con estepas arbustivas con una minoritaria presencia de pastizales, y en áreas con humedad edáfica permanente la presencia de vegas, conformadas principalmente por gramíneas y dicotiledóneas herbáceas (Cabrera, 1957, 1968; Ruthsatz & Movia, 1975). Los términos vegas, bofedales o ciénagas, son denominaciones que varían entre los países andinos pero que refieren a un tipo de humedales que se encuentran en la región (Alzérreca et al., 2001; Ruthsatz, 2012; Maldonado Fonkén, 2014), el término bofedales es más utilizado en Perú y Bolivia, y ciénagas y vegas en Chile y Argentina (García & Beck, 2006). En sentido estricto, los bofedales son turberas con vegetación en cojín, siendo típicos de la provincia altoandina (García & Beck, 2006; Ruthsatz, 2012). Según Ruthsatz & Movia (1975), en las vegas que se encuentran en la Provincia Puneña predominan especies rizomatosas que forman céspedes cortos.

García & Beck (2006) sugieren no utilizar el término estepa para la vegetación puneña, ya que este término se asociaría con pastizales de zonas templadas continentales y no a formaciones de altura de gramíneas tropicales. Sin embargo, la bibliografía clásica sobre la vegetación de esta región hace referencia a estepas arbustivas; por lo tanto, esta denominación será la utilizada a lo largo del presente trabajo con la aclaración que las especies arbustivas dominantes son diversas especies de “tolares” (grupos de arbustos puneños, entre los que se encuentran los géneros *Parastrephia*, *Baccharis*, *Fabiana*) descritas como “formaciones ericoides siempreverdes con secreción de resinas” (Weberbauer, 1945; García & Beck, 2006). En la Figura 1.2, se ilustran varias comunidades vegetales características de la región sur de la Puna, específicamente en el sector norte de la cuenca de la Laguna de Pozuelos donde fue desarrollado el trabajo de campo de esta tesis.

La cuenca se encuentra localizada en el noroeste de la provincia de Jujuy y es uno de los sectores más húmedos de la Puna Argentina, en esa zona hay diversas comunidades vegetales producto de la influencia del relieve y la disponibilidad de agua para las plantas (Tecchi, 1991; Tecchi & García Fernández, 1998).

Figura 1.1. Provincias Fitogeográficas de Argentina, en recuadro de mayor escala de detalle se muestran las Provincias Puneña y Altoandina. Fuente: tomado de Cabrera (1976).

Figura 1.2. Algunas de las comunidades vegetales presentes en el sector norte de la Cuenca de la Laguna de Pozuelos, en Jujuy. a: estepa arbustiva de *Ocyroe armata*. b: estepa arbustiva de *Tetraglochin cristatum*. c: tolares (estepa arbustiva de *Parastrephia quadrangularis*). d: estepa arbustiva de *Baccharis boliviensis* y *Jarava icho*.

- **La productividad primaria de la vegetación natural en los sistemas pastoriles puneños**

La productividad primaria de la vegetación es un concepto central en Ecología que permite inferir diversas características del funcionamiento de un ecosistema. En forma general, este término hace referencia a la producción de biomasa en un determinado período de tiempo. Conceptualmente aporta información de relevancia acerca del flujo de energía en el sistema, así como también acerca de los ciclos de los nutrientes, producción de forraje y biomasa de herbívoros que puede alimentar (McNaughton et al., 1989). La productividad primaria de un ecosistema es definida por Odum & Warrett (2006) como la tasa a la cual la energía proveniente del Sol se transforma en compuestos orgánicos, producto de la fotosíntesis. La productividad neta (PPN), es el resultado de este proceso descontando las pérdidas por respiración. Este último puede subdividirse para su análisis, en productividad neta aérea (PPNA, o ANPP en inglés) y subterránea (PPNS, o BNPP), de acuerdo a si se localiza dentro del cuerpo de suelo o sobre él. Los herbívoros consumen una fracción de la productividad de la vegetación, de aproximadamente 50% de la PPNA y 20% de la PPNS (Detling, 1988). Globalmente, la disponibilidad de agua es el principal determinante de la productividad primaria a escala regional (Le Houerou & Hoste, 1977; Sala et al., 1988; Fernández et al., 1991; Sullivan & Rohde, 2002). A escala local, el relieve puneño genera condiciones locales de variabilidad de factores físico-químicos y biológicos, estableciendo una marcada heterogeneidad en la distribución de comunidades vegetales a lo largo del paisaje (García & Beck, 2006). Ello se complementa con la estacionalidad de las precipitaciones en toda la región, provocando una importante variabilidad espacial y temporal.

La vegetación de la Puna argentina ha sido objeto de numerosos estudios a escala local y regional (Cabrera, 1957, 1968; Ruthsatz & Movia, 1975; Kiesling et al., 1983; Bonaventura et al., 1995; Novara, 2003; Arzamendia & Vilá, 2006; Borgia et al., 2006, 2010; Rojo et al., 2012). Sin embargo, son escasos los estudios basados en la dinámica de la PPNA de los ecosistemas puneños en Argentina, dentro de estos se destaca el trabajo publicado por Baldassini et al., (2012) de extensión regional, en las provincias de Salta y Jujuy. Frecuentemente

son utilizados valores de referencia de productividad primaria provenientes de Bolivia y Perú (Genin et al., 1995b; Anze et al., 2003; Genin & Alzérreca, 2006).

La importancia de disponer de información sobre PPNA a diversas escalas espaciales radica en la posibilidad de obtener información acerca de los procesos que moldean la estructura, composición y crecimiento de la vegetación a diversos niveles de análisis (Wiens, 1989; Gibson, 2009). Los estudios regionales permiten mostrar tendencias globales de la vegetación, principalmente asociadas a las variaciones climáticas. Los estudios realizados a niveles más detallados, permiten profundizar acerca de las interacciones entre factores a escala local, este nivel de análisis permite además obtener información relevante para la toma de decisiones sobre el manejo de los sistemas (Chaneton, 2005; Cingolani et al., 2008).

- **Los sistemas pastoriles: relación planta-herbívoro**

El pastoreo de diversos ungulados, tanto domésticos (introducidos y nativos) y silvestres, influencia y actúa como presión de selección de la vegetación. Los herbívoros provocan mediante el pastoreo, cambios en la composición y la estructura de la vegetación a escala de paisaje, mientras que a escala regional, esos cambios responden principalmente a factores climáticos (Gibson, 2009). El efecto del pastoreo sobre la vegetación también es consecuencia de la historia ambiental de la interacción planta-herbívoro. Al respecto, el modelo desarrollado por Milchunas et al., (1988) y modificado por Cingolani et al., (2005) postula que las especies vegetales presentes en comunidades con larga historia de pastoreo pueden ser resilientes a modificaciones en intensidades de pastoreo dentro de un rango de variación histórico. En estos sistemas, las transiciones irreversibles pueden ocurrir cuando se desencadenan cambios estructurales como los provocados por procesos erosivos o la desaparición de especies protectoras (como arbustos espinosos) de las especies de mayor valor forrajero. Estos cambios estructurales pueden ser consecuencia de modificaciones en el manejo que tienden a aumentar las cargas por encima de los rangos históricos, disturbios causados por variaciones climáticas o una combinación de ambas (Milchunas et al., 1988; Westoby et al., 1989; Cingolani et al., 2005).

En cuanto a los herbívoros, la diferenciación de nichos tróficos resulta en una partición en el uso de los recursos de las especies nativas mediante selección de dietas diferentes aún en situaciones de recursos limitantes (Vesey-Fitzgerald, 1960; Bell, 1971; McNaughton, 1976; Illius & Gordon, 1992; Cooke et al., 2016). En sistemas con especies introducidas, como en el caso del ganado de ovinos y caprinos en la Puna, el nicho alimentario suele solaparse y generar competencia por los recursos con las especies nativas (Arzamendia et al., 2006; Borgnia et al., 2008, 2010; Acebes et al., 2012).

- **La capacidad de carga**

La capacidad de carga de un determinado ambiente es definida como la cantidad de animales que puede ser mantenida sin tender a aumentar ni a decrecer (De Vos, 1969; Begon et al., 2006). Este es un concepto sumamente importante en estudios que abordan la interacción entre herbívoros y vegetación, dado que su aplicación permite analizar las cargas animales y la productividad primaria de la vegetación y su relación con el estado de conservación (Golluscio, 2009). Un gran número de estos estudios fueron realizados en África, con enfoques regionales y locales, también provocando profundos debates relacionados con las hipótesis que explican las relaciones existentes entre diversos factores ambientales y sus consecuencias productivas, ecológicas y sociales (Le Houerou, 1980; Ellis & Swift, 1988; Illius & O'Connor, 2000; Sullivan & Rohde, 2002; Vetter, 2005; Campbell et al., 2006). Aplicado al manejo ganadero, el concepto de capacidad de carga incorpora objetivos productivos (Golluscio, 2009). Scarnecchia (1990) la definió como la cantidad óptima de herbívoros que puede ser soportada por una determinada superficie sin comenzar a mostrar síntomas de degradación de los suelos o la vegetación, teniendo en cuenta objetivos de producción y de manejo. Este concepto continúa siendo discutido en función de sus implicancias ambientales, aunque aún reviste una gran importancia en los estudios de pastoreo y conservación del sistema (Coe et al., 1976; Ellis & Swift, 1988; Roe, 1997; Illius & O'Connor, 1999; Vallentine, 2000; Sullivan & Rohde, 2002).

Actualmente, existen escasos antecedentes referidos a la capacidad de carga de la Puna en Argentina, y generalmente se han utilizado valores obtenidos para

sistemas bolivianos y peruanos (Genin et al., 1995b; Anze et al., 2003). Numerosos factores como la historia natural de las interacciones entre ungulados y vegetación, aspectos climáticos y geomorfológicos y el manejo del sistema influyen sobre la capacidad de carga a escala local y es por lo tanto un aspecto sumamente importante para incorporar en el análisis integral del sistema pastoril.

- **Los camélidos sudamericanos**

Los géneros de camélidos *Lama* y *Vicugna* se originaron en Sudamérica hace 2 millones de años y habitaron las montañas de los Andes durante los eventos climáticos asociados con la última glaciación del Pleistoceno y el establecimiento del régimen climático actual del Holoceno, hace 14 a 9 mil años (Wheeler, 2006), por lo que la vegetación de la Puna presenta una larga historia co-evolutiva de pastoreo con camélidos.

El poblamiento de la región andina ocurrió hace aproximadamente 13000 años (Yacobaccio & Morales, 2011). Los primeros pobladores de la región fueron cazadores recolectores, quienes componían reducidos grupos familiares, móviles en grandes extensiones de terreno (Núñez et al., 2010; Morales, 2011). Las evidencias de la domesticación de llamas indican que este proceso ocurrió hace 6000-7000 años, asociado a cambios ambientales y culturales en la región (Yacobaccio & Vilá, 2016). Estudios arqueológicos realizados sobre 26 restos momificados de llamas y alpacas datados en 950-1350 años AC en el sitio El Yaral (Rice, 1993), en el sur de la costa Peruana, permitieron obtener muestras de fibra de animales prehispánicos, a las cuales se les estudió el diámetro. Los resultados de los análisis efectuados indican que la calidad de fibra era superior a la actual, por lo que probablemente haya habido razas de llamas y alpacas que se perdieron durante la conquista (Wheeler et al., 1992, 1995; Baied & Wheeler, 1993).

Durante el período incaico, los camélidos presentaron un rol central en la cultura, referencias históricas indican en la región andina existían millones de llamas y alpacas, con rebaños de miles de animales (Flores Ochoa et al., 1994). Las llamas fueron un recurso clave para el transporte de mercancías y el desarrollo de las vías de comercialización durante todo el territorio, además de su uso como fuente de alimento y vestimenta y su importancia en la cosmovisión inca (Tapia

Núñez & Flores Ochoa, 1984; Baied & Wheeler, 1993). Posteriormente, durante la conquista española, la estructura social sufrió grandes cambios, con consecuencias sobre los sistemas productivos. Los españoles aprovecharon las ventajas de las caravanas de llamas y el complejo y extenso desarrollo de las vías de comunicación de los incas, sin embargo los rebaños de camélidos tuvieron un marcado descenso en cantidad de animales y calidad de los sitios de pastoreo. Una de las medidas implementadas por los conquistadores, fue la casi forzada compra por parte de los pastores nativos de ovejas, y también cabras (*Capra hircus*), vacas (*Bos taurus*) y cerdos (*Sus scrofa*). Según los “documentos regionales”, como el de Garci Diez de San Miguel de 1597 citado en Tapia Núñez & Flores Ochoa (1984) la política fiscal española obligaba a vender alpacas y llamas para reemplazarlas por la compra de ovinos comercializados por los mismos españoles. El efecto de la conquista sobre las culturas americanas también tuvo consecuencias en la pérdida de prácticas de manejo que habían desarrollado las sociedades precolombinas. Se estima que durante los primeros años de la conquista, aproximadamente el 90 por ciento de las llamas y alpacas desaparecieron (Flores Ochoa, 1982). El remanente fue desplazado a las zonas más altas, donde el ganado introducido encontraba numerosas dificultades para subsistir (Wheeler et al., 1992).

Las tendencias decrecientes en las cantidades de ganado nativo se mantuvieron durante la época republicana. Se fomentaron prácticas de manejo ganadero consideradas modernas, que incluyeron la importación de reproductores de las razas europeas, especies forrajeras y el uso de alambrados. Estas medidas no sólo fracasaron en lograr mejorar los sistemas pastoriles, sino que profundizaron el abandono de los rebaños de llamas y alpacas (Tapia Núñez & Flores Ochoa, 1984). En Jujuy, durante el siglo XIX, los conflictos sociales (guerras de independencia y luchas campesinas por las tierras) tuvieron consecuencias negativas sobre los pobladores puneños y sobre los sistemas pastoriles, las batallas en la región provocaron disminuciones en la cantidad de animales en los rebaños, y el deterioro de los campos de pastoreo, también los conflictos por la propiedad de las tierras y la escasez de mano de obra tuvieron consecuencias negativas (Montero, 2004).

Las referencias sobre las políticas estatales durante el siglo XX en relación a los sistemas pastoriles puneños son escasas, sin embargo diversas instituciones como INTA, gobiernos nacionales, provinciales y organizaciones internacionales como UNESCO, han desarrollado diversos proyectos que reprodujeron el enfoque europeo, profundizando la importación de estrategias productivas, como introducción de especies exóticas, animales reproductores, y la difusión de técnicas desarrolladas para otras regiones, como el uso de alambrados (Martínez, 1965; Lamas, 2012).

Actualmente, los números de llamas se han incrementado, pero se mantiene la integración de ganado introducido (Genin et al., 1995b; Tichit & Genin, 1997). La información actualizada sobre estadísticas de los sistemas pastoriles en la Puna es escasa, los últimos datos publicados del Censo Nacional Agropecuario del año 2008 indican que en el país existen 190.000 llamas, encontrándose en la Puna jujeña aproximadamente el 70% (Tabla 1.1), junto a 295.000 ovejas, 80000 cabras y 13.000 vacas (INDEC, 2008). La población humana en los Departamentos puneños de Jujuy es de 42.514 habitantes, representando un 6.6% del total provincial que se distribuye en una extensión superior al 50% de la superficie total de la provincia (INDEC, 2010).

Tabla 1.1. Comparación de las existencias ganaderas durante los censos nacionales agropecuarios (CNA) 1988-2002-2008, diferenciadas por especie en la región puneña de la provincia de Jujuy (Echenique et al., 2015).

	CNA1988	CNA2002	CNA2008
Ovinos	495.762	349.963	284.456
Caprinos	82.445	85.712	79.081
Llamas	82.580	105.177	137.532
Bovinos	10.762	11.257	13.066

Actualmente los sistemas pastoriles de la Puna de Jujuy y en el sur de Bolivia, continúan basados en el uso de la vegetación natural y en la crianza de varias especies, particularmente llamas y ovejas. La heterogeneidad espacial y temporal de la vegetación puneña definen las dinámicas de los sistemas pastoriles (Genin et al., 1995b; Genin & Alzérreca, 2006). Los pastores locales desarrollaron diversas estrategias para poder aprovechar al máximo la disponibilidad de forraje para sus animales y asegurar su supervivencia y reproducción (Genin et al., 1995b; Göbel, 2001; Yacobaccio, 2007; Wawrzyk & Vilá, 2013). Entre ellas se destacan: la rotación de las áreas de pastoreo, el ajuste de las etapas vitales mayor demanda energética de los animales (pariciones, servicios, lactancias y cría) sincronizado con momentos de mayor disponibilidad de agua y forraje, la división de los rebaños de acuerdo a categorías de demanda energética y cuidados, distribuyéndolos en diferentes unidades del paisaje con comunidades vegetales de diverso valor forrajero (Genin et al., 1995b; Lamas, 2012).

- **Los camélidos silvestres**

En la región andina argentina habitan dos especies de camélidos silvestres, las vicuñas (*Vicugna vicugna*) y los guanacos (*Lama guanicoe*) que completan el total de cuatro especies de camélidos sudamericanos, junto con las llamas y las alpacas (Vilá, 2012). La distribución de los guanacos es principalmente patagónica, aunque hay algunas poblaciones reducidas en el NOA (Baigún et al.,

2008). La distribución geográfica de la vicuña se restringe a la Puna y el Altiplano, hasta alturas superiores a los 5000 m.s.n.m.

Las evidencias históricas sobre la interacción entre las vicuñas y los pobladores andinos indican que la especie fue aprovechada por los primeros pobladores de la región (Yacobaccio, 2001; Yacobaccio & Morales, 2011). En las posteriores sociedades andinas, la especie fue un recurso importante como alimento y vestimenta, además de poseer un valor significativo dentro de la cosmovisión andina (Flores Ochoa et al., 1994; Vilá, 2012). En forma similar a los rebaños de llamas, a partir de la conquista española las poblaciones de vicuñas disminuyeron significativamente como consecuencia de la cacería provocada por la valoración de la fibra, como material textil de elevada calidad (Orlove, 1977). Fueron exportados a Europa decenas de miles de cueros de vicuñas (Yacobaccio, 2009). La continua presión de la caza sobre la especie, provocó un significativo descenso en las poblaciones, presentando un momento crítico a mediados del siglo XX, cuando la población total de vicuñas en toda la extensión de su distribución fue de aproximadamente 10000 animales (Wheeler & Hoces, 1997). Diversas medidas fueron implementadas en todos los países andinos para evitar la desaparición de las vicuñas (Laker et al., 2006), una de las principales consistió en el establecimiento del “Convenio para la conservación y manejo de la vicuña” al que adhirieron todos los 4 países altiplánicos (Perú, Bolivia, Chile y Argentina) y luego Ecuador. Además, a mediados de la década del 70, las poblaciones de vicuñas de todos los países andinos fueron incluidas en el Apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestre (CITES) que prohibía el comercio de fibra. Los Apéndices I, II y III de la Convención son listas de especies que ofrecen diferentes niveles y tipos de protección ante la explotación excesiva. En el Apéndice I se incluyen las especies sobre las que se cierne el mayor grado de peligro. Estas especies están en peligro de extinción y la CITES prohíbe su comercialización internacional, salvo cuando la importación se realiza con fines no comerciales, por ejemplo, para la investigación científica. En el Apéndice II figuran especies que no están necesariamente amenazadas de extinción pero que podrían llegar a estarlo a menos que se controle estrictamente su comercio. El comercio internacional de especímenes de especies del Apéndice II puede

autorizarse concediendo un permiso de exportación o un certificado de reexportación”, <https://cites.org/esp/app/index.php>). Se realizaron sucesivas modificaciones respecto al estatus de las distintas poblaciones en los países andinos en función de la recuperación de la especie (Tabla 1.2). Actualmente la vicuña se encuentra clasificada como de preocupación menor, “Least Concern” (Red List IUCN, 2008).

La implementación de las medidas de conservación permitió que muchas poblaciones de vicuñas mostraran indicios de recuperación en su área de distribución (Laker et al., 2006). Ello permitió el desarrollo de prácticas que permitieron obtener la fibra mediante técnicas de esquila en vivo que mantienen las poblaciones de vicuñas en silvestría (Arzamendia et al., 2012; Baldo et al., 2013), principalmente a partir de la recuperación de una práctica pre-hispánica denominada “chaku” (Custred, 1979). En el área donde fue desarrollada esta tesis, se realizaron varias esquilas de vicuñas entre los años 2003-2005, en la localidad de Cieneguillas y entre los años 2012-2014 en la localidad de Santa Catalina (Vilá et al., 2004; Arzamendia et al., 2010, 2014a). En la Figura 1.3 se muestra a las vicuñas pastoreando junto a llamas y ovejas.

Tabla 1.2 Secuencia temporal de la inclusión de las poblaciones de vicuñas en todos los países andinos en los Apéndices I y II de CITES (Laker et al., 2006). El Apéndice I implica la prohibición de cualquier forma de comercio de productos derivados de los animales. El Apéndice II permite la comercialización controlada de fibra.

Año	Estatus en CITES
1975	Apéndice I: Todas las poblaciones
1987	Apéndice II: Algunas poblaciones vicuñas de Perú y Chile:
1995	Apéndice II: Todas las vicuñas de Perú y las de la Primera región de Chile
1997	Apéndice II: Vicuñas en cautividad y poblaciones de la provincia de Jujuy, y algunas poblaciones de Bolivia
2002	Apéndice II: Todas las poblaciones de la provincia de Catamarca y todas las vicuñas de Bolivia

Figura 1.3. Presencia de los tres herbívoros principales en el pastoreo puneño, vicuñas, llamas y ovejas, en un campo de la Cooperativa de Santa Catalina.

- **La conservación del sistema, síntomas de deterioro ambiental**

Los estudios asociados a la desertificación aportan herramientas útiles en la elaboración y desarrollo para los análisis de degradación de tierras. El término desertificación es definido como “la degradación de tierras en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas, como resultado de varios factores como las variaciones climáticas y las actividades humanas” (UNCCD, 1994). La ganadería puneña suele estar asociada a degradación ambiental y se menciona la existencia de áreas con escasa o nula cobertura de la vegetación, vegas severamente degradadas, vegetación dominada por pocas especies de baja palatabilidad (Braun Wilke & Guzmán, 2003). Al igual que en muchas otras zonas áridas y semiáridas, los factores ambientales tanto bióticos como abióticos que operan en cada sistema son numerosos y sus efectos pueden variar de acuerdo a las escalas temporales y espaciales consideradas (Sullivan & Rohde, 2002), por lo tanto, son necesarios los análisis orientados a la interacción planta-herbívoro para establecer relaciones causales entre el manejo pastoril y el

estado de conservación del sistema con un mayor grado de certidumbre. En el capítulo 6 de esta tesis doctoral, se profundizan estas temáticas.

El marco epistemológico desde el cual se analiza el manejo ganadero en esta tesis se describe en relación al valor relativo de algunos conceptos centrales. En las zonas áridas y semiáridas, actualmente denominadas tierras secas (Abraham, 2006), se discuten principalmente dos modelos que pretenden explicar el funcionamiento general de estos ecosistemas. El debate se centra en la relevancia que le otorga cada uno a la presión ganadera a través de las cargas animales, y al efecto de los factores abióticos (como las lluvias y el relieve). El primero de ellos se basa en la Teoría Sucesional de Clements (Clements, 1916), que considera un estado de la comunidad en equilibrio (climax), ubicado en el extremo teórico de un gradiente, que en función de los disturbios (como el pastoreo) puede aproximarse o alejarse de ese estado. De acuerdo a esta teoría, las cargas animales son factores claves para manejar el estado de la comunidad, en relación al consumo de biomasa y variación de la composición de especies (Illius & O'Connor, 1999). El otro modelo se basa en los denominados sistemas de no equilibrio, en los cuales los factores abióticos actúan en forma estocástica sobre los sistemas; esta teoría le otorga mayor valor relativo a agentes ambientales como el fuego y la disponibilidad de agua, en relación al pastoreo (Ellis & Swift, 1988; Wiens, 1989; Vetter, 2005). Los dos modelos postulan situaciones teóricas muy difíciles de encontrar en la naturaleza, y algunos autores sugieren considerarlos como extremos en un *continuum* de acuerdo a los regímenes de precipitación de cada zona (Sullivan & Rohde, 2002). Esto significa que en ambientes con lluvias escasas (donde también aumenta la variabilidad interanual), los modelos de no equilibrio explicarían mejor el comportamiento de los ecosistemas; y en regiones con regímenes de precipitación húmedos y subhúmedos, serían más adecuados los basados en la teoría sucesional. La mayoría de los trabajos que sustentan este debate, han sido elaborados en las tierras secas africanas, a raíz de los grandes desastres ambientales relacionados con la degradación de los suelos, y sus consecuencias sobre la vegetación natural y el ganado, provocando hambrunas y grandes migraciones. Existen escasas referencias sobre esta temática para la región Puneña aunque es probable que el sistema muestre indicios de funcionamiento

como sistema de equilibrio y no equilibrio en función de las escalas espaciales y temporales consideradas (Genin et al., 1995b; Buttolph & Coppock, 2013). En esta región montañosa, además, el relieve posee una significativa importancia (Reboratti, 2003), aportando un nivel de complejidad mayor por la interacción del relieve y los procesos geomorfológicos con las variables climáticas, antrópicas y propias de la vegetación, incrementando la heterogeneidad espacial y temporal del sistema.

- **Descripción de esta tesis**

Esta tesis fue desarrollada en el marco de un programa de investigación interdisciplinario iniciado a partir del año 2010 que incluye un plan de manejo de vicuñas silvestres en Santa Catalina (Vilá et al., 2012).

El presente trabajo fue organizado en tres grandes ejes temáticos: las características espaciales y temporales de la vegetación con énfasis en la productividad primaria, el manejo ganadero local y los síntomas de degradación (Figura 1.4). Los mismos atraviesan toda la tesis y bajo este criterio, el orden de capítulos se ha establecido de acuerdo a niveles jerárquicos y la integración de los resultados que contienen. Esto significa que los primeros capítulos profundizan sobre el estudio de diversos aspectos de la vegetación, luego se integra el uso ganadero y su relación con la dinámica de la vegetación a través de la capacidad de carga y por último se incluye el análisis de los síntomas de desertificación en el área.

- **Relevancia de este trabajo**

La vegetación natural es el recurso básico de los herbívoros en los sistemas pastoriles puneños, e indicador de disponibilidad de alimento para el ganado. A pesar de su importancia, existen escasos resultados publicados sobre la productividad primaria a escala local en toda la Puna, información relevante e imprescindible para definir cargas ganaderas apropiadas para cada ambiente. Asimismo, la variabilidad espacial y temporal de la disponibilidad de forraje para los herbívoros (dinámica de la vegetación) hacen necesario establecer un seguimiento de los factores que interactúan a diversas escalas, para lograr

resultados representativos de la complejidad del funcionamiento de este ecosistema.

El propósito de este trabajo es contribuir al conocimiento de los sistemas pastoriles puneños, en relación a las dinámicas espaciales y temporales de la vegetación y del manejo ganadero dado que en la Puna jujeña, existe muy poca información publicada al respecto (PROSAP, 2012). La generación de información básica acerca de estos ambientes es fundamental para promover el desarrollo sostenido de las comunidades pastoriles locales (muchas de estas aborígenes) y aportar herramientas útiles para, por ejemplo, enfrentar posibles escenarios de cambio climático en la región.

Figura 1.4. Esquema de los conceptos centrales en el desarrollo de la tesis y sus interacciones.

- **Objetivo general**

Analizar la composición y dinámica de la vegetación puneña en su variabilidad espacial y temporal en relación con los herbívoros de un área representativa de la puna jujeña y el efecto de factores climáticos, topográficos y edáficos sobre la misma.

- **Objetivos específicos**

- Caracterizar las unidades ambientales de suelo y vegetación del área.
- Evaluar los cambios temporales y espaciales de la vegetación.
- Estimar la capacidad de carga y la carga animal estacional y anual del área.
- Analizar cambios espaciales y temporales a escala de paisaje en el uso del hábitat por los ungulados silvestres (vicuña) y domésticos (llamas, ovejas y burros).
- Determinar si existen indicios de degradación y desertificación.
- Desarrollar metodologías que permitan estimar la biomasa de la vegetación a través de ecuaciones biométricas.
- Indagar sobre posibles variables predictoras de la productividad primaria a diferentes escalas espaciales, que faciliten el diseño e implementación de propuestas de manejo en los sistemas pastoriles puneños.

- **Hipótesis**

1. La estructura y composición de la vegetación y su dinámica temporal responden a factores topográficos y edáficos así como a los herbívoros presentes.
2. Los patrones de distribución del pastoreo por parte de los herbívoros varían en función de las características de los recursos forrajeros disponibles y del manejo ganadero.
3. La capacidad de carga presenta una elevada variabilidad en función de características intrínsecas de las especies dominantes y sus cambios en función de los recursos disponibles (agua y nutrientes), dependientes de los factores climáticos.

4. Las distintas unidades de vegetación presentan diferentes grados de desertificación, dependiendo del tipo de suelo, composición de especies y cobertura vegetal, relieve, cargas ganaderas y del efecto diferencial de períodos de sequía.
5. La biomasa de las especies de mayor tamaño individual (pastos cespitosos y arbustos) presenta relación directa con otras variables mensurables de las plantas, pudiendo ser modelada mediante ecuaciones matemáticas.

Capítulo II

Área de estudio

- **La Cuenca de la Laguna de Pozuelos**

El área de estudio se encuentra en el sector norte de la Cuenca de la Laguna de Pozuelos, en el departamento de Santa Catalina, localizado en el noroeste de la provincia de Jujuy (22.78 S- 22.42 S, 65.80-66.76 O, Figura 2.1), a una altura media de 3800 m.s.n.m. Esta cuenca fue declarada Reserva de Biósfera en 1990 (Programa MAB de la UNESCO) debido a su importancia como cuenca endorreica para la conservación de la biodiversidad y para la actividad pastoril local (Tecchi & García Fernández, 1998).

Dentro de la reserva de biosfera, el espejo de agua de la laguna de Pozuelos, es Monumento Natural Nacional (administrado por Parques Nacionales) y Sitio RAMSAR (Tecchi, 1991; Tecchi & García Fernández, 1998).

En toda la cuenca, han sido diferenciadas cinco unidades ambientales en función de la litología, depósitos superficiales y cobertura de la vegetación: Laguna y Paleo-laguna, Piedemonte, Relieve Volcánico, Sierras Orientales, Sierras Occidentales (macizo principal y valles fluviales) (Cendrero et al., 1993). En el área de estudio se encuentran representadas las unidades Laguna y Paleo-laguna y Sierras Occidentales (Figura 2.6). En este sector norte el gradiente ambiental se orienta hacia el curso del río Santa Catalina, que atraviesa el área en sentido Norte-Sur, en dirección a la Laguna de los Pozuelos. La zona oeste del área de estudio, más cercana al pueblo de Santa Catalina presenta los porcentajes de pendiente más elevados, debido a las laderas de las serranías. Gran parte del río y sus afluentes no suelen presentar agua en superficie durante la estación seca. Las zonas aledañas al río presentan escasas pendientes.

Figura 2.1. Localización en la provincia de Jujuy de la zona de influencia del estudio, en recuadro negro. Se indican los centros poblados, cursos de agua, caminos, curvas de nivel, división política del área y un sector de la Laguna de los Pozuelos. Fuente: elaboración propia a partir de información georreferenciada del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2013).

- **El clima**

La inexistencia de estaciones meteorológicas determina que se deban utilizar los valores obtenidos en la estación del Servicio Meteorológico Nacional más cercana, en La Quiaca, distante a 67 km de Santa Catalina.

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen (Kottek et al., 2006), el clima es Semiárido Frío, BSk (B: Seco; S: las lluvias medias anuales están entre un 50 % y un 100 % de la temperatura media anual multiplicada por veinticuatro; k: La temperatura media anual está por debajo de los 18 °C).

Debido a la intensa radiación solar y a la altura sobre el nivel del mar, sumados a la escasa humedad relativa, la amplitud térmica diaria puede alcanzar los 30°C, por lo que las temperaturas presentan oscilaciones diurnas de mayor amplitud que las estacionales. Para La Quiaca, las temperaturas medias del mes más cálido (enero) oscilan entre 19,7°C (máxima media), y 7,2°C (mínima media), y las temperaturas medias del mes más frío (julio) entre 14,7 °C (máxima media) y -7,3 °C (mínima media) (Braun Wilke 2001). En otoño e invierno las heladas nocturnas son frecuentes y las nevadas esporádicas. En la Fig. 2.2 se presentan las temperaturas medias mensuales de la localidad de La Quiaca para el período de estudio.

Figura 2.2. Temperaturas medias mensuales de la localidad de La Quiaca para el periodo de estudio (Grafico elaboración propia con datos de SMN).

Las precipitaciones rondan los 375 mm (Bianchi et al., 2005) aunque suelen presentar una elevada variabilidad interanual, Figura 2.3.

El balance hidrológico (Figura 2.3) obtenido a partir de datos de esta ciudad indica que no hay excedentes hídricos a lo largo de todo el año, y en función de las temperaturas y las precipitaciones medias mensuales, la evapotranspiración potencial (ETP) y la real (ETR) muestran valores máximos durante los meses de verano (Buitrago, 2000).

Figura 2.3. Precipitaciones mensuales por año para el período de estudio y balance hidrológico de La Quiaca, localidad donde se encuentra la estación meteorológica más cercana. Fuente: elaboración propia con datos del servicio meteorológico nacional (2016) y de Buitrago (2000). ETP: evapotranspiración potencial.

Periódicamente la región se ve afectada por períodos plurianuales de sequía que producen efectos negativos sobre la actividad agropecuaria, en al menos uno de cada cuatro años se registra una sequía media y aproximadamente cada ocho años ocurre una sequía grave (llueve sólo 55% del promedio) (Tecchi, 1998).

Durante el 2015-2016, se registró una marcada disminución en las precipitaciones estivales asociada también a un aumento en las temperaturas, provocando una severa sequía en la región. Las diferencias respecto a los valores medios mensuales de precipitación y temperatura media históricos se observan en las Figuras 2.4 y 2.5.

Figura 2.4. Valores de temperatura media mensual del año 2016, respecto a la media histórica, registrados en la estación de La Quiaca del Servicio Meteorológico Nacional.

Figura 2.5. Valores de precipitación mensual registrados del año 2016, respecto a la media histórica, registrados en la estación de La Quiaca del Servicio Meteorológico Nacional.

Los vientos son fuertes y turbulentos, con velocidades frecuentes de 20 a 30 Km/h y predominantemente del cuadrante oeste. Estas características aumentan las cualidades de sequedad del medio. En La Quiaca, las mayores velocidades medias (14 Km/h) se registran en primavera (Servicio Metereológico Nacional, 2007), y el promedio de escalar de vientos para el período de estudio en La Quiaca fue 7,2 km/h.

Las unidades ambientales

Estudios geomorfológicos y de vegetación realizados en la Cuenca de Pozuelos identifican cinco unidades ambientales: Piedemonte, Sierras Occidentales-macizo principal y valles fluviales-, Laguna y Paleolaguna, Tabla 2.1 (Tecchi, 1991; Cendrero et al., 1993). Tres de las unidades mencionadas se encuentran en el área de estudio: sierras occidentales, localizadas en el oeste, con elevadas pendientes, suelos con escaso desarrollo y rocas en superficie, con predominancia de estepas arbustivas principalmente dominadas por *Baccharis boliviensis*; piedemonte, área de transición entre las serranías y las planicies, con diversidad de comunidades vegetales; y paleolaguna, influida por la dinámica del río Santa Catalina, y dominada por especies asociadas a la vegetación ribereña (Tabla 2.1, Figura 2.6).

Tabla 2.1. Características ambientales de la Cuenca de Pozuelos (tomado de Tecchi, 1991), (Ubicación unidad, ver en Figura 2.6)

UNIDAD	Altitud	Relieve	Pendiente y orientación	Precipitaciones estimadas anuales (-mm)	Temperatura media anual °C	Litología	Formación vegetal	Aspectos geomorfológicos	Cuerpos de Agua	Uso actual
POZUE-LOS Laguna y Paleolaguna	3600-3650 m.s.n.m.	Plano	Todos los vientos 0-1%	350	9	Depósitos fluvio lacustres	Cesped. Pajonal. Hidrofitia.	PaleoriberaS uperficies de sedimentación.	Laguna. Lagunillas estacionales.	Pastoreo intensivo en invierno
CIENE-GUILLAS Piedemonte	3650-3800 m.s.n.m.	Ondulado.	E y O 2 a 5%	350	7 a 9	Coluvión heterométrico.	Estepa arbustiva. Tolares.	Glacis. Conos. Abanicos. Medanos.	Paleocauces Cursos estacionales y permanentes.	Pastoreo moderado a intensivo. Implantación de pasturas.
SANTA CATALINA Sierra occidental valle fluvial.	3800-4100 m.s.n.m.	Ondulado.	E y O 1 a 10%	400 .	6 a 7	Lutitas. Acarreos modernos.	"Ciénego" . Tolares. Estepa arbustiva.	Plano aluvial. Glacis. Vertientes.	Cauces permanentes y estacionales.	Pastoreo moderado. Minería (Au)
CERRILLOS Sierra oriental	3800-4500 m.s.n.m.	Abrupto y quebrado.	O 5 a 20 %	350	4 a 7	Lutitas. Dacitas.	Estepa arbustiva. Pastizal. Con arbustos. "Ciénegos".	Quebradas amplias. Vertientes. Relieves aislados.	Cursos permanentes y estacionales.	Pastoreo moderado
PAN DE AZUCAR Relieve volcánico	3800-4600 m.s.n.m.	Plano a ondulado.	N-NE-NO-S 1 a 15%	300	4 a 7	Depósitos cineríticos. Roca sedimentaria	Estepa arbustiva. Queñoales. Vegas	Glacis. Domos subvolcánicos. Planos ignimbríticos.	Cursos permanentes y estacionales.	Pastoreo moderado. Minería de mediana escala (Pb, Ag, Zn)
LAGUNILLAS Sierra occidental. Fosa tectónica.	3800-4000 m.s.n.m.	Ondulado a quebrado.	E y O 2 a 10%	400 .	6 a 7	Lutitas. Acarreos modernos.	Vegas. Queñoales. Tolares. Estepa arbustiva.	Planos de sedimentación lacustre. Conos y abanicos	Lagunillas. Cursos permanentes y estacionales.	Pastoreo intensivo.
RINCONADA Sierra occidental. Macizo principal.	3800-4700 m.s.n.m.	Abrupto y quebrado.	E y O 5 a 30%	400	3 a 7	Lutitas.	Estepa arbustiva. Pastizal. Con arbustos. Vegas.	Superficies de culminación. Pendientes suaves a abruptas.	Cursos estacionales.	Pastoreo moderado. Minería (Au)

Los suelos de la cuenca de Pozuelos han sido caracterizados solo a escalas pequeñas (1:200.000), donde se identificaron dos asociaciones: y un complejo (Rocca, 1984):

- Asociación Cieneguillas-Yoscaba:

se extiende desde el río Santa Catalina al Norte, hasta el río Cincel en el sur, localizándose en las zonas más altas en planos inclinados. Presenta un horizonte argílico de profundidad variable y un horizonte superficial de textura arenosa. Estos suelos se asocian a estepas arbustivas.

- Asociación Santa Catalina-Cóndor-Puesto Chico:

se localiza en una franja amplia a ambos márgenes del río Santa Catalina y sus afluentes. Relieve plano, con zonas cóncavas y lomas arenosas, pendientes entre 1-2%. No poseen horizonte argílico, siendo el horizonte superficial de texturas finas (franco arcillo-limosas). La vegetación dominante son las estepas de tola de río y los esporales en las lomas medanosas.

- Complejo fluvio-lacustre:

Suelos de áreas deprimidas y planos bajos aluviales. Relieve plano y plano-cóncavo, niveles diversos de salinidad y alcalinidad.

Figura 2.6. Área de estudio en relación a la región norte de la Puna Jujeña y las unidades ambientales identificadas en la Cuenca de Pozuelos.

- **Caracterización de la población y actividades en el área**

La localidad de Santa Catalina (21°56'47''Sur y 66°03'05'), se encuentra en el Departamento homónimo, dista 65 Km al Oeste de la ciudad de La Quiaca y es la localidad más importante del área donde se concentra gran parte de la actividad comercial, educativa, sanitaria y administrativa (Vilá et al., 2012). El Departamento de Santa Catalina presenta una población total de 2800 habitantes (Censo de población y vivienda de 2010, INDEC, 2010). Otras localidades de menor importancia dentro del área de estudio son Puesto Grande, Piscuno y Casira, estas dos últimas comparten parte de sus poblados con Bolivia.

Si bien el poblado de Santa Catalina concentra una actividad relativamente importante de fuentes laborales, la principal actividad en la zona es el trabajo rural, mostrando diversas formas de producción y de vinculación con el medio (Lamas, 2012; Vilá et al., 2012). En el área de estudio de esta tesis existen tres comunidades aborígenes (Atu Saphi de Morritos, Yurax Rumi y Auka Piña Chambi) con campos de pastoreo comunales. Además hay campos privados y una cooperativa (Cooperativa de Productores Agroganaderos de Santa Catalina, COOPASAC) que nuclea a algunas familias que poseen campos propios.

En todos los campos de pastoreo se observa un patrón de rotación al menos dos veces al año, presentando cambios en los puestos de vivienda. En el área de estudio cada productor posee entre 400 a 1000 ovejas y de 80 a 400 llamas (Vilá et al., 2012). Las existencias ganaderas en el Departamento Santa Catalina son de 67800 cabezas de ovinos y de 24000 llamas, representando respectivamente el 23% y el 17% a nivel provincial. Ello refleja la importancia relativa de esta zona en la producción ganadera de la provincia (Lamas, 2012).

- **Elección de los sitios de muestreo**

Los muestreos se realizaron en la zona norte de la Cuenca de la Laguna de Pozuelos, en la localidad de Santa Catalina y su área de influencia (Figura 2.1). El área fue elegida a partir de la demanda de un grupo de productores organizados en una cooperativa, a partir del año 2010 (COOPASAC: Cooperativa de Productores

Agroganaderos "de Santa Catalina Ltda", matrícula 49350), con el objetivo de mejorar producción y comercialización de la ganadería local e iniciar el manejo de las vicuñas silvestres en la zona, para lo cual convocaron al grupo de investigación VICAM, a fin de diseñar e implementar un plan de manejo de vicuñas silvestres, que se continúa en la actualidad (Vilá et al., 2012; Arzamendia et al., 2014a). Como parte de dicho plan se generaron varias líneas de investigación, entre las cuales se encuentra la de este trabajo de tesis (Vilá et al., 2013; Arzamendia et al., 2014b, 2015).

A partir de esto, se eligió un área total de aproximadamente 10500 ha, representativa de las principales unidades ambientales que componen el sector norte de la cuenca laguna de Pozuelos. Esta área forma un mosaico de ambientes (Castañera & González 1991, Cendrero et al. 1993) ubicados al este- sur este de la localidad de Santa Catalina entre las localidades de Piscuno, Casira y Puesto Grande, que incluye el Río Sarcarí o Santa Catalina y abarca todas las unidades ambientales del sector norte de la cuenca (Serranías orientales, piedemonte y paleolaguna). Dentro del área se muestrearon 11 parcelas de diferente tamaño (54 ha a 1700 ha), que componen 6 unidades productivas, (Figuras 2.2 y 2.6). Una parte de las parcelas está alambrada total o parcialmente, posee ganado de ovinos y llamas al menos en una temporada al año y puestos donde se alojan los pobladores. Es además una de las zonas con mayor densidad de vicuñas silvestres de la provincia de Jujuy (Arzamendia et al. 2014). Estos sitios fueron mapeados con GPS (garmin e-trex) y posteriormente volcados a un sistema de información geográfico, SIG (Figura 2.6). En 3 de estas parcelas se realizó el manejo de vicuñas, ubicándose la infraestructura de captura (mangas y corrales).

Capítulo III

Dinámica de la vegetación

- **Introducción**

La distribución espacial y algunos atributos (cobertura, biomasa y productividad) de las comunidades vegetales en la Puna presentan una complejidad que responde a diversos factores climáticos y a condiciones locales. Algunos factores identificados son: ubicación en el paisaje, disponibilidad de humedad edáfica, orientación, características de los suelos e influencia del pastoreo, entre otros (Cabrera, 1957; Ruthsatz & Movia, 1975; Cabrera & Willink, 1983; Borgnia et al., 2006; Talamo et al., 2010).

Ruthsatz & Movia (1975) mencionan algunos caracteres estructurales de la vegetación natural puneña que serían rasgos adaptativos frente a los factores ecológicos del ecosistema. El factor más importante que condiciona el crecimiento es la disponibilidad de agua, por lo que las especies muestran diversas estrategias adaptativas que les permiten eficientizar su uso, como un sistema radicular profundo y extenso, almacenamiento de agua en órganos y tejidos, reducción de superficie foliar, pérdida de hojas y muerte de parte aérea en la estación seca, función fotosintética de tejidos corticales, reducción de altura de las plantas y aumento de densidad del follaje. Otro factor influyente sobre el crecimiento de la vegetación puneña es la temperatura siendo las características mencionadas también adaptativas sobre las presiones de selección de las bajas temperaturas, especialmente porque estas suelen ser contemporáneas de la estación seca.

El volumen de agua disponible, a escala local, es resultado de las precipitaciones y del agua subterránea, y su accesibilidad depende, en parte, de las características edáficas que influyen sobre el almacenamiento y posterior liberación dentro del perfil hacia las plantas (Conti & Giuffrè, 2011). La capacidad de almacenamiento de agua de los suelos de zonas áridas y semiáridas es particularmente importante cuando las precipitaciones están concentradas en pocos meses. La hipótesis del efecto

inverso de la textura (Noy-Meir, 1973) o “inverse texture effect” postula que en zonas áridas, los suelos con menor capacidad de retención hídrica (texturas gruesas), paradójicamente son mejores para abastecer de agua a la vegetación en que los de mayores capacidades (texturas finas). En las zonas áridas, la evaporación suele ser elevada y los pulsos de precipitación suelen ser breves e intensos, provocando pérdidas tanto por evaporación debido a la elevada demanda atmosférica y las ocasionadas por escurrimiento superficial en suelos de textura fina, que no pueden incorporar en el perfil una proporción relativamente alta del agua. En cambio, los suelos de textura gruesa, infiltran gran parte y por lo tanto abastecen a capas profundas. Sala et al. (1988) encontraron para la región central de los Estados Unidos, un valor crítico (de 370 mm de precipitación anual), a partir del cual existe un cambio en la eficiencia y los suelos de textura gruesa dejan de ser los óptimos. Los suelos de la cuenca de Pozuelos han sido caracterizados solo a escalas pequeñas (1:200.000), identificándose las asociaciones Cieneguillas-Yoscaba, principalmente dominada por estepas arbustivas; Santa Catalina-Condor-Puesto Chico, donde predominan los tolares de río y esporales en lomas medianosas; y un complejo fluvio lacustre, ubicado en áreas deprimidas y bajos aluviales (Rocca, 1984).

En un trabajo de síntesis sobre tipos de suelos del país, algunos suelos presentes en el área puneña de Jujuy fueron identificados como: Paleargides Típicos, Haplocambides Típicos y Paleargides Petrocálcicos (Panigatti, 2010) aunque cabe aclarar que los mismos no fueron relevados en el área de este estudio. Bonaventura y colaboradores (1995), muestrearon una franja transversal en el centro de la cuenca de Pozuelos, determinando diversas características florísticas y edáficas en relación a las unidades ambientales presentes.

En el área de la cuenca de Pozuelos, se han caracterizado algunas de las comunidades vegetales presentes, en función de variables florísticas y fisonómico-estructurales (Cabrera, 1948, 1957, 1968; Castañeda & González, 1991; Tecchi, 1991; Bonaventura et al., 1995; Cajal et al., 1998; Arzamendia et al., 2006; Arzamendia, 2008) y otras como la cobertura y suelos. Además, Ruthsatz y Movia

(1975) describieron varias comunidades de la zona en función de su ubicación orográfica, cobertura, composición de especies y su uso. Algunas de estas comunidades descritas son las vegas puneñas, las estepas arbustivas de *Baccharis boliviensis* y *Fabiana densa*, las estepas arbustivas de *Tetraglochin cristatum*, los céspedes de gramíneas y suelos no inundados, los esporales y los tolares. En estas comunidades vegetales se suelen diferenciar dos estratos: alto y bajo, definidos en función de su altura y la composición de especies dominantes (Cabrera, 1957; Ruthsatz & Movia, 1975). Generalmente, el estrato bajo está compuesto por gramíneas, graminoides y herbáceas dicotiledóneas; mientras que el estrato alto (con alturas superiores a los 15 cm), se compone de gramíneas cespitosas (denominadas “pastos” o “pajas”) y/o arbustos, pudiendo presentarse como especies dominantes o formando estepas mixtas (Ruthsatz & Movia, 1975; Arzamendia et al., 2006). Las especies del estrato bajo son fundamentales en el aporte de biomasa para forraje de los herbívoros puneños, por otro lado, las del estrato alto aún sin ser las preferidas por los herbívoros, son consumidas en menor grado y particularmente en períodos de escasez de forraje (Genin & Alzérreca, 2006; Borgnia et al., 2010; Arzamendia & Vilá, 2015).

A pesar de su importancia para los sistemas pastoriles, siguen siendo escasos los trabajos sobre la productividad y biomasa de la vegetación puneña (Genin & Alzérreca, 2006). Un trabajo a escala regional que se basó en el uso de técnicas de teledetección abarcó la Puna jujeña y salteña, caracterizando la productividad primaria aérea de cinco clases vegetadas (estepa arbustiva densa, estepa graminosa arbustiva, estepa arbustiva rala, estepa graminosa densa, estepa graminosa rala) y cuatro no vegetadas (salares, suelo desnudo, cuerpos de agua y nieve permanentes) en función de las formas de vida dominantes y su cobertura (Baldassini et al., 2012).

En Bolivia, existen estudios sobre la distribución espacial de las comunidades vegetales, la composición de especies, biomasa y su relación con el manejo ganadero (Navarro, 1993; Genin et al., 1995b; Alzérreca et al., 2001, 2003; Genin & Alzérreca, 2006; Muñoz García et al., 2013; Muñoz et al., 2015). Estos trabajos son

interesantes a fines comparativos y como base para descripciones de comunidades similares de la Puna argentina.

Este capítulo se centra en la caracterización de la vegetación del área de estudio, a distintas escalas espaciales y temporales

Los objetivos son:

- Identificar y describir las diversas unidades de vegetación o comunidades vegetales del área de estudio de acuerdo a sus características florísticas y fisonómico-estructurales, y cartografiarlas en relación a su ubicación en el paisaje.
- Caracterizar y determinar la variación espacial y temporal de estas unidades de vegetación, a través de la estimación de diversas variables como la biomasa, cobertura vegetal y productividad primaria.
- Estimar la productividad primaria neta aérea (PPNA).
- Identificar y caracterizar los suelos presentes en cada unidad de vegetación.
- Asociar la distribución de las comunidades vegetales a las características fisiográficas y unidades ambientales determinadas de la reserva de biosfera laguna de Pozuelos.

- **Métodos**

- Caracterización y distribución espacial de las unidades de vegetación

Dentro del área de estudio, cada unidad de vegetación fue caracterizada de acuerdo a criterios fisonómico- estructurales (Mateucci & Colma, 1982): se determinó la fisonomía y composición de las especies dominantes y su distribución espacial respecto a su ubicación en el relieve (zonas de laderas, pedemonte, pequeños valles o áreas planas), características edáficas (suelos someros o profundos, porcentajes de pedregosidad superficial, textura: gruesa o fina), y la extensión de sus superficie en el área. Para ello se realizó un muestreo preliminar recorriendo en vehículo, los caminos principales y secundarios del área de estudio, registrando y georreferenciando las distintas unidades de vegetación de acuerdo a estos criterios.

Para analizar la distribución espacial y clasificar las unidades de vegetación, se realizó un análisis espacial mediante un sistema de información geográfica (SIG). Se realizó un análisis preliminar del área a través de una clasificación no supervisada de una imagen NDVI (Índice de vegetación normalizado) (se evaluaron también otros índices, como SAVI (Huete, 1988), y TSAVI (Marsett et al., 2006), pero no mejoraron el desempeño del NDVI) del área, comenzando con 10 clases en función del valor de cada pixel, que permitió integrar la información disponible del muestreo preliminar a campo y determinar las distintas unidades de vegetación. Se corroboró a campo la identificación, y se desarrolló la cartografía final a través del procesamiento digital de la imagen satelital y la elaboración de un sistema de información geográfico, realizando una clasificación supervisada con los puntos de terreno sobre un mapa de NDVI, con el uso complementario de una imagen falso color de la misma escena para realizar la digitalización de los polígonos (Lillesand et al., 2004; Schowengerdt, 2007). Se utilizaron los programas QGIS (Quantum GIS Development Team, 2013), SAGA (Conrad, 2006) y ArcGIS (ArcGIS® software by Esri). La imagen satelital utilizada es un producto Landsat (<http://glovis.usgs.gov/> y <http://earthexplorer.usgs.gov/>) 8 OLI (ID: LC82320752014002LGN00), corregido a reflectividad en superficie, del 02/01/2014, con una resolución espacial de 30 m. Finalmente, se llegó a una clasificación de 12 unidades, y se estimó la superficie de cada unidad corroborada a campo. Los escasos niveles de cobertura vegetal y el bajo contraste con el suelo de la mayoría de las especies presentes dificultan la diferenciación entre unidades y requiere el uso simultáneo de varias fuentes de información, como los puntos GPS, los índices de vegetación, las combinaciones de bandas y las clasificaciones.

- Muestreo de vegetación

En el campo, se colectaron todas las especies vegetales dentro de la unidad muestral, las cuales fueron herborizadas para su identificación por comparación con bibliografía de la Flora Argentina (Zuloaga et al., 2012a; b; Zuloaga y Belgrano, 2015) y herbario del Instituto de Botánica Darwinion (IBODA), Buenos Aires.

Se realizó un muestreo estratificado al azar (Matteucci y Colma, 1982) teniendo en cuenta las unidades de vegetación caracterizadas y clasificadas a campo y mediante el SIG, estas comunidades vegetales se estudiaron mediante un muestreo cuantitativo, midiendo las siguientes variables:

- Biomasa y cobertura

Los relevamientos de cobertura fueron realizados de acuerdo con Matteucci y Colma (1982). Se establecieron unidades muestrales de forma rectangular de 2 m² (2m * 1m), esta superficie maximiza la curva especies/área. En cada unidad de vegetación se ubicaron al azar al menos 5 unidades muestrales. Cada una fue georreferenciada con GPS de mano y demarcada en el terreno con estacas de diversos tipo y marcas sobre las plantas circundantes. Las estacas fueron colocadas sobre el vértice NE (noreste) del rectángulo. Las mediciones se realizaron a través de estimación visual de la cobertura en porcentajes sobre el total de la superficie de rectángulo de acuerdo a modificaciones al método Braun Blanquet (van der Maarel, 2007). Debido a que la vegetación presenta dos estratos marcadamente diferenciados, fueron analizados y descriptos en forma independiente. Dentro de cada unidad muestral, las mediciones fueron clasificadas en cobertura del estrato alto (altura superior a 15 cm), cobertura del estrato bajo (altura inferior a 15 cm) y la cobertura total (de los dos estratos). También se evaluó la cobertura por especie del estrato alto, pedregosidad, cobertura del suelo desnudo y composición florística dentro del rectángulo (Figura 3.1). Se relevaron 121 rectángulos durante la estación seca y 75 durante la estación húmeda.

En puntos aleatorios en cercanías de los rectángulos de cobertura, se localizaron las unidades muestrales de forma rectangular de 0,5m*1m donde se realizó la cosecha de la biomasa (Sala y Austin, 2000), en dos momentos del año en relación al crecimiento vegetal: el fin de estación húmeda (máximo crecimiento) y el fin de estación seca (mínimo crecimiento).

Antes de la cosecha, se midió en cada individuo del estrato alto la altura, diámetro mayor y perpendicular. Luego se cosechó la vegetación dentro del rectángulo en forma diferencial, el estrato bajo en su conjunto y por planta individual el estrato alto.

El material vegetal cortado se pesó y secó en estufa hasta obtener peso constante de materia seca.

Figura 3.1. Imagen de una de las unidades muestrales para las evaluaciones de cobertura.

- Productividad primaria neta aérea (PPNA)

Fue estimada para dos años (2013 y 2014) a través de la diferencia entre los momentos de máxima (estación húmeda) y mínima producción (estación seca) de biomasa (Sala & Austin, 2000).

- Análisis estadístico

Los datos de biomasa fueron expresados en unidades peso por unidad de superficie. Se realizó un ANOVA para comparar la variación de la biomasa, cobertura y productividad entre unidades de vegetación y por estrato. Los valores de materia seca (g/m^2) fueron transformados a logaritmo natural, los valores de cobertura (porcentajes expresados como proporción entre 0 y 1) fueron transformados a arcoseno para asegurar el cumplimiento de los supuestos de este análisis. Los valores de productividad primaria fueron transformados a raíz cúbica (análisis entre años y entre unidades de vegetación durante 2013) y raíz cuadrada (análisis entre unidades de vegetación durante 2014), mediante las transformaciones Box-Cox (Box y Cox, 1964; Crawley, 2007; Osborne, 2010). En los casos donde existieron diferencias significativas, se realizó un contraste de medias utilizando el test de comparaciones múltiples de Tukey (Crawley, 2007). Todos los análisis fueron realizados con el programa estadístico R (R Core Team, 2015).

- Caracterización de los suelos

En cada unidad de vegetación se realizó una caracterización edafológica del horizonte superficial mediante muestras compuestas de suelo georreferenciadas. Los análisis realizados fueron:

- Textura (Bouyoucos, 1927)
- pH mediante pH-metro electrónico (Jackson, 1982).
- Conductividad eléctrica mediante conductímetro electrónico (Jackson, 1982).
- Materia orgánica (Walkley, 1947).

- **Resultados**

- Relevamiento florístico

En el área de estudio fueron registradas 32 especies, 15 ejemplares que sumados, representaron menos de 2% de cobertura, no pudieron ser identificadas hasta especie, pero si en taxones superiores, debido a la ausencia de órganos reproductivos o al presentar estadios tempranos al momento de la recolección. En la Tabla 3.1 se detallan las especies relevadas, el estrato al que pertenecen y las unidades de vegetación donde fueron registradas.

Tabla 3.1. Especies registradas en el área de estudio. Estrato: alto/bajo, y unidades de vegetación donde fueron relevadas:

Familia	Especie	Nombre común	Estrato	Unidad de vegetación
Apiaceae	<i>Azorella</i> sp.	Yaretilla	Bajo	Peladar
Asteraceae	<i>Baccharis boliviensis</i> (Wed.) Cabrera	Chijua	Alto	Bb+Toli Bb en ped Bb+PA Nar
	<i>Baccharis incarum</i> Wedd.	Legía	Alto	Esporal Nar
	<i>Ocyroe armata</i> (Wedd.) Bonifacio syn <i>Nardophyllum armatum</i> (Wedd.) reiche.	Suri-yanta	Alto	
	<i>Parastrephia quadrangularis</i> (Meyen) Cabrera (syn <i>P. lepidophylla</i>)	Tola, tola vaca	Alto	Bb+PA Tola+Chill Tolar
	<i>Parastrephia lucida</i> (Meyen) Cabrera	Tola de agua	Alto	Tolar
	Asteraceae		Bajo	
Cactaceae	<i>Maihue niopsis</i> sp. Speg.	Copana	Bajo	Bb+PA
Cyperaceae	<i>Eleocharis</i> sp.		Bajo	Vega Bb+PA
Ephedraceae	<i>Ephedra breana</i> Phil.		Alto	
Fabaceae	<i>Adesmia</i> cf. <i>erinacea</i> Phill.		Bajo	Bb+PA Bb+Toli
	<i>Adesmia</i> sp.		Alto	Bb+PA Bb+Toli
	<i>Astralagus garbancillo</i> Cav.		Alto	Bb+Toli
Juncaceae	<i>Juncus</i> sp.	Junco	Alto	Veg rib
Plantaginaceae	Plantaginaceae		Bajo	Vega
Poaceae	<i>Aristida antoniana</i> Steud ex Döll	Peludilla brava	Bajo	Bb+PA
	<i>Aristida asplundii</i> Henrard asplundii			Peladar

			Tola+Chill Nar Vega Bb en ped Esporal Can
<i>Bouteloua simplex</i> Lag.	Peludilla, brama	Bajo	Bb+PA Peladar Nar Bb en ped Esporal
<i>Cenchrus chilensis</i> (E. Desv.) Morrone	Esporo	Alto	Esporal
<i>Cortaderia</i> sp.	Cortadera	Alto	Veg rib
<i>Deyeuxia</i> sp.	Pasto de vega	Alto	Vega Chillagual
<i>Distichlis humilis</i> Phil	Bramilla, pasto salado	Bajo	Tola+Chill Vega Tolar
<i>Festuca crysophylla</i> Phil.	Chillagua	Alto	Chillagual Tola+Chill Vega
<i>Festuca</i> cf. <i>orthophylla</i> Pilg.	Iro, paja brava	Alto	Tolar (tola+pasto gris)
<i>Jarava ichu</i> Ruiz y Pav. ichu Phill	Paja amarilla, ichu	Alto	Bb+PA
<i>Muhlenbergia fastigiata</i> (J. Presl) Henrard	Gramma	Bajo	Bb en ped Peladar Chillagual Bb+PA Tola+Chill Vega
<i>Nasella arcuata</i> (R.E. Fr.) Torres		Bajo	Chillagual
<i>Nasella novari</i> Torres			Can

				Peladar Bb+tol Tolar
Portulacaceae	<i>Cynodon</i> sp. Portulacaceae		Bajo Bajo	Can Bb+Toli
Rhamnaceae	<i>Colletia spinossisima</i> Gmel.	Palta llanta	Alto	Veg rib
Rosaceae	<i>Lachemilla pinnata</i> (Ruiz y Pav.) Rothm	Pasto de oveja	Bajo	Vega
	<i>Tetraglochin cristatum</i> (Britton) Rothm.	Cangia	Alto	Can Nar Bb+PA
Solanaceae	<i>Fabiana densa</i> J. Rémy	Tolilla	Alto	Bb+tol

- Caracterización y distribución espacial de las unidades de vegetación

El uso complementario de diferentes productos satelitales (Figura 3.2) junto a los puntos georreferenciados en el terreno, permitieron identificar y cartografiar 12 unidades de vegetación por su fisonomía y composición de especies dominantes en las 10569,26 ha relevadas (Figura 3.3, Tabla 3.2). En la mayoría de las unidades se diferenciaron dos estratos de vegetación, uno alto con especies arbustivas y/o especies cespitosas y otro bajo con gramíneas, graminoides y dicotiledóneas herbáceas. La cobertura de ambos estratos fue variable de acuerdo a la estación y las especies dominantes en cada uno.

Las estepas arbustivas de *Baccharis boliviensis* (“Chijua”, Bb) con *Fabiana densa* “tolilla” (Bb+Toli) y *Jarava ichu* “pasto amarillo”, se ubicaron en las serranías, en suelos con elevadas pendientes (superiores al 5%), someros y con porcentajes de pedregosidad superiores al 40%. Estas tres especies dominaron el estrato alto, siendo acompañadas en el estrato bajo por *Bouteolua simplex*, *Arístida asplundii* y *A. antoniana* y durante la estación húmeda además por diversas especies dicotiledóneas herbáceas.

En el pedemonte, se localizaron también estepas arbustivas dominadas mayoritariamente por *Baccharis boliviensis* (Bb en ped), pero con pendientes menores al 2%.

Las estepas de *Tetraglochin cristatum* (“cangia”, Can) se localizaron en zonas cercanas al río Santa Catalina, mostrando transiciones con las unidades circundantes. El arbusto que da nombre a esta unidad dominó el estrato alto casi en su totalidad. En las áreas transicionales se encontró con especies codominantes como *Festuca crysophylla*, *B. boliviensis* y *P. quadrangularis*, dependiendo de la unidad vecina. El estrato bajo se encontró dominado por *B. simplex* y *Arístida antoniana* y *A. asplundii*, con una presencia reducida de *Nasella arcuata* y *N. novari*, y diversas dicotiledóneas herbáceas sólo presentes durante la estación húmeda. Los suelos presentaron texturas francas y una pedregosidad variable en relación al micro-relieve, que no superó el 40%. Esta fue la unidad más extensa y con mayor cantidad de transiciones en el área.

Las estepas de *Parastrephia quadrangularis* (Tolar) se localizaron en áreas planas, sobre suelos de textura fina (Tabla 3.8) y con elevados contenidos de humedad durante la estación húmeda, presentando encharcamientos temporarios. Esta unidad no presentó pedregosidad superficial. El estrato alto se encontró dominado por la tola, y el estrato bajo por *Muhlenbergia fastigiata* con una presencia menor de *B. simplex* y *antoniana* y *A. asplundii*, y numerosas dicotiledóneas herbáceas durante la estación húmeda. Esta unidad presentó transiciones con los pastizales de *Festuca crysophylla* (Tola+Chill) cartografiables a la escala de este trabajo.

Los pastizales de *Festuca crysophylla* (Chillagual), también se localizaron en áreas planas, con elevada humedad edáfica durante la estación húmeda en suelos de textura fina. El estrato alto se encontró dominado por el pasto cespitoso *F. crysophylla*, y el estrato bajo por las gramíneas *M. fastigiata* en menor proporción por *B. simplex*, *A. antoniana* y *A. asplundii* y *N. arcuata*, y diversas dicotiledóneas herbáceas. No se registró pedregosidad superficial.

La unidad de vegetación de hierbas y gramíneas de suelos no inundados (denominados así por Ruthsatz y Movia, 1975), también llamados “peladares” por su fisonomía (denominación que será utilizada en esta tesis), se presenta en parches de diverso tamaño y en áreas con escasos niveles de pendiente. Esta unidad, se encuentra también asociada a otras unidades como los chillaguales, las tolares y las estepas de cangia. Los suelos son de textura fina, con escasos niveles de pedregosidad.

La unidad vegetación ribereña mostró una marcada heterogeneidad, con parches de estepas arbustivas de cangia, de *B. boliviensis* y estepas mixtas de *B. boliviensis* + *Jarava ichu*, y predominancia de suelo desnudo con elevados niveles de pedregosidad superficial y subsuperficial de diversos tamaños. Dentro de esta unidad, además se encontraron parches de pastizal de *Cenchrus chilensis* (Esporal, Esp) y de estepa arbustiva de *Ocyroe armata* (Nar), ubicados al lado de la vegetación ribereña y en algunos casos inmersos en la matriz del río. Estas unidades fueron relevadas en forma independiente, por su fisonomía y especies dominantes. Como los parches presentaron diversos tamaños pero nunca

superaron los 200 m² la superficie fue estimada para las tres unidades juntas. Los suelos presentaron texturas gruesas con porcentajes máximos de pedregosidad superficial de 30%. En el caso de los esporales, se localizaron principalmente en médanos con diverso grado de consolidación, dominando el estrato alto y estando el estrato bajo casi ausente durante la estación seca, dominado durante la estación húmeda por *A. antoniana*.

Las vegas se encontraron en valles entre las serranías, con presencia de agua permanentes, y en áreas cóncavas. Durante la estación húmeda esta unidad presentó agua superficial, con corrientes de variada intensidad en función de las precipitaciones recientes. El estrato alto casi estuvo ausente, sólo compuesto por chillaguas con coberturas máximas de 20%, el estrato bajo estuvo dominado principalmente por *M. fastigiata*, y presencia de *B. simplex*, *A. antoniana* y *A. asplundii*, *Distichlis humilis*, *Lachemilla pinnata* y diversas dicotiledóneas herbáceas.

Tabla 3.1. Superficie y acrónimos de las unidades de vegetación identificadas en el área. Se incluye también la superficie del cauce del río Santa Catalina.

Unidad de vegetación	Acrónimo	Superficie (ha)
Estepa arbustiva de <i>Baccharis boliviensis</i> en pedemonte	Bb en ped	231,06
Estepa mixta de <i>Baccharis boliviensis</i> y <i>Stipa ichu</i>	Bb+PA	862,93
Estepa arbustiva de <i>Baccharis boliviensis</i> y <i>Fabiana densa</i>	Bb+Toli	1850,44
Estepa arbustiva de <i>Tetraglochin cristatum</i>	Can	2349,01
Pastizal de <i>Festuca crysophylla</i>	Chillagual	763,67
Gramíneas bajas, ausencia de pastos cespitosos y arbustos	Peladar	996,68
Cauce de río Santa Catalina	Río	451,50
Estepa mixta de <i>Parastrephia quadrangularis</i> y <i>Festuca crysophylla</i>	Tola+Chill	131,55
Estepa arbustiva de <i>Parastrephia quadrangularis</i>	Tolar	885,88
Vegetación ribereña	Vegrib	1950,38
Vegas	Vega	96,55
Total		10569,27

Figura 3.2. Imágenes procesadas del área para identificar las unidades de vegetación. Imagen Landsat 8 – OLI del 02/01/2014.

Figura 3.3. Las unidades de vegetación en el área y su distribución espacial.

Tabla 3.2. Imágenes de las distintas unidades y subunidades de vegetación presentes en el área de estudio.

Estepas de *Baccharis boliviensis* y *Fabiana densa* (Bb+Toli).

Estepas de *Baccharis boliviensis* en piedemonte (Bb en ped)

Estepas arbustivas de
Tetraglochin cristatum
(Can)

Los pastizales de
Cenchrus chilensis o
“esporales” (Esp), se
encuentran como
parches en la unidad
vegetación ribereña
(Veg rib)

Estepa de *Ocyroe*
armata. Ubicados en
parches dentro de la
unidad vegetación
ribereña (Veg rib)

Estepas de
Parastrephia
quadrangularis
(Tolares)

Pastizales de *Festuca*
crysophylla,
(chillaguales)

Estepas mixtas de *B. boliviensis* y *Jarava ichu* (Bb+PA)

Estepas mixtas de *P. quadrangularis* y *Festuca crysophylla* (Tola+Chill)

Estrato bajo

Biomasa

La biomasa del estrato bajo de todas las unidades de vegetación en la estación seca fue significativamente menor que en la estación húmeda ($F_{(1,157)}=65.03$, $p<0.0001$) (Figura 3.4). Dentro de cada unidad de vegetación, se reflejaron esas diferencias entre estaciones (seca y húmeda), para todas las unidades de vegetación excepto Bb en ped y Can $p>0.05$ (Tabla 3.3, Figura 3.5).

Figura 3.4. Gráfico box-plot para la biomasa (peso seco, kg/ha) por estación (ES: estación seca; EH: estación húmeda). Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Tabla 3.3. Valores de p y F de los ANOVA para las comparación de la biomasa del estrato bajo (transformada a logaritmo natural) entre estaciones seca y húmeda.

Unidad de vegetación	P	F(g.l., n)
Bb+PA	$p < 0,01$,	$F_{(1,14)} = 7,292$
Bb+Toli	$p < 0,001$	$F_{(1,13)} = 9,277$
Chillagual	$p < 0,01$	$F_{(1,12)} = 8,585$
Esp	$p < 0,0001$	$F_{(1,5)} = 60,73$
Nar	$p < 0,001$	$F_{(1,9)} = 11,69$
Peladar	$p < 0,05$	$F_{(1,19)} = 6,228$
Tola+Chil	$p < 0,05$	$F_{(1,9)} = 8,366$
Tolar	$p < 0,0001$	$F_{(1,9)} = 24,84$

Vegas	$p < 0,000,1$	$F_{(1,12)} = 58,39$
Bb en ped	$p > 0,05$	$F_{(1,9)} = 0,906$
Can	$p > 0,05$	$F_{(1,20)} = 3,785$

La unidad chillagual fue la que presentó los mayores valores de biomasa (promedio 608,40 kg/ha) del estrato bajo durante la estación seca ($F_{(10,73)} = 10,33$, $p < 0,0001$) (Figura 3.4). Las unidades que presentaron los valores más bajos fueron las ubicadas en las serranías (Bb+toli y Bb+PA), en las zonas cercanas al cauce del río Santa Catalina (Nar y Esp) y las vegas (Vega).

Figura 3.5. Box-plot para la biomasa del estrato bajo (peso seco, kg/ha) por unidad de vegetación durante la estación seca. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre unidades de vegetación.

Durante la estación húmeda, hubo diferencias entre años, por lo que fueron analizados en forma separada. Durante la estación húmeda de 2013 (abril) el chillagual fue la unidad que presentó los valores más altos ($p < 0,05$, $F_{(10,30)} = 2,182$). Durante 2014 (febrero), las vegas presentaron los mayores valores ($p < 0,01$, $F_{(10,17)} = 3,987$) (Figura 3.6).

Figura 3.6. Box-plot para la biomasa del estrato bajo (peso seco, kg/ha) por unidad de vegetación por año, en la estación húmeda. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre unidades de vegetación, dentro de la misma estación.

Productividad primaria del estrato bajo

La productividad entre los dos años relevados mostró diferencias, siendo el año 2014 superior al 2013 ($p < 0,01$, $F_{(1,47)} = 12,18$) (Figura 3.7). Las vegas fueron las unidades más productivas durante los dos años, durante 2013, se diferenciaron de las estepas de *Baccharis* en pedemonte (Bb en ped), mientras que el resto mostró valores intermedios ($p < 0,05$, $F_{(9,18)} = 2,405$). En 2014, las diferencias entre vegas y el resto fueron mayores, siendo significativamente superiores a Bb en ped, las estepas de cangia (Can) y la vegetación ribereña (Veg rib) ($p < 0,05$, $F_{(9,11)} = 3,978$), Tabla 3.4 y Figura 3.8.

Figura 3.7. Box-plot de la Productividad primaria aérea por año. A13-S13: Abril2013-Septiembre2013. F14-S14: Febrero2014-Septiembre2014. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Figura 3.8. Productividad primaria aérea por unidad de vegetación durante los años 2013 y 2014. Letras distintas indican diferencias significativas entre unidades de vegetación.

Tabla 3.4. Valores medios de la productividad primaria aérea medida en 2013 y 2014 (kg/ha).

UV	PPNA 2013	PPNA 2014
Bb+PA	326.30	494.66
Bb+Toli	53.70	619.57
Bb en ped	0	479.36
Can	247.68	303.11
Chillagual	544.60	619.26
Peladar	230.00	930.43
Tolar+Chill	392.90	779.51
Tolar	232.40	520.66
Vega	1106.05	3025.31
Veg rib	68.70	241.46

Cobertura

La cobertura total y la cobertura del estrato bajo mostraron elevados niveles de correlación (Pearson: 0.88, $p < 0.0001$, t : 23.09). La cobertura del estrato bajo fue mayor en la estación húmeda (promedio ES: 38,1%, EH: 53,9%, $F_{(1,154)}=13,3$, $p < 0,001$) (Figura 3.9).

Figura 3.9. Cobertura del estrato bajo expresada como porcentaje (%) por estación (ES: estación seca; EH: estación húmeda). Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Durante la estación seca (Figura 3.10) el chillagual fue la unidad que presentó los mayores valores de cobertura del estrato bajo (promedio 68,75%) ($F_{(10,70)}=9,91$, $p < 0,0001$). Las unidades que presentaron menores porcentajes de cobertura fueron Bb+Toli (promedio 8,57%) y Nar (promedio 5,83%). Durante la estación húmeda (Figura 3.10), las vegas (promedio 83,57%) y peladar (promedio 78,5%) fueron las unidades que presentaron los mayores valores de cobertura del estrato bajo ($F_{(10,64)}=18,4$, $p < 0,0001$). Los valores más bajos fueron de Bb+Toli, Bb+PA y Nar.

Figura 3.10. Cobertura del estrato bajo (%) por unidad de vegetación y por estación. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre unidades de vegetación, dentro de la misma estación.

- Estrato alto: arbustos y pastos cespitosos

La biomasa aérea de estrato alto fue mayor en la estación húmeda (promedio 5864,74 kg/ha) en relación con la seca (promedio 4893,22 kg/ha), aunque estas diferencias no fueron significativas ($p > 0,05$, $F_{(1,125)} = 0,366$).

El estrato alto de la estepa de *Ocyro earmata* (Nar, promedio 27898,98 kg/ha) presentó los mayores valores de biomasa ($p < 0,01$, $F_{(9,117)} = 3,31$). La estepa de *B. boliviensis* en pedemonte (Bb en ped) presentó los siguientes valores en términos de volumen de materia seca (promedio 6105,71 kg/ha), junto con Tola+Chill (4780,10 kg/ha) y Tolar (4904,87 kg/ha), Figura 3.11.

Figura 3.11. Biomasa aérea del estrato alto (kg/ha) por unidades de vegetación. Valores medios en recuadro. Letras distintas indican diferencias significativas entre unidades de vegetación.

La cobertura del estrato alto, en forma similar a su biomasa, no varió significativamente entre estaciones ($p > 0,05$, $F_{(1,122)} = 0,72$). Entre unidades de vegetación, sí se manifestaron diferencias, siendo Tola+Chill (promedio 39%) y Tolar (promedio 36,5%) las que presentaron los mayores porcentajes ($p < 0,0001$, $F_{(9,114)} = 5,14$), Figura 3.12.

Figura 3.12. Cobertura del estrato alto (%) por unidades de vegetación. Valores medios en recuadros. Letras distintas indican diferencias significativas entre unidades de vegetación.

Dentro del estrato alto, se relevaron 9 especies que fueron encontradas en más de una unidad muestral, fueron cosechados 246 individuos en total, Ades (*Adesmia* sp.): 8; Bb (*B. boliviensis*): 60; Can (*T. cristatum*): 36; Chill (*F. crysophylla*): 39; Esporo (*C. chilensis*): 9; Nardoph (*O. armata*): 10; PA (*J. ichu*): 29; Tola (*P. quadrangularis*): 36; Toli (*F. densa*): 19. La especie que presentó los mayores valores de biomasa por individuo fue *Ocyroe armata* (Nardoph, promedio: 7868,45 kg/ha, $p < 0,0001$, $F_{(8,236)} = 21,62$), mostrando promedios de biomasa varias veces superiores a la especie siguiente (Tola, *P. quadrangularis*) (Figura 3.13). Las especies relevadas se ilustran en la Tabla 3.5.

Figura 3.13. Biomasa aérea por individuo (g) y por especie. Ades: *Adesmia* sp.; Bb: *B. boliviensis*; Can: *T. cristatum*; Chill: *F. crysophylla*; Esporo: *C. chilensis*; Nardoph: *O. armata*; PA: *J. ichu*; Tola: *P. quadrangularis*; Toli: *F. densa*. Valores medios en recuadro. Letras distintas indican diferencias significativas entre especies.

Los valores medios obtenidos para las variables cobertura y biomasa de cada estrato y por estación para cada unidad de vegetación se muestran en la Tabla 3.6.

Tabla 3.5. Imágenes de las especies relevadas del estrato alto.

<p><i>Festuca crysophylla</i> “chillagua”</p>	A photograph of a clump of Festuca crysophylla, commonly known as chillagua. The plant is a tall, slender grass with multiple upright culms, growing in a dry, open field. The leaves are narrow and green, and the culms are densely packed at the base.
<p><i>Parastrephia quadrangularis</i> “tola”</p>	A photograph of a Parastrephia quadrangularis, commonly known as tola. The plant is a dense, bushy shrub with a rounded, spreading growth habit. The leaves are small, dark green, and appear to be arranged in opposite pairs along the stems. The plant is growing in a dry, open field.

Ocyroe armata

Baccharis boliviensis
"chijua"

Fabiana densa
"tolilla"

Tetraglochin
cristatum
“cangia”

Jarava ichu
“icho”

Cenchrus chilensis
“esporo”

Adesmia sp.
“añagua”

Tabla 3.6. Valores medios de la biomasa del estrato bajo (separados los dos años) y del estrato alto en kg/ha y cobertura total media, del estrato bajo y del estrato alto en porcentajes. ES: estación seca; EH: estación húmeda.

	Estrato bajo Biom. ES- 2013	Estrato bajo Biom. ES- 2014	Estrato alto Biom. media ES	Estrato bajo Biom. EH A13	Estrato bajo Biom. EH F14	Estrato alto Biom. media EH	Cob. total media ES	Cob. total media EH	Estrato bajo Cob. media ES	Estrato alto Cob. media ES	Estrato bajo Cob. media EH	Estrato alto Cob. media EH
Bb+PA	182,00	116,89	3901,07	283,55	520,50	976,58	40,56	45,83	17,78	25,56	22,50	31,67
Bb+Toli	320,00	55,75	2589,42	284,75	782,90	448,30	21,43	31,25	8,57	15,71	17,50	20,00
Bb en ped	410,00	200,94	5996,05	172,47	680,30	6251,93	49,00	53,33	32,00	20,00	37,50	22,50
Can	283,33	307,11	4184,86	525,71	465,93	3630,42	55,83	72,73	41,67	19,58	56,36	24,09
Chillagual	46,50	751,79	6565,07	1009,60	1294,30	1164,44	80,63	97,86	68,75	18,75	79,29	26,43
Esporal	30,00	0,00	528,80	478,40	566,90	527,35	45,00	65,00	12,50	32,50	33,75	35,00
Nar	263,33	24,47	15723,93	268,40	695,17	52248,93	40,00	61,00	5,83	36,67	22,00	50,00
Peladar	331,67	269,31	0,00	457,80	1337,03	0,00	47,08	78,50	41,67	0,00	78,50	0,00
Tolar+Chill	193,33	351,24	3454,43	557,90	969,85	7873,33	82,14	92,50	52,50	31,43	67,50	35,00
Tolar	126,67	224,14	4595,40	474,20	528,80	5369,09	79,17	93,33	52,50	35,83	71,67	38,33
Vega	22,50	43,94	1211,68	1128,55	3075,55	2005,00	66,25	89,29	58,75	8,13	83,57	10,00

Suelos

Las propiedades físicas y químicas de los suelos reflejaron la heterogeneidad registrada para la vegetación (Tabla 3.7). Los suelos de esta zona, no mostraron indicios de salinidad (todos los valores fueron inferiores a 2 dS/m (1 dS/m = 1000 μ S/cm), y presentaron reacción moderadamente/ligeramente ácida (pH 5,51-6,26).

Las unidades que mostraron los mayores valores de materia orgánica fueron los chillaguales y Tola+Chill, donde también se encontraron texturas finas. Las vegas presentaron niveles altos de materia orgánica, aunque menores a los anteriores, mientras que los suelos donde se localizaron fueron arenosos. Las estepas de *B. boliviensis* ubicadas en las serranías (Bb+Toli y Bb+PA) presentaron suelos someros y con elevada cantidad de piedras en el perfil, las estepas de *B. boliviensis* en pedemonte (Bb en ped) mostraron menor cantidad de piedras y pendientes menores al 1%.

Los peladares se localizaron en suelos con texturas finas, niveles de compactación superficial muy elevados y valores de materia orgánica relativamente bajos, en comparación a las unidades circundantes. Las estepas de cangia mostraron valores relativamente elevados de materia orgánica, pero menores a los de las unidades cercanas (tolares, chillaguales y estepas de Tola+Chill). Los menores valores de materia orgánica fueron de las subunidades Esp y Nar (Vegetación ribereña), con texturas arenosas (Tabla 3.8).

Tabla 3.7.Caracterización edafológica de las unidades de vegetación (UV), pH, CE (conductividad eléctrica), materia orgánica (MO).

	UV	pH	CE (µS/cm)	MO
1	Bb_en_ped	6,02	187,4	s/d
2	Bb+PA	6,05	525,523333	3,06
3	Bb+Toli	6,22	86,42	s/d
4	Can	5,71	467,05	3,83
5	Chillagual	5,37	1040,75	4,02
6	Esp	6,36	377,533333	0,96
7	Nar	6,31	1158	1,15
8	Peladar	6,26	860,68	1,75
9	Tola+Chill	5,65	1113,46667	4,69
10	Tolar	5,68	551,6	s/d
11	Vega	5,70	908,8	2,87

Rangos de pH: 4-5: fuertemente ácidos, 5-6: moderadamente ácidos, 6-7: ligeramente ácidos, 7-8: ligeramente alcalinos, 8-9: moderadamente alcalinos. Materia orgánica: 1-1,9%: contenido muy bajo, 2-2,5: contenido normal suelos minerales, mayor que 2,5%: contenido alto(Marín García et al., 2002), rangos de CE (1mmho/cm.25°C=1000 µS/cm): 0-2: efectos despreciables sobre las plantas, 2-4: sólo se ven afectadas especies comerciales sensibles, 4-8: la mayoría de las especies comerciales se ve afectada, 8-16: sólo especies tolerantes crecen satisfactoriamente, mayor a 16: sólo especies muy tolerantes pueden crecer satisfactoriamente (US Salinity Laboratory, 1954).

Tabla 3.8. Valores de textura de algunas de las unidades de vegetación relevadas.

Muestra	Fragmentos Gruesos %	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
Peladar	-	64,7	26,2	9,1	FA
Tolar	-	15,3	46,0	38,7	FaL/FL
Bb+PA	14,47	57,9	30,1	12,0	FA Gravilloso
Nar	8,35	75,8	17,3	6,9	FA
Vega	5,27	74,0	14,7	11,3	FA
Chillagual	-	21,8	39,2	39,0	Fa/a
Tola+Chill	-	21,5	33,4	45,1	a
Can	5,69	52,9	37,2	9,9	FA/F

Referencias: Fragmentos Gruesos: menores a 2000 μ . Arena: 2000 a 50 μ . Limo: 50 a 2 μ . Arcilla: < a 2 μ . Clase Textural: FA: Franco Arenoso, FaL/FL: Franco arcillo limoso a Franco limoso, Fa: Franco arcilloso, Fa/a: Franco arcilloso a arcilloso, a: Arcilloso, FA/F: Franco arenoso a Franco.

- **Discusión**

El área de estudio constituye una muestra cardinal representativa del ambiente regional de la Puna Norte Argentina, particularmente de su vegetación. Esta región es considerada la más húmeda de la Puna en el país (Cabrera, 1971), con un régimen de lluvias estivales medio de 375 mm (Bianchi et al., 2005).

Se encontró que la composición específica de la vegetación es principalmente de nativas. Como se señala en Muñoz y Bonacic (2006), las zonas altas y poco pobladas son menos susceptibles a las invasiones de especies exóticas (Sakai et al., 2001; Pauchard & Alaback, 2004).

El muestreo de campo integrado con el análisis espacial de las imágenes satelitales permitió identificar 12 unidades de vegetación. Algunas de ellas registraron una variabilidad espacial superior al resto, resultando en combinaciones de parches no cartografiados en la escala de análisis de esta tesis. Los parches de pastizal de *Cenchrus chilensis* y la estepa arbustiva de *Ocyroe armata* pueden ser cartografiados a escalas de mayor detalle, probablemente superiores a 1:2000. Este

patrón de distribución espacial probablemente esté asociado a una marcada variabilidad en el tipo de suelo presente, afectando la disponibilidad de humedad edáfica y de nutrientes para las plantas (Cabrera, 1948, 1957, 1968; Ruthsatz & Movia, 1975; Castañeda & González, 1991).

Las diversas técnicas de procesamiento de índices de vegetación (como SAVI, TSAVI) particularmente el NDVI, permitieron determinar áreas de mayor y menor cobertura, pero no fueron eficientes al identificar diferentes unidades de vegetación con niveles similares de cobertura aunque con especies muy diferentes. Al igual que en otras zonas áridas (Baret et al., 1989; Bannari et al., 1995; Marsett et al., 2006; Goirán et al., 2012), en el área de estudio, debido a los niveles relativamente bajos de cobertura, puede ocurrir que la influencia de la respuesta espectral del suelo sea mayor que la respuesta espectral de la vegetación y esto genera ciertas dificultades de interpretación. Es probable que muchas comunidades vegetales presenten similares respuestas espectrales, que requiere estudios de tipo radiométrico para identificar las firmas de cada una y así poder determinar combinaciones de bandas apropiadas para la vegetación local.

La distribución espacial de las unidades de vegetación expresó la variabilidad debida a aspectos geomorfológicos, segregándose aquellas unidades presentes en las laderas, de las localizadas en las planicies, respondiendo al gradiente altitudinal presente en el área (Cendrero et al., 1993). En las Sierras Occidentales se localizaron las estepas arbustivas de *B. boliviensis* y *F. densa* (Bb+Toli), y las estepas de *B. boliviensis* y *J. ichu* (Bb+PA), vegetación ribereña y vegas en los valles. En el Piedemonte, se encontraron la mayoría de las unidades identificadas: *B. boliviensis* en pedemonte (Bb en ped), (Bb+PA), peladar, estepas arbustivas de *T. cristatum* (Can), vegetación ribereña y vegas. La unidad ambiental Laguna y Paleolaguna, se encontró dominada por vegetación ribereña acompañando el cauce del río Santa Catalina, el chillagual, el tolar y estepas de tola y chillagua (Tola+Chill), además de estepas cangia y peladar.

En este estudio, la estepa arbustiva de *B. boliviensis* y *Fabiana densa* (Bb+Toli) se localizó en zonas de afloramientos rocosos y laderas de las serranías, y tanto su

localización como su cobertura coincide con otros trabajos en la zona (Ruthsatz y Movia, Bonaventura et al. 1995). Un estudio realizado en el área de influencia de esta tesis (Arzamendia, 2008), en la localidad de Cieneguillas agrupa las unidades que integra *B. boliviensis* como “Estepa arbustiva de *Baccharis boliviensis* acompañada de gramíneas y/o arbustos” y refiere porcentajes de cobertura inferiores a los registrados en este trabajo. La estepa dominada sólo por *B. boliviensis* (Bb en ped) presentó valores de cobertura total y del estrato bajo superiores a las publicadas por Ruthsatz & Movia (1975).

La estepa arbustiva de cangia presentó valores de cobertura superiores a los mencionados por Ruthsatz & Movia (1975). Se ha estudiado que esta especie es indicadora de degradación, usualmente asociada al pastoreo (Genin & Alzérreca, 2006; Catorci et al., 2013), en este estudio se encontró dominando una gran superficie del área del pedemonte y fue registrada en varias unidades aledañas.

La unidad peladar fue descripta por Ruthsatz & Movia (1975) como “Césped de hierbas y gramíneas de suelos no inundados” con una cobertura media inferior a la registrada en esta tesis, Arzamendia (2008) encontró similares valores de cobertura. Los bajos valores de materia orgánica probablemente influyen en la escasa estructuración del suelo y por ello se manifiestan compactaciones y diversos síntomas de degradación (ver capítulo VI).

El chillagual mostró valores de cobertura superiores a los encontrados por Arzamendia (2008) y Bonaventura et al. (1995), tanto en la unidad dominada exclusivamente por esta especie así como su variante con arbustos de tola.

Los tolares han sido descriptos por varios autores, muchas veces generalizando esta denominación a varias comunidades dominadas por arbustos (Ruthsatz & Movia, 1975; Genin & Alzérreca, 2006). El tolar fue la unidad dominada por arbustos con los mayores niveles de cobertura y biomasa. Los valores de cobertura son superiores a los mencionados por Bonaventura et al. (1995) y Arzamendia (2008).

La vegetación ribereña estuvo compuesta por diversos parches de unidades relevadas individualmente y también por otras sólo presentes en ella: estepa

arbustiva de *Ocyroe armata*, Nar y pastizal de *Cenchrus chilensis*, Esporal, Esp. Esta unidad heterogénea en su composición y distribución espacial se asemeja a la descrita como “Estepa arbustiva de los arenales de la cuenca de Guayatayoc, variante norte con *Baccharis boliviensis*” (Ruthsatz & Movia, 1975). Las unidades Nar y Esp presentaron valores de cobertura superiores a los encontrados por Arzamendia (2008) y Ruthsatz & Movia (1975).

Las vegas se localizaron en zonas de valles y planicies, registrándose una escasa presencia de especies del estrato alto (sólo pastos de chillagua con cobertura máxima 20%), las especies registradas en esta unidad resultaron similares a las publicadas por Ruthsatz & Movia (1975) para la variante puneña de las vegas.

Los resultados de biomasa se condicen con los publicados en unidades similares. En Bolivia, se mencionan valores de biomasa expresada en materia seca de 200-700 kg/ha para los tolares de *P. quadrangularis* (Genin & Alzérreca, 2006), en esta tesis la biomasa del estrato bajo los tolares fue de 470-520 kg/ha, dentro del rango publicado. Los mismos autores indican para “Otros tolares” (comunidades dominadas por especies arbustivas como *Baccharis* y *Fabiana*) valores de 150-600 kg/ha, mientras que las unidades Bb en ped, Bb+Toli y Bb+PA presentan valores similares, entre 170 y 780 kg/ha. También mencionan valores de biomasa de 550-2000 kg/ha para pastizales de *Festuca dolichophylla*, superiores a los registrados para *F. crysophylla* (1000-1300 kg/ha), aunque son especies diferentes. Las diferencias encontradas con los valores publicados, si bien exiguas, probablemente responden a variaciones locales del área de estudio.

La cobertura total mostró una elevada correlación con la cobertura del estrato bajo, siendo esta variable útil como indicadora de síntomas de degradación (Navone et al., 2006). Respondió a la variación estacional de la disponibilidad de agua para las plantas, siendo significativamente superior a la registrada durante la estación seca. Las unidades que presentaron los mayores niveles de cobertura fueron los chillaguales, las vegas, los tolares, las estepas mixtas de Tola+Chill y los peladares.

La cobertura del estrato bajo es una variable relevante para el estudio del pastoreo (ver Capítulo VI de esta tesis doctoral) en relación a su importancia en el

aprovechamiento de la vegetación por parte de los herbívoros de la región, debido a que consumen principalmente las especies de este estrato (Genin et al., 1995b; Arzamendia & Vilá, 2015). Un trabajo realizado a mayor escala (regional) basado en técnicas de teledetección, (Baldassini et al., 2012) encuentra un rango de variación de la productividad primaria con valores que incluyen los encontrados en esta tesis. Por lo tanto, la escala más detallada de esta, con datos inéditos en la zona, a escala local y con corroboración a campo, concuerda con el estudio señalado.

En las zonas áridas y semiáridas las precipitaciones definen la disponibilidad de agua para las plantas (Noy-Meir, 1973). Los años en los cuales se relevó productividad de la vegetación tuvieron precipitaciones cercanas a la media (temporada húmeda 2012-2013: 343,3 mm) o superiores (temporada húmeda 2013-2014: 473,9 mm) (ver figura 2.2, Capítulo II). Las diferencias entre años de los valores de productividad probablemente están asociadas entonces, a las diferencias en las precipitaciones, así como a una menor cantidad de biomasa durante el mes de abril, en el que si bien la estación de lluvias aún persiste y aunque haya sido un año con lluvias normales el nivel de biomasa probablemente haya sido menor que en el mes de febrero e inicios de marzo. Aun teniendo en cuenta las dificultades de realizar el trabajo de campo y de acceder a algunas unidades de vegetación debido a los anegamientos, los valores serían más precisos durante esos meses, y por lo tanto el esfuerzo de muestreo debería centrarse en realizar el muestreo en esa época para obtener valores más representativos.

De acuerdo a los dos años analizados, la biomasa producida durante la estación húmeda define la productividad primaria anual. Las unidades de vegetación tolar, chillagual y Tola+Chill presentan valores de productividad importantes para los herbívoros, considerando la superficie que abarcan en el área (16,85% del área de estudio). La vega, si bien con una superficie reducida (0,91%) presentó valores de productividad muy elevados, reflejando su potencial productivo y la importancia de los humedales para las zonas puneñas (Ruthsatz & Movia, 1975, Caziani & Derlindati 1999). Estos ambientes de vegas, en general cubren áreas relativamente

pequeñas, a veces muy localizadas, bajo condiciones climáticas muy variables en la puna. Representan típicamente una formación vegetal azonal, donde el factor determinante de su formación es el agua superficial y subterránea, que da vida a estos ecosistemas (García & Beck, 2006). Por tener agua en forma permanente y una alta productividad respecto a los demás ambientes puneños, estos ecosistemas, son claves para el mantenimiento de la biodiversidad y el sistema pastoril de la zona. La diversidad que presentan estas unidades en su localización en el relieve y composición de especies es variada, por lo que resulta interesante profundizar en el análisis de otras vegas en el área de influencia de esta tesis (Ruthsatz & Movia, 1975; Squeo et al., 2006). La identificación, diagnóstico y monitoreo de estos ecosistemas, son herramientas de gestión fundamentales, para su protección y uso sustentable. Además, tanto las vegas como los chillaguales, peladares y tolares presentaron especies de elevado valor forrajero, como *Distichlis humilis*, *Muhlenbergia fastigiata* y, en las vegas, *Lachemilla pinnata*, que definen la calidad forrajera de estas unidades de vegetación (Genin & Alzérreca, 2006)

El análisis de la cobertura mostró que la tola es la especie que contribuye en mayor medida a la cobertura del estrato alto, formando parte de las unidades que presentaron los porcentajes más elevados (Tola+Chill y Tolar). Ninguna unidad de vegetación superó el 60% de cobertura del estrato alto, siendo los mayores valores promedio inferiores a 40%.

Para las especies del estrato alto, probablemente otros métodos como *Adelaide* (Andrew et al., 1976) permitirían relevar con mayor precisión el crecimiento de hojas y brotes entre estaciones, y por lo tanto su productividad. La comparación entre unidades de vegetación indicó que los valores de biomasa de la estepa arbustiva de *Ocyroe armata* fueron superiores al resto, cuadruplicando los valores medios de la unidad que la secundó en contenido de materia seca (Bb en pedemonte). Los elevados niveles de biomasa en la estepa de *O. armata* se relacionan con una alta proporción de partes leñosas, que aportan importantes cantidades de materia seca, lo que se reflejó también en el análisis entre especies. Si bien se encontraron referencias locales sobre la biomasa de las especies de pastos y arbustos, en la

región semiárida de la Puna boliviana, se mencionan amplios rangos de valores de biomasa de algunas de ellas (Genin & Alzérreca, 2006) que concuerdan con los obtenidos en esta tesis.

Las propiedades físicas y químicas de los suelos determinaron, en parte, las características de la vegetación. Los suelos mejor abastecidos de materia orgánica total se encontraron asociados a las unidades más productivas. Los resultados de pH, conductividad eléctrica y contenido de materia orgánica total son concordantes con los publicados por Bonaventura et al., (1995). Los valores de pH, son inferiores a los obtenidos en Bolivia, lo cual indicaría que al área de estudio aún no se evidencian síntomas de alcalinidad (Alzérreca et al., 2003). Como las lluvias en el área superan los 300 mm se esperaba encontrar que las unidades que presentaron los mayores niveles productividad primaria, se distribuyeran sobre suelos de texturas finas, y es lo que se ha comprobado en este análisis. (Noy-Meir, 1973). La excepción la conformaron las vegas, las cuales se localizaron en suelos arenosos, en estas unidades, los elevados valores de productividad se asocian a un nivel de humedad edáfica alto durante todo el año, producto de los regímenes hídricos subterráneos (Ruthsatz & Movia, 1975). Los peladares mostraron valores relativamente bajos de materia orgánica, probablemente asociado a síntomas de degradación por sobrepastoreo, que serán analizados en el Capítulo VI.

Capítulo IV

Aportes metodológicos a los estudios de la vegetación andina: los modelos predictivos de la biomasa

- **Introducción**

En el Capítulo III de esta tesis se caracterizó a la biomasa aérea como una variable fundamental para describir y profundizar sobre algunos aspectos del funcionamiento del ecosistema. En la Puna, las especies arbustivas y cespitosas son importantes para mantener la cobertura vegetal y evitar el desencadenamiento de procesos erosivos, favorecer el crecimiento de la vegetación del estrato bajo y como fuente de forraje suplementaria para los herbívoros tanto domésticos como silvestres (Alzérreca et al., 2003; Genin & Alzérreca, 2006). Los pobladores locales debido a la escasez de vegetación arbórea, utilizan estas especies como fuente de combustible y material para construcciones rurales como corrales, además algunas de estas, son de uso en la medicina tradicional tanto humana como veterinaria (Genin et al., 1995b; Genin & Alzérreca, 2006).

Los estudios basados en la disponibilidad de biomasa son un insumo relevante para poder analizar el estado actual y las tendencias de la vegetación. Los métodos de cosecha directa son los más utilizados en estudios de biomasa vegetal debido a su precisión, pero son costosos en relación al tiempo y al esfuerzo de muestreo necesarios para implementarlos (Sala & Austin, 2000; Pucheta et al., 2004). Las técnicas no destructivas, también llamadas de doble muestreo, permiten estimar la biomasa de diversas especies y formas de vida a través de ecuaciones alométricas que incorporan variables métricas obtenidas de las plantas en el campo (Sala & Austin, 2000; t'Mannetje, 2000).

La biomasa aérea de diversas especies arbustivas y arbóreas ha sido modelada a través de los métodos de doble muestreo en algunos ecosistemas áridos y semiáridos de Argentina (Flombaum & Sala, 2007; Pucheta et al., 2004; Guevara et

al., 2002; Hierro et al., 2000; Fernández et al., 1991), pero no se ha encontrado información publicada sobre las comunidades vegetales puneñas.

El objetivo de este capítulo es desarrollar modelos predictivos de la biomasa aérea para algunas de las especies arbustivas y cespitosas y por grupo funcional más representativas de la Puna jujeña, que puedan ser adecuados como indicadores del estado de la vegetación.

- **Métodos**

- Cosecha y acondicionamiento de las plantas

Se muestrearon las especies arbustivas dominantes en las diversas unidades de vegetación: *Baccharis boliviensis* “chijua”, *Fabiana densa* “tolilla”, *Parastrephia quadrangularis* “tola”, *Tetraglochin cristatum* “cangia” y *Ocyroe armata*. Las especies de pastos (cespitosas) muestreadas fueron *Jarava ichu* “pasto amarillo”, *Festuca crysophylla* “chillagua” y *Cenchrus chilensis* “esporo”.

Se abarcaron todas las unidades de vegetación en el área de estudio, excepto en los peladares donde las especies analizadas estaban ausentes, se localizaron al azar 136 rectángulos de 0,5x1m. Los muestreos fueron realizados durante la estación seca y húmeda. En cada rectángulo todos los individuos fueron medidos con cinta métrica e identificados por especie y grupo funcional (pasto o arbusto). Las medidas registradas en el campo fueron altura total (A, cm), diámetro máximo (D1, cm) y diámetro perpendicular (D2, cm) de copa (Figura 4.1).

Cada individuo fue registrado y cosechado individualmente, luego las muestras fueron secadas a 60°C en estufas hasta alcanzar peso constante, y pesadas para obtener el peso seco (g). La cobertura de los arbustos y pastos fue estimada en forma visual en los mismos rectángulos (Matteucci & Colma, 1982) clasificada en 10 categorías de 10%, entre 0 y 100.

Figura 4.1. Medidas registradas en las plantas cosechadas. A: altura, D1: diámetro máximo y D2: diámetro perpendicular.

- Análisis de los datos

Las regresiones lineales por especie fueron desarrolladas incorporando las medidas de las plantas obtenidas en el campo. La variable de respuesta fue el peso seco aéreo individual (peso seco, PS), y las variables explicativas fueron altura (A),

diámetro máximo (D1) y diámetro perpendicular (D2), también se evaluó en el análisis la cobertura del estrato alto (CEA). Las variables A, D1 y D2 fueron transformadas a logaritmo natural y CEA a arcoseno para asegurar el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Los análisis fueron realizados con el software R (R Core Team, 2015).

Las ecuaciones alométricas para cada especie y forma de vida fueron seleccionadas de acuerdo a los coeficientes de determinación más elevados (R^2 ajustado), la significancia estadística (valor p) y los residuos estandarizados (RE) (Quinn & Keough, 2002). Cuando varios modelos presentaron un ajuste similar, se seleccionaron los que incluyeron el menor número de variables explicativas.

Los datos expresados por unidad de superficie (biomasa, g/m^2) fueron obtenidos considerando la suma de los pesos secos de todos los individuos registrados en cada rectángulo. Los modelos por grupo funcional (pastos y arbustos) fueron desarrollados para simplificar las estimaciones para escalas de análisis más amplias. La validación de los datos fue realizada a través de una regresión lineal entre los datos estimados con las ecuaciones y los obtenidos por el método de cosecha, y la evaluación de los intervalos de confianza de los parámetros de las ecuaciones a través de bootstrap (10000 iteraciones) (Crawley, 2007).

Los datos obtenidos fueron además corridos en un modelo desarrollado por Flombaum & Sala (2007), para las estepas patagónicas, que permite estimar la biomasa a través de la cobertura de varias especies y también por grupo funcional (arbustos: biomasa total = cobertura (%) * 1225,4; pastos: biomasa total = cobertura (%) * 596,3). Ese modelo patagónico fue sugerido por dichos autores como extrapolable para otros ambientes áridos como la Puna.

• Resultados

Fueron relevadas en total 6 especies arbustivas y 3 especies cespitosas durante las dos estaciones. Las especies arbustivas fueron: *B. boliviensis*, *F. densa*, *P. quadrangularis*, *T. cristatum*, *O. armata* y *Adesmia sp.*

Las especies cespitosas fueron *J. ichu*, *F. crysophylla* y *C. chilensis*. El peso seco de todas las especies fue modelado usando al menos una de las variables registradas en el campo y todas las ecuaciones desarrolladas fueron significativas (Tabla 4.1 y Figura 4.2). En plantas con forma hemiesférica, el mejor modelo incluyó dos variables (A y D1) (*B. boliviensis*, *T. cristatum* y *J. ichu*). En las especies con forma irregular, pero similares valores de A y D1, la variable D1 fue la incluida en los mejores modelos (*F. crysophylla*, *O. armata* y *Adesmia sp.*). El mejor modelo para *Fabiana densa* incluyó sólo a D2, probablemente debido a la forma cilíndrica de las plantas. El peso seco de *P. quadrangularis* mostró un buen ajuste con lastres variables registradas en el campo (A, D1 y D2).

La cobertura de los pastos y los arbustos mostró un buen ajuste con su peso seco ($p < 0.01$, R^2 ajustado de 0,45; correlación de Pearson de 0,67), sin embargo, las ecuaciones que incluyeron algunas de las variables A, D1 o D2 mostraron un ajuste superior.

La validación de los resultados indicó que los modelos obtenidos son adecuados para predecir la biomasa (g/m^2), es decir que la relación entre la biomasa estimada por cosechas y la estimada mediante los modelos presentó un buen ajuste ($F_{(1,171)}=1540$, $p < 0.0001$, R^2 ajustado de 0,90; correlación de Pearson de 0,95).

Los modelos para cada grupo funcional también mostraron un buen ajuste de los datos. Para arbustos, el mejor modelo incluyó todas las variables transformadas a logaritmo natural:

$$\ln PS = \ln A \ 0,5334 + \ln D1 \ 1,2235 + \ln D2 \ 0,7983 - 4,5637$$

$$p < 0,00001, R^2 \text{ ajustado de } 0,88 \text{ and RE: } 0,59$$

El modelo para arbustos expresado por unidad de superficie (biomasa de arbustos) mostró alta correlación con la biomasa de arbustos estimada por el método de cosecha (correlación de Pearson: 0,94, $p < 0,0001$, R^2 ajustado: 0,89, RE: 209,5).

Para pastos, el mejor modelo fue:

$$\ln PS = A 0,028829 + \ln D1 1,455765 - 3,017395$$

$$p < 0,00001; R^2 \text{ ajustado: } 0,73 \text{ and RE: } 0,84$$

Al expresarlo por unidad de superficie, el modelo para pastos presentó una moderada correlación con los valores obtenidos con el método de cosecha (Correlación de Pearson: 0.65, $p < 0,001$, R^2 ajustado: 0,40, RE: 74,99).

Los modelos desarrollados para peso seco individual por forma de vida y por especie presentaron una correlación alta entre sí tanto para los arbustos (Correlación de Pearson: 0,92, $p < 0,0001$, R^2 ajustado: 0,84, RE: 384,6), como para los pastos (Correlación de Pearson: 0,97, $p < 0,0001$, R^2 ajustado: 0,94, RE: 21,61).

Al incorporar los valores medidos en el modelo desarrollado para Patagonia (Flombaum y Sala, 2007), se encontró una correlación alta (R^2 ajustado: 0,65, $p < 0,0001$). Del mismo modo, los datos de arbustos y pastos fueron volcados al modelo, obteniendo buenas correlaciones para arbustos ($p < 0,0001$, R^2 ajustado: 0,67, RE: 147,5) y pastos ($p < 0,0001$, R^2 ajustado: 0,68, RE: 28,29), aunque el error fue elevado.

Tabla 4.1. Medidas resumen de las especies de pastos y arbustos analizadas. PS: peso seco (g), A: altura (cm), D1: diámetro máximo (cm), D2: diámetro perpendicular (cm).

Especie	n	PS (g) Promedio (min- max)	A (cm) Promedio (min- max)	D1 (cm) Promedio (min- max)	D2 (cm) Promedio (min- max)
<i>Baccharis boliviensis</i>	60	97.10 (0.29-897.50)	30.55 (5.00-85.00)	33.93 (8.00-83.00)	27.42 (6.00-75.00)
<i>Tetraglochin cristatum</i>	36	96.59 (2.58-523.50)	22.42 (5.00-39.00)	31.08 (7.00-70.00)	24.94 (4.00-58.00)
<i>Festuca crysophylla</i>	39	77.67 (1.00-1140.00)	42.45 (10.00-74.00)	42.56 (12.00-90.00)	32.49 (7.00-70.00)
<i>Ocyroe armata</i>	10	928.5 (194.2-4205.0)	76.70 (45.00-114.00)	88.0 (49.0-97.0)	77.70 (45.00-134.00)
<i>Jarava ichu</i>	29	21.94 (0.32-183.20)	28.82 (9.00-58.00)	20.69 (5.00-70.00)	13.84 (5.00-52.00)
<i>Parastrephia quadrangularis</i>	36	192.10 (15.28-814.50)	34.67 (10.00-74.00)	51.44 (18.00-100.00)	40.50 (17.00-90.00)
<i>Fabiana densa</i>	16	29.26 (1.38-105.40)	21.11 (10.00-45.00)	20.67 (8.00-38.00)	14.89 (5.00-34.00)
<i>Adesmia sp.</i>	8	23.13 (1.00-74.43)	19.62 (3.00-31.00)	21.88 (10.00-32.00)	18.14 (5.00-30.00)
<i>Cenchrus chilensis</i>	9	5.876 (0.590-11.67)	63.89 (56.00-74.00)	10.00 (4.00-14.00)	6.44 (3.00-10.00)

Figura 4.2. Relaciones alométricas entre logaritmo natural del peso seco individual (lnPS) y las medidas registradas en el campo (lnA, lnD1, lnD2, D1) expresadas con las ecuaciones predictivas y sus valores de R² ajustado, valor *p*, residuos estandarizados y el número de plantas cosechadas para cada especie.

- **Discusión**

Todos los modelos desarrollados por especie y por grupo funcional fueron estadísticamente significativos e incluyeron pocas variables que pueden ser fácilmente registradas en el campo, en forma similar a como se ha realizado en otras zonas áridas y semiáridas (Fernández et al., 1991; Assaeed, 1997; Hierro et al., 2000; Guevara et al., 2002; Nafus et al., 2009; McClaran et al., 2013; Oliveras et al., 2014). Si bien el peso seco ajustó significativamente con la cobertura, esta variable fue menos precisa que las medidas altura y los dos diámetros.

No se encontraron resultados similares publicados para la zona de estudio, aunque al comparar los modelos elaborados con los datos propios, con los modelos predictivos para las estepas patagónicas (Flombaum & Sala, 2007), se obtuvo una elevada correlación. Sin embargo, los modelos desarrollados para esta zona puneña mostraron mejores ajustes con los datos medidos.

Las especies perennes son claves en diversos procesos ecosistémicos, como la captura de carbono y el consecuente aumento de los contenidos de materia orgánica en los suelos de las tierras secas, además de jugar un papel importante en el estado de conservación de sistemas en riesgo debido al cambio climático (Wezel et al., 2000). En diversas zonas áridas y semiáridas los arbustos han sido descritos como especies esenciales para la acumulación de nutrientes, el mantenimiento de la fertilidad edáfica y la retención de material vegetal sobre la superficie, particularmente cuando el riesgo de erosión es alto (Mazzarino et al., 1996; Bisigato & Bertiller, 1997; Aguiar & Sala, 1999; Wezel et al., 2000; Sala et al., 2012). Estudios realizados en Bolivia sobre arbustos puneños (siendo algunas especies las mismas que las analizadas en esta tesis) encontraron resultados similares a los obtenidos para las tierras secas africanas (Genin & Alzérreca, 2006).

Los pastos cespitosos y los arbustos son importantes en los sistemas pastoriles puneños, cumpliendo diversas funciones:

- Suelen ser consumidos durante períodos secos aunque no sean preferidos por los herbívoros (Genin et al., 1995b; Borgnia et al., 2010).

- Los pobladores locales en toda la región utilizan diversas especies arbustivas, denominadas genéricamente como “tolas” (como *P. quadrangularis*, *B. boliviensis* and *F. densa*, como su fuente principal de combustible y construcciones rurales, debido a la ausencia de árboles (Genin & Alzérreca, 2006).
- Especies de pastos como *Festuca spp.* and *J. ichu* son usadas para construir los techos de las casas (Genin et al., 1995b).

Teniendo en cuenta la relevancia que poseen estas especies, las ecuaciones predictivas de la biomasa desarrolladas en este capítulo pueden contribuir a los estudios de evaluación de la condición de la vegetación natural, a través de la simplificación de los muestreos de campo.

Una de las ventajas de no cosechar plantas, es la maximización del trabajo de campo pudiendo relevar con mayor detalle zonas extensas sin el esfuerzo de muestreo que implica la remoción total de los individuos. Los resultados indican que la altura y los diámetros máximo y perpendicular son variables adecuadas para predecir la biomasa aérea de varias especies arbustivas y cespitosas de la Puna jujeña. Toda la región puneña es vulnerable al cambio climático, por lo tanto, las evaluaciones rápidas con metodologías rigurosas son herramientas necesarias para mejorar las estrategias de manejo y conservación de este ecosistema.

Capítulo V

Modelos de capacidad de carga

- **Introducción**

Los sistemas pastoriles sustentados en la vegetación natural son la fuente de recursos de las comunidades de pastores tradicionales en el mundo entero (Brown, 2008; Wrobel & Redford, 2009; Niamir-Fuller et al., 2012). Entre los aspectos descriptivos del funcionamiento de estos sistemas, la capacidad de carga surge como el concepto nodal para entender la ecología trófica de la relación planta-herbívoro, y para poder, en el caso de ser necesario, brindar una opinión fundada científicamente acerca de posibles decisiones sobre el sistema. A pesar de su importancia y las implicancias tanto teóricas como prácticas, este término suele ser utilizado en diversos ámbitos en forma vaga e imprecisa, como es señalado por Scarnecchia (1998).

La capacidad de carga de un determinado ambiente es definida como la cantidad de animales que puede ser mantenida en forma permanente sin acrecentarse ni decrecer (De Vos, 1969; Begon et al., 2006). Es un concepto teórico, con un nivel de abstracción superior, más allá de los parámetros que se utilicen para estimarla; esto significa que las mediciones en el campo sustentan un marco de teorías y conceptos que limitan y definen en forma precisa su significado (Dhont, 1988; Roe, 1997; Scarnecchia, 1998). En sistemas naturales, otra definición muy difundida es el número máximo de animales que pueden mantenerse en un área determinada a largo plazo sin deteriorar el hábitat (Eltringham, 1979). Por otro lado, teniendo en cuenta la influencia antrópica, se la define como “el número óptimo de animales(o unidades animales) para alcanzar objetivos específicos considerando determinadas opciones de manejo” (Scarnecchia, 1990). O sea, la capacidad de carga es el dato de base principal para la toma de decisiones que pueden sostener o llevar al sistema a la sustentabilidad.

Las precipitaciones anuales, la biomasa aérea de la vegetación, las especies y biomasa de herbívoros, y la disponibilidad de nutrientes edáficos han sido utilizadas como indicadores para estimar la capacidad de carga de un determinado sistema (Coe et al., 1976; McNaughton et al., 1989; Oesterheld et al., 1992; Fritz & Duncan, 1994). La variabilidad espacial y temporal de estos factores y su interrelación aportan complejidad a la implementación de valores estandarizados de capacidad de carga.

En sistemas denominados “en equilibrio” o “determinísticos”, la interacción entre la vegetación y los herbívoros (crecimiento vegetal -PPN-, el consumo y crecimiento de la población de herbívoros) frecuentemente alcanza un equilibrio teórico, donde la tasa de crecimiento vegetal se iguala a la tasa de consumo de los herbívoros. Los modelos de equilibrio enfatizan entonces la importancia de la influencia de los herbívoros sobre la vegetación, estableciendo relaciones de densodependencia (Vetter, 2005). Caughley (1979) definió a la capacidad de carga como ese equilibrio teórico alcanzado entre los herbívoros y las plantas. La dificultad reside en estimar la capacidad de carga, en ambientes o sistemas de “no equilibrio”, donde el sistema planta-herbívoro no suele alcanzarla ya que en esos sistemas, la variabilidad en los factores abióticos, principalmente climáticos, impide relaciones de densodependencia (Ellis & Swift, 1988; Sullivan & Rohde, 2002; Vetter, 2005). Debido a ello, según los modelos de no equilibrio, la capacidad de carga sería más una aproximación teórica que un indicador de manejo sostenible (McLeod, 1997), debido a que en ellos, son los factores ambientales abióticos los que influyen principalmente sobre el sistema y por lo tanto, la pueden hacer más o menos representativa de la situación real. En el Altiplano de Bolivia, Buttolph & Coppock (2013) encontraron aspectos tanto de sistemas de equilibrio como de no equilibrio en comunidades vegetales muy productivas (bofedales). Allí, los niveles bajos y estables de PPNA se encuentran influenciados principalmente por el clima (no equilibrio), mientras que los cambios en la composición de especies y la productividad secundaria (del ganado) confirmarían la teoría de equilibrio.

El desafío es, por lo tanto, identificar la variabilidad ambiental y analizar los factores que influyen sobre la relación planta-herbívoro en las zonas áridas y semiáridas para establecer adecuadas cargas ganaderas y su manejo pastoril.

Existen diversos modelos matemáticos para estimar la capacidad de carga en ecosistemas de pastoreo basados en vegetación natural (Anexo Capítulo V), dentro de los utilizados en publicaciones sobre el tema en Argentina se pueden señalar:

- El método del Valor Pastoral (Nakamatsu et al., 2001) fue desarrollado para las estepas de Chubut y se basa en la estimación de la capacidad de carga a partir de la disponibilidad de forraje que es afectada por un factor de uso en potreros cercados.
- El método de la PPNA (Golluscio et al., 1998), fue utilizado en diversas zonas, particularmente en la Patagonia, y estima la capacidad de carga relacionando el forraje disponible con el consumo animal individual.
- El método propuesto por Coe et al. (1976) que relaciona la biomasa de herbívoros silvestres con las precipitaciones anuales, y fue desarrollado para las sabanas africanas.
- El método basado en la eficiencia de uso de las precipitaciones, desarrollado para la región de Sahel, en África y utilizado en la región del Monte mendocino (Le Houerou & Hoste, 1977; Guevara et al., 1996).

Para la región puneña, se han encontrado escasos trabajos referidos a la capacidad de carga. En Bolivia, la misma fue estimada a través del método del valor pastoral (Alzérreca et al., 2003) y en Laguna Blanca, Catamarca, a través de las precipitaciones anuales (Rabinovich et al., 1991; Borgnia, 2008).

En esta región, la implementación de los métodos antes mencionados es dificultosa debido principalmente a la escasez de información acerca de la relación planta-herbívoro y a las características diferenciales que presentan los sistemas puneños respecto a otros ambientes más estudiados como la Patagonia o el Monte. Analizando las dificultades de uso de los métodos antes descriptos para ecosistemas puneños se considera que:

El empleo del método del valor pastoral no es conveniente debido a la exigua información publicada sobre un factor de dicho modelo: la calidad nutricional de las especies locales. Además el pastoreo continuo en el tiempo y la movilidad de animales, que no siempre están limitados a predios, por lo que no se podría estimar precisamente el forraje consumido.

El método de la PPNA considera valores de índice de cosecha en función de especies de herbívoros y parámetros pampeanos con sistemas de producción muy diferentes a los existentes en la Puna, además de considerar un consumo diario individual de 3% del peso vivo del ganado. Las llamas presentan un consumo diario entre 2,5 y 1,5% de su peso vivo, por lo tanto considerando un peso de 90 kg, consumirían 1,4kg MS/día (Farfan et al., 1986; San Martín, 1987). La eficiencia digestiva de los camélidos (los estudios de digestibilidad publicados se realizan en especies domesticas) en relación a los ovinos, estaría explicada por: mayores coeficientes de digestión para dietas de moderada y baja calidad, mayor frecuencia de contracciones en el estómago, un elevado flujo salival en relación al tamaño del estómago (San Martín, 1987; Nielsen et al., 2014), elevada capacidad buffer de los compartimientos estomacales C1-C2, aumento de la actividad celulolítica, y un reciclado de nitrógeno amoniacal más eficiente durante la noche y la mañana (Dulphy et al., 1997).

El método basado en las precipitaciones, es un indicador grueso desarrollado para la región etiópica para grandes ungulados silvestres en ecosistemas con poca intervención antrópica y, aunque aporta información valiosa a nivel regional de paisaje, no tiene en cuenta la respuesta debida a la variabilidad de la vegetación en distintas áreas.

El método de la eficiencia de uso de las precipitaciones sería uno de los métodos más apropiado para estimar la capacidad de carga en la zona, sin embargo, no se cuenta con información detallada para asignar factores de accesibilidad al estrato arbustivo, ni su productividad primaria.

- ***Propuesta para un análisis de capacidad de carga en la Puna***

Un marco teórico interesante para analizar la capacidad de carga es el introducido desde los estudios de las interacciones predador-presa, que analizan mediante modelos teóricos los sistemas de poblaciones con dos o más niveles tróficos, o sistemas de explotación (Clark, 1973). Originalmente Noy-Meir (1975), desarrolló un modelo donde sugiere que los sistemas de pastoreo pueden ser considerados un caso especial de sistemas de predador-presa (herbívoros-plantas), donde un sistema pastoreado continuamente puede presentar más de un estado estable (o estacionario, Clark, 1973) y puede ser “discontinuuamente inestable”. Ello implica que el sistema podría moverse de un estado estable de alta productividad a uno estable de baja productividad a partir de un incremento en la presión de pastoreo o un disturbio. Por lo tanto, es necesario un cambio en el manejo para que el recurso biológico no resulte sobreexplotado y se transforme en un estado de baja productividad del que podría recuperarse sólo a través de disminuciones drásticas en la tasa de extracción (Clark, 1973; Schwinning & Parsons, 1999).

El modelo de Noy-Meir enumera algunas evidencias provenientes de sistemas de pastoreo extensivos que sustentarían la idea que los sistemas son discontinuuamente estables:

- Introduce el concepto de “safe stocking rate” (cuya traducción más cercana sería *cargas conservadoras* o *sostenibles*), diferenciando la capacidad de carga máxima y la conservadora, términos frecuentemente usados en sistemas productivos y basado en las experiencia previas. La carga máxima sería aquella donde la productividad primaria de la vegetación en el estado estacionario es mayor, pero menos estable que la sostenible.
- Además advierte que un sistema puede estar muy cerca del colapso sin que esto se refleje en el estado o condición del ganado, pero que los indicios claves de la situación se reflejan en el estado de la vegetación.
- La discontinuidad en la productividad del sistema se relaciona principalmente con las oscilaciones en las precipitaciones, y en ciclos muy secos, la

productividad desciende abruptamente aún más que la disminución en las precipitaciones.

Estudios posteriores basados en estos modelos han sido realizados en regiones húmedas/subhúmedas (Schwinning & Parsons, 1999), aunque no se encontraron trabajos aplicados a zonas áridas y semiáridas.

El objetivo de este capítulo, es desarrollar un modelo de capacidad de carga para el área de estudio, enmarcado en los conceptos desarrollados en los sistemas de explotación (Clark, 1973) y los sistemas de pastoreo de Noy-Meir (1975).

- **Métodos**

En base a los métodos desarrollados por Clark (1973) y Noy-Meir (1975), se desarrolló un nuevo modelo de capacidad de carga. Para utilizar esta metodología, se asumió el supuesto de un equilibrio entre la PPNA y el consumo de los herbívoros, es decir, un estado estacionario (Clark, 1973). Considerando que la velocidad de respuesta de la vegetación a la disponibilidad de agua (de las precipitaciones) es más rápida que la velocidad de respuesta del consumo animal, la biomasa máxima sin herbivoría se podría estimar como la biomasa alcanzada durante la estación húmeda. La biomasa del estado estacionario sería igual a la biomasa después del consumo, siendo su equivalente la biomasa remanente durante la estación seca. Se asume también un supuesto de sostenibilidad de 50% de consumo de la PPNA (Clark, 1973; Detling, 1988; Frank & McNaughton, 1992), determinando que si se comparan los valores de biomasa remanentes (los de la estación seca) con los máximos (estación húmeda) y éstos representan menos del 50% de la biomasa máxima, entonces ocurría una sobreexplotación de la PPNA (sobrepastoreo) (modificado de Momo & Capurro, 2006) (Figura 5.1).

Figura 5.1. Relación entre la biomasa, la productividad primaria (PPNA) y el consumo de los herbívoros (modificado de Momo & Capurro, 2006). Consumo 1: función del consumo de herbívoros que presenta el punto de equilibrio con la PPNA en el 50% de la biomasa. Consumo 2: función del consumo de herbívoros que presenta el punto de equilibrio con la PPNA en el 70% de la biomasa.

Se definió un rango de variación de la capacidad de carga, cuyo umbral inferior fue definido bajo el supuesto que los herbívoros consumen principalmente la biomasa del estrato bajo, y un límite superior asumiendo que los animales además consumen una fracción del estrato alto la cual está relacionada con el tipo de especies dominantes en el mismo (gramíneas vs. arbustivas).

Para establecer valores comparables con los publicados para otras zonas de la Puna, se transformaron los valores obtenidos de acuerdo a lo establecido por Braun Wilke (1995), detallado en la Tabla 5.1. A través de estos factores, puede transformarse el valor de equivalente (o unidad) vicuña en equivalente oveja o equivalente vaca.

Tabla 5.1. Factor equivalente vicuña propuesto para diversas especies de ganado (Braun Wilke, 1995).

Especie	Factor equivalente
Ovejas	1,38
Burros	4,58
Llamas	1.25
Vacas	5,5

En función de estos criterios, para el desarrollo del modelo para estimar la capacidad de carga sostenible de cada unidad de vegetación, se consideraron las siguientes variables:

- Superficie de cada unidad de vegetación (medida en ha, presentada en el Capítulo III)
- Productividad primaria y biomasa máxima del estrato bajo (para las dos variables se utilizará el valor de 2014, dado que el muestreo durante la estación húmeda fue realizado efectivamente en el momento de mayor crecimiento)
- Una unidad animal de referencia: una vicuña con un peso vivo de 40 kg y un consumo diario de 1,5% del peso de una vicuña (600 g de materia seca por día, 219 kilos anuales)
- Un porcentaje máximo de especies arbustivas en la dieta: 20% (Genin et al., 1995a; Borgnia et al., 2010)
- Un porcentaje máximo de especies cespitosas en la dieta: 40% (Genin et al., 1995a; Borgnia et al., 2010)
- Un porcentaje máximo de los dos tipos funcionales (arbustos y cespitosas) en la dieta (sólo en las estepas mixtas): 30%

Estas variables fueron utilizadas en un índice creado a partir de los trabajos de Clark (1973) y Noy Meir (1975):

$$\%EC = \frac{100 \times (BEH - BES)}{BEH} \quad [1]$$

$$AE = \frac{PPNA \times \text{superficie UV}}{219\text{kg/año}} \quad [2]$$

$$CASmin = \frac{AE \times (1 - \%EC)}{100} \quad [3]$$

$$CASmax = \frac{CASmin}{1 - \%CEA} \quad [4]$$

$$CCmin = \frac{CASmin}{\text{Superficie}}, \quad CCmax = \frac{CASmax}{\text{Superficie}} \quad [5]$$

[1] **%EC** es el porcentaje de exceso de consumo de la biomasa, en el caso que la diferencia entre la biomasa durante la estación húmeda (la biomasa máxima, **BEH**) y la biomasa durante la estación seca (la biomasa mínima, **BES**) sea superior al 50%.

[2] El parámetro animales estimados (**AE**) es un valor teórico que indica la cantidad de animales que podría soportar cada unidad de vegetación (en toda su superficie) considerando un consumo total de la productividad primaria de la vegetación (estrato bajo).

[3] La cantidad de animales sostenibles (**CAS**) para la unidad de vegetación, es la cantidad de animales que soportaría la unidad de vegetación en el área de estudio que podrían consumir hasta un 50% de la biomasa de la estación húmeda. **CASmin**: tomando en cuenta solamente la biomasa del estrato bajo. Se obtiene mediante el producto entre el porcentaje del consumo sostenible (el restante del exceso de consumo) y los animales estimados (**AE**).

[4] **CASmax**, incluye un consumo del estrato alto proporcional a su presencia en la dieta, se obtiene mediante el cociente entre CASmin y el valor remanente del porcentaje de consumo del estrato alto (**1-%CEA**)

[5] La capacidad de carga (**CCmin y CCmax**), se obtiene expresando **CASmin y CASmax** por la superficie de la unidad de vegetación.

A fin de contar con valores comparativos, además del modelo planteado, se estimó la capacidad de carga con el modelo desarrollado por Coe (1976). Para ello, se utilizó la información de las precipitaciones anuales medidas en la estación del Servicio Meteorológico Nacional de La Quiaca (estación más cercana del área de estudio).

- **Resultados**

Los valores de capacidad de carga y de las variables utilizadas para su cálculo, en cada unidad de vegetación, estimados de acuerdo al modelo desarrollado, se presentan en la Tabla 5.2. La unidad que presentó los mayores valores de capacidad de carga fue la vega, mientras que la vegetación ribereña y la estepa de cangia (can) presentaron los valores más bajos. Teniendo en cuenta un límite de sostenibilidad de consumo de la productividad de 50%, todas las unidades excepto can y chillagual presentaron indicios de sobreexplotación (Tabla 5.2 y Figura 5.2). Las vegas fueron las unidades de vegetación que además fueron las más sobreexplotadas, con un exceso de consumo de 48% durante 2014.

El promedio global estimado para el área es de 1,79-2,53 equivalentes oveja/ha equivalente a 2,46-3,5 Evi/ha (equivalente vicuña/ha). Si se analiza en función de la superficie que ocupan las unidades de vegetación, este valor sería menor (1,24-1,62 EO/ha), considerando que las unidades más extensas son las que presentaron los menores valores de capacidad de carga.

Al utilizar la ecuación desarrollada por Coe (1976), se obtuvo un valor para el área (con una precipitación anual de 271,8 mm, medida en La Quiaca durante el año 2014) de 0,25 Evi/ha (0,18 UO/ha), valor sensiblemente más bajo que los obtenidos para todas las unidades de vegetación.

Tabla 5.2. Valores de Capacidad de Carga (CC) estimados a partir del modelo desarrollado, y de las variables utilizadas para la elaboración del este modelo para el año 2014.

UV	BEH (kg/ha)	BES (kg/ha)	PPNA (kg/ha.año)	Area (ha)	AE	EC	% EC	CAS min (50%)	CAS máx (50%)	CC Min EV	CC Max EV	CC min (EO)	CC max (EO)
Bb+PA	605,60	110,94	494,66	862,93	1949,12	191,86	31,68	1331,62	1902,31	1,54	2,20	1,12	1,60
Bb+Toli	668,77	49,20	619,57	1850,44	5235,06	285,18	42,64	3002,66	3753,33	1,62	2,03	1,18	1,47
Bbped	680,30	200,94	479,60	231,06	506,01	139,21	20,46	402,47	503,08	1,74	2,18	1,26	1,58
Can	614,05	310,94	303,11	2405,95	3329,99	-3,92	0	3329,99	4162,49	1,38	1,73	1,00	1,25
Chillagual	1294,30	675,04	619,26	274,78	776,99	-27,89	0	776,99	1294,98	2,83	4,71	2,05	3,42
Peladar	1337,03	406,61	930,43	1006,56	4276,41	261,91	19,59	3438,71	3438,71	3,42	3,42	2,48	2,48
Tola +Chill	969,85	190,34	779,51	86,45	307,71	294,59	30,37	214,25	306,07	2,48	3,54	1,80	2,57
Tolar	632,70	112,04	520,66	1294,54	3077,69	204,31	32,29	2083,85	2604,82	1,61	2,01	1,17	1,46
Vegrib	342,54	101,08	241,46	2008,50	2214,49	70,19	20,49	1760,71	2515,30	0,88	1,25	0,64	0,91
Vega	3075,55	50,24	3025,31	96,55	1333,76	1487,54	48,37	688,67	1147,78	7,13	11,89	5,17	8,62
Prom										2,46	3,50	1,79	2,53

UV: unidad de vegetación.

BEH: biomasa relevada en la estación húmeda (kg/ha).

BES: biomasa relevada en la estación seca (kg/ha).

PPNA: productividad primaria neta aérea (kg/ha.año).

Área: superficie de la unidad de vegetación (ha).

AE: cantidad de animales estimados que soportaría la unidad de vegetación si se considera un consumo total la de la PPNA ($PPNA \times \text{area}$) y un consumo por cada unidad vicuña de 219kg/año ($AE = PPNA \times \text{area} / 219 \text{kg/año}$).

EC: exceso de consumo, biomasa consumida superior al 50% de la biomasa de la estación húmeda).

% EC: porcentaje de exceso de consumo de la biomasa máxima.

CAS: cantidad de animales sostenibles, que soportaría la unidad de vegetación en el área de estudio que podrían consumir hasta un 50% de la biomasa de la estación húmeda. CAS min: tomando en cuenta solamente la biomasa del estrato bajo, y CAS máx, incluyendo un consumo del estrato alto proporcional a su presencia en la dieta.

CC min: animales estimados mínimos expresados en equivalente vicuña y en equivalente oveja (EO) por ha.

CCmax: animales estimados máximos expresados en equivalente vicuña y en equivalente oveja (EO) por ha.

Figura 5.2. Valores de biomasa máxima (EH) y mínima (ES) para el año 2014. Sobre las barras se indica el rango de capacidad de carga para cada unidad de vegetación (expresado en Unidades oveja/ ha, UO).

Tabla 5.3. Valores de capacidad de carga medios ponderados del área de estudio, por la superficie de cada unidad de vegetación (*).

UV	Superficie (ha)	%	CCmin	CCmax	CCmin*	CCmax*
Bb en ped	231,06	2,19	1,26	1,58	0,03	0,03
Bb+PA	862,93	8,16	1,12	1,6	0,09	0,13
Bb+Toli	1850,44	17,51	1,18	1,47	0,21	0,26
Can	2349,01	22,22	1	1,25	0,22	0,28
Chillagual	763,67	7,23	2,05	3,42	0,15	0,25
Peladar	996,68	9,43	2,48	2,48	0,23	0,23
Tola+Chill	131,55	1,24	1,8	2,57	0,02	0,03
Tolar	885,88	8,38	1,17	1,46	0,10	0,12
Veg rib+cauce	2401,88	22,73	0,64	0,91	0,15	0,21
Vega	96,55	0,91	5,17	8,62	0,05	0,08
	10569,27	100	1,79	2,53	1,24	1,62

- **Discusión**

Los resultados obtenidos en este capítulo, son los primeros desarrollados a partir de un modelo de estimación de capacidad de carga elaborado específicamente para la región puneña, que contempla además la variabilidad espacial de las comunidades vegetales locales. Los resultados concuerdan con valores publicados para la región, obtenidos con otras metodologías. Genin & Alzérreca (2006) publicaron para los tolares de *P. quadrangularis* valores de 1.3-2.1 UO/ha, similares a los obtenidos en esta tesis (1,17-1,46 UO/ha). Para la comunidad de pastizal de *F. dolichophylla*, obtuvieron valores de 1,5-4,6 UO/ha, mientras que los obtenidos para la unidad de vegetación más comparable (chillagual), fueron similares, de 2,05-3,42 UO/ha. Por otro lado, los mismos autores citan de Morón et al.(1992) valores de capacidad de carga para comunidades vegetales de Bolivia de 1.8 UO/ha (con niveles de biomasa forrajera, bf, de 470,8 kg/ha), de 1,3 UO/ha (bf 340,9 kg/ha), 3,6 UO (bf 913,3 kg/ha), todos levemente superiores a los obtenidos para valores de biomasa forrajera equivalentes en esta zona.

Para las estepas mixtas del centro y norte de la Puna jujeña se mencionan valores de 0,02- 0,05 UV/ha para “campos secos”, y 0,1-0,2 UV/ha para vegas (Braun Wilke, 2001). Un UV, equivalente vaca, sería el equivalente aproximado a 4 UO (Braun Wilke, 1995), por lo tanto, los valores se podrían expresar como 0,08-0,2 UO/ha y 0,4-0,8 UO/ha, respectivamente. Estos valores son inferiores a los obtenidos en esta tesis, lo cual reflejaría la importancia de las escalas de análisis y de los métodos de estimación (en muchos estudios pobremente descriptos) para este tipo de estudios. Si se considera a la Puna jujeña a escala regional, la mayor proporción de superficie de comunidades vegetales con escasos niveles de productividad establecerían valores globales menores de capacidad de carga, mientras que en estudios con mayor grado de detalle, en los que es posible identificar áreas con mayores niveles de productividad, la estimación de la capacidad de carga estaría reflejando mejor la capacidad de carga ecológica.

Para zonas más áridas de la Puna de Argentina, se publicaron valores de 4.9-16.5 Evi/km²= 0,049-0,165 Evi/ha, para valores de precipitación anual de 100-200 mm respectivamente, en la zona de Laguna Blanca, Catamarca (Rabinovich, 1991).

La comparación con el modelo desarrollado por Coe (1976), señala las dificultades de extrapolar modelos obtenidos en otras regiones, como las sabanas africanas. Este modelo (de escala regional), se basa sólo en las precipitaciones como condicionantes del crecimiento de la vegetación y de la biomasa de herbívoros que ella sustenta. En el ecosistema puneño existen otros factores claves (la altitud, condicionante de temperatura) además de las precipitaciones que afectan el crecimiento vegetal (Cabrera, 1968; Ruthsatz & Movia, 1975). Los resultados obtenidos en este capítulo (que serán luego discutidos en el capítulo VI, donde se analizan las cargas de ganado y vicuñas), indicarían que las condiciones locales, definidas por el relieve y sus influencia sobre la temperatura y la disponibilidad de agua, definen la capacidad productiva de las comunidades vegetales presentes además de las precipitaciones. Por ello las unidades como la vega, los peladares y los chillaguales presentan los niveles más elevados tanto de biomasa como de capacidad de carga. Aunque no se cuenta con información de las variaciones en la composición de especies, los resultados obtenidos concordarían con los obtenidos para bofedales de Bolivia (Buttolph & Coppock, 2013).

Los pastizales de chillagua, y su variante con arbustos de tola presentaron también valores elevados de capacidad de carga, reflejando la importancia de estas unidades para la producción pastoril, permitiendo soportar cargas mayores a otras estepas. La estepa arbustiva de cangia presentó valores de capacidad de carga menores a las unidades antes mencionadas. Teniendo en cuenta que la cangia coloniza áreas con elevadas presiones de pastoreo (Catorci et al., 2013) y constituye una de las especies dominantes de comunidades de reemplazo de las anteriores, esto representaría una disminución global de la capacidad de carga del ambiente, afectando la dinámica del manejo pastoril como el uso del ambiente por las vicuñas y otros herbívoros silvestres.

El estrato alto, aportaría un porcentaje variable adicional de capacidad de carga de

acuerdo a su composición florística y niveles de consumo por parte del ganado y de las vicuñas (Genin et al., 1994, 1995a; Borgnia et al., 2010). Este aspecto es relevante para el manejo pastoril, en tanto se aprovecha además la capacidad de estas especies, de proteger a las forrajeras del estrato bajo (Genin & Alzérreca, 2006). Aunque todavía existe poca información disponible acerca del rol de los arbustales puneños en el ecosistema, particularmente sobre su función protectora de las especies del estrato bajo.

El porcentaje de consumo sostenible de 50% (el más alto según la teoría), es el límite máximo teórico para el consumo de PPNA por parte de los herbívoros (Clark, 1973; Detling, 1988; Frank & McNaughton, 1992), otros porcentajes más conservadores implican reducciones en la capacidad de carga. Resulta necesario profundizar sobre las implicancias en el manejo y en la interacción planta-herbívoro, para identificar los valores de consumo sostenibles para la zona.

Con el modelo presentado en este capítulo se pretende generar una alternativa a los modelos usados habitualmente en otras zonas del país. Muchos de éstos necesitan datos sobre la calidad nutricional de la vegetación de los cuales se carece para muchas de las especies puneñas. A su vez, estos modelos exigen determinar una serie de parámetros, que sin un fuerte apoyo de trabajo de campo terminan resultando arbitrarios, y por lo tanto, no representan la realidad del sistema pastoril puneño de Jujuy. El modelo desarrollado en esta tesis, podría ser aplicado en base a parámetros mensurables de forma sencilla en diversas comunidades vegetales en el campo (biomasa del estrato bajo en dos momentos del año). Además, permite estimar la capacidad de campo en situaciones donde es muy difícil registrar el consumo animal debido a la presencia continua de herbívoros, tanto domésticos como silvestres. Para implementarlo en otras zonas, sería recomendable evaluar su rango de aplicación para diversas comunidades vegetales y para secuencias de ciclos tanto secos como húmedos.

La comparación entre los niveles de capacidad de carga animal sostenible y la realidad en cada unidad productiva, es el tema principal del capítulo VI de esta tesis.

ANEXO CAPÍTULO V

Métodos de estimación de la capacidad de carga utilizados en Argentina

Método	Modelo	Referencias
Método del Valor Pastoral (Nakamatsu et al., 2001)	$FC = C \times CD \times do$ $VP = 0.2 \left[\frac{\sum_{i=1}^n (TFi \times ICEi)}{\sum TFi} \right] \times CF$ $CC = \frac{[FC + (ksitio \times VP)] \times FU}{CIA}$ <p>Alzérreca et al. (2003) utilizaron una variante de este método, mediante la fórmula:</p> $VP = 0.1 \times (CSC \times ICF) \times RV$ <p>VP=Valor pastoral, con un rango de variación de 0 a 100.</p> <p>CSC= Composición botánica</p> <p>ICF= Índice de calidad forrajera (escala de 1 a 10)</p> <p>RV= índice de recubrimiento de la vegetación</p> <p>Consideran que 1 VP son 66 unidades forrajeras (UF), y esa transformación es dividida por el consumo en UF de una unidad animal. Consumo de una unidad ovina de 204 UF/año.</p>	<p>La disponibilidad forrajera (DF) es obtenida mediante la suma del “forraje consumido antes de la evaluación” (FC) y el “forraje remanente al momento de la evaluación” (FR).</p> <p>El FC se calcula a partir de la información registrada de las cargas animales (C, cantidades y categorías) y la duración de la permanencia del ganado en el lote desde el inicio de la estación de crecimiento de la vegetación (do), considerando un consumo de 300 kg/MS unidades ovinas (CD).</p> <p>El FR se estima a partir del producto del “Valor pastoral” (VP) y una constante específica del sitio (k_{sitio}). El VP se obtiene mediante una ecuación que relaciona la calidad forrajera de la vegetación (ICEi, índice de calidad forrajera) y su cobertura (“cobertura forrajera”, CF), y toques para la especie i(TFi, que se obtiene realizando cada</p>

		<p>observación mediante el descenso en forma vertical de una aguja al suelo y se registra el nombre de cada especie que toca la aguja antes de llegar al suelo, especificando si el órgano tocado es forrajero o no.). La constante k_{sitio} es la pendiente de la regresión entre biomasa forrajera y el valor pastoral, calibrada para las principales áreas ecológicas de Chubut. El FU es el porcentaje de la producción forrajera que puede ser pastoreada. La disponibilidad forrajero es luego dividida por el consumo individual anual (CIA, kg MS /Equivalentes oveja.año)</p>
<p>Método de la PPNA (Golluscio et al., 1998)</p>	$CC = \frac{FR}{CAI}$ $FR = PPNA \times IC$ $IC(\%) = -5,71 + 0,7154 \times \left(PPNA \left(\frac{\text{kg MS}}{\text{ha. año}} \right) \right)^{0,5}$	<p>Se basa en la estimación de la capacidad de carga (CC) mediante un modelo que relaciona el forraje disponible (FR) con el consumo animal individual (CAI, expresado en kgMS/).</p> <p>El forraje disponible se obtiene a partir del producto entre la productividad primaria y un índice de cosecha (IC) que indica el porcentaje de la PPNA que puede ser consumido por</p>

		los herbívoros mediante un modelo desarrollado por Oesterheld et al. (1992) a escala regional para Argentina y Uruguay.
Método de por Coe et al. (1976)	$\log_{10} \text{ biomasa herbívoros } \left(\frac{\text{kg}}{\text{km}^2} \right)$ $= 1,685 \log_{10} \text{ precipitaciones } \left(\frac{\text{mm}}{\text{año}} \right) - 1,095$	Consiste en una ecuación lineal que relaciona la biomasa de herbívoros silvestres con las precipitaciones anuales, para escala regional en las sabanas africanas.
Método basado en la eficiencia de uso de las precipitaciones (EUP) (Le Houerou & Hoste, 1977)	$CC = \frac{PPNA \text{ estrato herbáceo} \times fa1 \times fu1 + PPNA \text{ estrato arbustivo} \times fa2 \times fu2}{\text{Consumo EV}}$	Desarrollado para la región de Sahel, en África y utilizada en la región del Monte mendocino (Guevara et al., 1996). Considera la productividad primaria de los estratos herbáceos y arbustivos (que puede ser medida o estimada a partir de EUP), un factor de accesibilidad para cada uno de los estratos (fa1, herbáceo y fa2 arbustivo) y un factor de uso sustentable (fu1 y fu2). La productividad primaria es dividida por el consumo de un equivalente vaca, que es de 2.5 kg MS/día cada 100 kg de peso, considerando un animal de 400 kg.

Capítulo VI

El manejo pastoril y síntomas de degradación

- **Introducción**

Diversos estudios acerca del sistema pastoril puneño identifican factores ambientales específicos como la rigurosidad del clima y características socioculturales propias como algunas estrategias de los productores quienes suelen priorizar producciones que minimizan pérdidas por mortandad (en lugar de maximizar las ganancias monetarias) (Göbel, 2001; Wawrzyk & Vilá, 2013). A estas condiciones se les suma la identificación de ineficiencias en la cadena productiva (Vorano & Vargas Gil, 2002).

Una de las estrategias más comunes de los pastores puneños, es organizar sus sistemas productivos en base a rebaños mixtos con llamas, ovejas y en algunos casos burros, cabras y vacas. Esto les permite diversificar el riesgo en función de las características de cada especie, debido a que las llamas tienen la capacidad de aprovechar especies vegetales con baja calidad forrajera y requieren menores cuidados y vigilancia durante el pastoreo, mientras que las ovejas poseen mayores tasas reproductivas y sus productos son más fáciles de comercializar en el mercado local (Tichit & Genin, 1997; Genin & Alzérreca, 2006).

En el área de estudio, la principal actividad rural es el pastoreo extensivo de llamas y ovejas, y el manejo es influenciado principalmente por las formas de organización social, en especial la tenencia de la tierra (individual y comunal, con y sin títulos de propiedad), la extensión del campo de pastoreo y la existencia de alternativas económicas que puedan realizar los productores. Estos factores identificados en este trabajo, son coincidentes con indicadores en bibliografía sobre pastoralismo en la Puna jujeña (Göbel, 2002; Paz et al., 2011; Bergesio et al., 2016). Particularmente, en el territorio del área de estudio, la organización social y tenencia de la tierra es heterogénea, existiendo tres comunidades aborígenes que manejan

el territorio en los alrededores del pueblo de Santa Catalina, en forma comunal, y campos privados de manejo individual familiar (Paz et al., 2011; Vilá et al., 2012).

Como se mencionó en el Capítulo II, en el área de estudio desde 2010, se conformó una cooperativa de productores (COOCPASAC), que desarrolló un plan de manejo de vicuñas silvestres, a partir del cual se han generado varias líneas de investigación las que incluyen profundizar el conocimiento sobre el manejo pastoril y examinar síntomas de degradación, lo cual forma parte de este capítulo de tesis (Vilá et al., 2013; Arzamendia et al., 2014b, 2015).

- **Desertificación**

La desertificación, fue descrita en la década de los 70, como la expansión de las condiciones de desierto en áreas áridas o semiáridas debido a la influencia del ser humano o del cambio climático (Rapp, 1974; Helldén, 1991), también se la definió como la disminución o destrucción de la actividad biológica potencial de las tierras, provocando en última instancia condiciones de desierto (UNCOD A/CONF, 1977), o como un proceso de empobrecimiento de ecosistemas áridos, semiáridos y algunos subhúmedos por los impactos combinados de las actividades humanas y las sequías (Dregne, 1976). Se diferencia del término desertización, en tanto que desertificación refiere a los procesos que involucran un mal uso de sistemas secos, y desertización sólo para procesos naturales de aridización del clima (Abraham, 2003).

En la actualidad, la definición aceptada comúnmente de desertificación es la elaborada por la Convención de Lucha Contra la Desertificación de las Naciones Unidas (UNCCD), y consiste en la degradación de las tierras en áreas áridas, semiáridas y subhúmedas, como resultado de varios factores, incluidas las variaciones climáticas y las actividades humanas (UNCCD, 1994). Las evaluaciones de la extensión y la severidad de la degradación de las tierras secas continúan siendo un desafío, debido a discrepancias respecto a aspectos conceptuales y metodológicos que impidieron establecer un modo universal de medirlo y por lo tanto la dificultad de establecer generalizaciones. Al respecto, Reynolds y Stafford Smith

(2002), plantean una serie de interrogantes que contribuyen a la identificación de las dificultades que enfrentan estos análisis:

- ¿La desertificación es un proceso (fenómeno caracterizado por cambios visibles) o un estado (condición de las tierras producida como resultado de la degradación)?
- ¿Qué es la degradación de las tierras: disminución de la condición de la vegetación, erosión de suelos, pérdida de valor económico de los recursos?
- ¿Existen métodos realmente precisos para cuantificar la degradación de las tierras?
- ¿La degradación se manifiesta del mismo modo en todas las tierras secas?
- ¿Es reversible?
- ¿Cuáles son las causas subyacentes de la degradación? ¿Cuál sería el peso relativo de los factores naturales y los antrópicos?
- ¿Cómo puede ser determinada la superficie de tierras secas degradadas? ¿los indicadores útiles para una determinada escala, pueden ser extrapolados?

En Argentina, fueron implementados diversos protocolos de monitoreo de la desertificación desarrollados por organismos internacionales. Entre ellos, inicialmente la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) publicó un procedimiento preliminar para establecer metodologías estandarizadas (FAO/UNEP, 1984). Posteriormente el proyecto LADA (Land Degradation Assessment in Drylands, Evaluación de la degradación en las tierras secas) (Abraham, 2006; Abraham & Torres, 2007; FAO/LADA, 2011) permitió que se establezcan diversos sitios piloto para evaluar la desertificación en el país, uno de los cuales se localizó en la Puna Jujeña (en la cuenca del río Miraflores) (Navone et al., 2006). Actualmente, el Observatorio Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación coordina la organización de la información generada en los diversos sitios pilotos del país (Pietragalla et al., 2013).

En los trabajos que analizan las causas de degradación de la vegetación, se mencionan numerosos factores, y entre estos se identifica, al pastoreo extensivo como importante (Braun Wilke & Guzmán, 2003; Navone et al., 2006; Lupo et al., 2008). Sin embargo el impacto del mismo puede ser neutro, perjudicial o positivo para la conservación del ambiente dependiendo del contexto y de la dinámica y composición del sistema (Cingolani et al., 2008). Algunas evidencias que refieren al pastoreo como causante de degradación en la puna describen áreas con escasa cobertura vegetal, vegas degradadas, y dominancia de especies poco palatales o tóxicas (Braun Wilke & Guzmán, 2003; Navone et al., 2006; Lupo et al., 2008). La escasez de estados de referencia (es decir, la existencia de áreas testigo que permitan comparar situaciones bajo influencia antrópica con las afectadas sólo por factores naturales, como el clima y procesos geomorfológicos), además de carencias sobre información generada localmente sobre la interacción planta herbívoro y su relación con la variabilidad ambiental, limitan la posibilidad de establecer una relación causal y unívoca entre las cargas ganaderas y los procesos mencionados (Genin et al., 1995b). En áreas más húmedas de la Puna en Bolivia, se presentaron evidencias del efecto de las excesivas cargas de camélidos domésticos (alpacas) sobre la degradación del suelo, a través de la disminución del contenido de carbono orgánico (Muñoz García & Faz Cano, 2012; Muñoz García et al., 2013).

Los resultados del proyecto LADA en la Puna jujeña (Navone et al., 2006) indican que la introducción de especies de ganado exóticas, forrajeras (principalmente *Eragrostis curvula*, “pasto llorón”) y la implementación generalizada del alambrado, incrementó la cantidad de animales y situaciones de sobrepastoreo. Además, los pobladores utilizan las especies arbustivas como única fuente combustible, y su extracción produce extensas áreas de suelo desnudo. El sobrepastoreo provoca disminuciones en la cobertura vegetal, dejando el suelo susceptible a la acción de vientos intensos, provocando erosión eólica principalmente durante la estación seca. Durante la estación húmeda, consecuencia de las lluvias se forman surcos y cárcavas.

Muchos de los interrogantes antes mencionados aún no fueron respondidos mediante las metodologías implementadas en gran parte de las tierras secas. Ello estaría provocado por limitaciones como la dificultad para encontrar puntos de referencia sin actividad antrópica para realizar comparaciones con las áreas susceptibles a la degradación, la subjetividad en la elaboración de algunos indicadores, y la cuestionada utilidad de las propiedades edáficas para diagnosticar los síntomas de degradación en sus etapas iniciales (Verón et al., 2006). Además, cada zona presenta características particulares respecto a la interacción de factores como la susceptibilidad a la variabilidad climática, procesos geomorfológicos, y aspectos productivos que dificultan la generalización.

Aún es necesario profundizar acerca el estado de conservación de las tierras, en particular a escala local en la Puna, donde la interacción del clima, el relieve montañoso y la vegetación provocan condiciones variables a escala de paisaje.

El objetivo de este capítulo es caracterizar los sistemas pastoriles incluidos en el área de estudio, describir las interacciones entre la actividad ganadera y la vegetación natural y analizar el estado de conservación del sistema en relación a indicadores de desertificación.

- **Métodos**

- **Manejo ganadero**

Esta tesis fue desarrollada en el marco de un programa de investigación interdisciplinario que incluye un Plan de Manejo Local: Conservación y uso sustentable de Vicuñas (*Vicugna vicugna vicugna*) en campos de la Cooperativa de Productores Agroganaderos de Santa Catalina (Vilá et al., 2012, 2013; Arzamendia et al., 2014, 2015). Los datos de cargas animales y de manejo pastoril se derivan de los relevamientos realizados en el área de estudio, iniciados en el año 2010 con una profundización de los mismos en función de la realización de esta tesis doctoral desde el 2012. La información de manejo ganadero más detallada fue obtenida para los predios pertenecientes a los miembros de la Cooperativa (COOPASAC), por lo que el análisis se centrará en esos campos.

Los predios fueron delimitados través de la georreferenciación con GPS de alambrados y límites establecidos por los productores, luego en un SIG (Quantum GIS Development Team, 2013) se digitalizaron los límites dentro del área de estudio. El uso del SIG (mediante la metodología descrita en el capítulo III) permitió establecer el porcentaje de cada unidad de vegetación presente en cada predio.

La información asociada al manejo del ganado fue recopilada mediante entrevistas abiertas y semiestructuradas y a través de la observación participante (Guber, 2001) con productores y habitantes de Santa Catalina vinculados con la producción pastoril y observaciones propias. Las entrevistas se orientaron a aspectos del manejo del ganado y uso de la vegetación natural. Se indagó acerca de: tipo de propiedad de la tierra, actividad económica principal, cantidad de puestos y ubicación de los mismos, realización de rotaciones, existencia de aguadas permanentes y temporales y su manejo, cantidad de animales de cada especie, principales problemáticas que enfrentan y tendencias en las cargas y la producción de la vegetación durante los últimos años.

Las cargas animales fueron estimadas a partir de las entrevistas con los productores de la Cooperativa, y en el caso del resto de las unidades productivas, fueron determinadas a través de censos de herbívoros que se realizaron durante varios períodos desde 2012. Estos fueron desarrollados mediante la metodología de transectas de líneas terrestres, que consiste en identificar y contabilizar todos los herbívoros presentes a cada lado de una transecta y estimar la distancia perpendicular a los mismos (Hill et al., 2005). Las transectas se efectuaron sobre los caminos vecinales que atraviesan el área de estudio (Arzamendia et al., 2014a). Se realizaron desde vehículos y utilizando binoculares, hacia ambos lados de la línea de avance y con un ancho de faja de 500m hacia cada lado del camino, georreferenciando cada observación con un GPS de mano (Garmin E-Trex 20). Se registraron los siguientes parámetros:

a) Presencia humana: personas, perros y construcciones, límites y otros factores antrópicos del área.

b) Presencia y abundancia de animales domésticos (clasificación taxonómica) y vicuñas por grupo.

c) Unidad ambiental (topografía y unidad de vegetación) en la que se encontró cada grupo.

En los casos donde los animales son trasladados estacionalmente entre potreros o sectores del campo, la determinación de las cargas fue realizada en función del consumo estimado: una oveja de 20 kg que consume 2.5% de su peso vivo, por lo tanto consume diariamente 0.5 kg/día, y una llama de 125 kg (peso aproximado de los animales en la zona) que consume 1.5% de su peso vivo, es decir 1.88 kg/día (Fowler, 1989; Genin et al., 1995a).

En las unidades productivas donde el manejo ganadero y la extensión de los campos de pastoreo fueron relevados parcialmente, las cargas animales fueron calculadas a partir de los censos y teniendo en cuenta la distancia de visión de las transectas, es decir 500 m a cada lado. Para ello, se crearon buffers de 500 m para estimar las densidades sobre las superficies realmente relevadas.

- Degradación de suelos y vegetación, síntomas de desertificación

Dentro de las unidades ambientales y por unidad de vegetación, se analizó el nivel de degradación mediante algunos de los indicadores publicados para el relevamiento de la desertificación, y otros modificados para la escala espacial y temporal de esta tesis:

- Comparación de cargas animales respecto a la capacidad de carga media de cada predio (este valor se obtuvo como un valor global medio para el predio, mediante los valores de capacidad de carga obtenidos en el capítulo V para cada unidad de vegetación, en forma proporcional a la superficie de las unidades presentes en cada predio).
 - Para la estimación de las cargas de vicuñas, se utilizó el valor más alto registrado durante los censos.
- Valores de cobertura del estrato alto (FAO/UNEP, 1984). Riesgo de degradación:

Leve: porcentaje superior a 50%

Moderado: 50-20%

Severo: 20-5%

Muy severo: menor a 5%

- Síntomas de erosión hídrica: unidad ambiental (pendientes) presencia de surcos, cárcavas, plantas descalzadas, cobertura vegetal durante la estación húmeda (Abraham, 2006).
- Síntomas de erosión eólica: cobertura vegetal durante la estación seca y riesgo de erosión en función del contenido de arena (Abraham, 2006), rangos:

Bajo: Menor al 20%

Medio: Entre 20-50%

Alto: Superior al 50%.

- Síntomas de salinización: valores de conductividad eléctrica (CE) de los suelos (FAO/UNEP, 1984), niveles ($1000 \mu\text{S}/\text{cm} = 1 \text{ mmhos}/\text{cm}$):

Leve: menor a 4 mmhos/cm

Moderado: 4-8 mmhos/cm

Severo: 8-16 mmhos/cm

Muy severo: mayor a 16 mmhos/cm

- Síntomas de alcalinización: reacción del suelo (pH). Valores de pH neutros: iguales o cercanos a 7, suelos ácidos: menores a 7 (hasta 5,5 acidez moderada), suelos alcalinos: pH superior a 8 (Navarro Blaya & Navarro García, 2003).

Los porcentajes de cobertura vegetal y los valores analíticos de los análisis de suelos de las unidades de vegetación fueron tomados del Capítulo III (Tablas 3.6, 3.7 y 3.8).

- **Resultados**

- **Manejo pastoril**

En el área de estudio el manejo pastoril es influenciado principalmente por las formas de organización social, en especial la tenencia de la tierra (individual familiar y comunal). Los pobladores de esta área se organizan en

- Una comunidad aborigen (Comunidad Aborigen de Atu Saphi, de Morritos), cuyos campos de pastoreo son comunales y se encuentran principalmente en las serranías (3700-3850 msnm), ubicadas al este del pueblo de Santa Catalina (noroeste del área de estudio).
- Campos de pastoreo privados de manejo individual y/o familiar (unidad productiva 4 y otras ubicadas al oeste-sudoeste del área de estudio).
- Campos de pastoreo privados de manejo familiar, que se han organizado en una cooperativa de productores (COOPASAC), localizados en las zonas más bajas del gradiente altitudinal (3690-3750 msnm) entre los parajes de Carayoc, Pujito, Piscuno, Casira y Puesto Grande (Unidades productivas 1, 2 y 3).

En todos los campos relevados se realiza una ganadería extensiva de ovejas y llamas. El manejo pastoril, difiere en las escalas, particularmente en cuanto a la extensión de las superficies y cantidad de animales. Sin embargo no se encontraron grandes diferencias en cuanto al manejo sanitario y reproductivo.

Durante el período de recolección de datos de esta tesis, los productores integrados en la COOPASAC, además de la actividad pastoril, realizaron en sus campos 6 capturas y esquilas de vicuñas durante 3 años consecutivos (con un total de 416 vicuñas capturadas, con nula mortalidad), bajo la asistencia científico-técnica del grupo de investigación de VICAM (Arzamendia et al., 2014, Arzamendia et al. 2015).

En líneas generales, la estructura productiva del área de estudio consiste en rebaños de ovinos que varían entre 400-1000 animales, y tropas de llamas de 80-400 animales, también es variable entre los productores y entre años la proporción

que es destinada a autoconsumo y la que es comercializada. Además existen burros que pastorean en forma libre en los campos, estos pueden tener propietarios (generalmente no son de los propietarios del campo, sino de vecinos) o estar asilvestrados. Algunos campos de pastoreo se encuentran subdivididos en parcelas mediante alambrados con diverso grado de conservación, lo que permite definir rotaciones en el pastoreo del ganado. Estas divisiones internas permiten, en el caso de los productores de la cooperativa, habilitar el pastoreo de los animales en los potreros ubicados en los sectores más bajos durante la estación seca, denominados “Pujitos” y “Carayoc” (Figuras 6.1 y 6.7), y en el verano llevar a sus animales a los puestos más cercanos a la localidad de Piscuno, las “Estancias”, en el norte del área, donde las aguadas suelen ser temporales. En el área, además existen diversos grados de tolerancia humana respecto a las vicuñas que pastorean en los campos. Particularmente en los del sector sur del área de estudio (de los que sólo se muestreó una pequeña fracción de su superficie, son campos privados muy extensos, superiores a las 2000 ha), los alambrados son altos y mantenidos periódicamente, impidiendo que las vicuñas puedan ingresar y el ganado pueda acceder a otros campos. En los campos donde no hay alambrados o su estado es precario, los perros que acompañan los rebaños de ovejas suelen correr y alejar a las vicuñas (Rojo, 2015).

Durante el último año, debido a la escasez de precipitaciones durante la estación húmeda (Figuras 2.3. y 2.4 y anexo Capítulo VI) los productores de la cooperativa manifestaron haber disminuido las cargas ganaderas de ovejas en un 50% aproximadamente. Es probable que el resto de los productores del área hayan realizado lo mismo.

En todos los campos existen varias aguadas artificiales, algunas de ellas mantienen poca cantidad de agua durante la estación seca. La escasa disponibilidad de agua y forraje durante la estación seca ha sido descrita como las principales limitantes para la producción.

Unidad productiva 1

Esta familia, junto a las Unidades productivas 2 y 3 forma parte de la COOPASAC. Son propietarios directos y poseen dos campos de pastoreo, uno ubicado dentro del área de estudio, localizado en una zona llana, denominada “Pujitos”, y ocupa una superficie de aproximadamente 500 ha.

La unidad de vegetación que ocupa la mayor proporción del área es la estepa arbustiva de cangia (225,4 ha, 45,5% de la superficie total del predio), lo cual indica que la cobertura vegetal es escasa (ver Capítulo II), mientras que las unidades peladar (105,2 ha, 21,3%) la secundó, Figura 6.1.

Figura 6.1. Ubicación dentro del área de estudio, de la unidad productiva 1 y las unidades de vegetación relevadas, la superficie que ocupan en el predio, su rango mínimo y máximo de capacidad de carga media y la capacidad de carga ponderada por la superficie (resaltada en gris).

En Pujitos, poseen 50 llamas y 600 ovejas. El otro campo de pastoreo se encuentra en las serranías al suroeste del pueblo de Santa Catalina, y abarca una extensión

de alrededor de 1700 ha, donde poseen 280 llamas. Durante la estación húmeda, las llamas son llevadas a la parte más elevada, en los cerros, mientras que durante la estación seca se las traslada a la zona cercana al río. Una gran parte de la producción es comercializada en centros urbanos. Durante la estación seca fueron relevadas 56 vicuñas, y durante la estación húmeda 118.

Las cargas animales registradas (1,74 EO/ha) superan la capacidad de carga mínima ponderada por superficie y se encuentran cerca del límite superior del rango de capacidad de carga media ponderada (1,5-1,9 EO/ha) (Fig. 6.2).

Sin embargo, al ser esta una parcela abierta en su sector sur y parte del norte, el número de animales en ciertos momentos es superior al que poseen los propietarios del campo, dados los movimientos de animales entre campos vecinos.

Figura 6.2. Cargas animales en el predio en la unidad productiva 1, expresadas en equivalente oveja (EO) para la superficie total del predio. Líneas azules indican capacidad de carga máxima y mínima ponderada por la superficie de cada UV presente en el campo. * Mayor número de vicuñas relevadas durante las dos estaciones.

Unidad productiva 2

El campo es una propiedad familiar, integrada por cuatro familias. Tiene una superficie de alrededor de 1030 ha, y se encuentra subdividido en 3 potreros, una porción más extensa ubicada al norte de aproximadamente 700 ha, una en el centro de 280 ha y la localizada más al sur, de 50 ha (Figura 6.2). La superficie predominante de las unidades de vegetación se distribuyó en los potreros de la siguiente forma:

Potrero norte: mayor proporción de la superficie vegetación ribereña (291,9 ha, 41,3 %), seguida por tolares (188,7 ha, 26,7%).

Potrero centro: la unidad de vegetación que presentó la mayor proporción es chillagual (130,5 ha, 46,5%), seguido por peladar (78,5 ha, 28 %).

Potrero sur: utilizado como reserva de forraje de invierno para las ovejas, se encontraron presentes sólo tres unidades de vegetación: chillagual, que ocupó la mayor proporción de la superficie (43,1 ha, 79,2%), peladar (10,27 ha, 19%), y Tola+Chill (1 ha, 1,9 %).

Poseen aproximadamente 800 ovejas, y 280 llamas, de esos animales, 100 ovejas y 80 llamas son propiedad del pastor a cargo del ganado. Las ovejas son llevadas al campo norte en la estación húmeda, y a los potreros centro y sur en la estación seca (las hembras con cría al campo sur y el resto al centro, durante los últimos dos meses de la estación seca todas las ovejas pastorean en el potrero sur). Las llamas no suelen ser llevadas al potrero sur. Se encuentra alambrado aunque en algunos sectores está deteriorado, pero se utiliza como pastura de reserva. Durante el último año, como consecuencia de la sequía murieron entre 30 y 60 ovejas.

Figura 6.3. Ubicación del campo de la unidad productiva 2 y las unidades de vegetación relevadas, la superficie que ocupan en el predio, su capacidad de carga ponderada por la superficie (resaltada en gris) y la delimitación de los tres potreros en los que se encuentra dividido el campo.

Poseen aproximadamente 800 ovejas, y 280 llamas, de esos animales, 100 ovejas y 80 llamas son propiedad del pastor a cargo del ganado. Las ovejas son llevadas al campo norte en la estación húmeda, y a los potreros centro y sur en la estación seca (las hembras con cría al campo sur y el resto al centro, durante los últimos dos meses de la estación seca todas las ovejas pastorean en el potrero sur). Las llamas no suelen ser llevadas al potrero sur. Se encuentra alambrado aunque en algunos

sectores está deteriorado, pero se utiliza como pastura de reserva. Durante el último año, como consecuencia de la sequía murieron entre 30 y 60 ovejas.

En el potrero norte, durante la estación húmeda se registraron 31 vicuñas, y 24 durante la estación seca. Las cargas registradas en el potrero norte (1,11 EO/ha) superan la capacidad de carga media ponderada (1,09-1,33 EO/ha), Figura 6.4.

Figura 6.4. Cargas animales en el potrero norte de la unidad productiva 2, expresadas en equivalente oveja (EO) para la superficie del potrero. Líneas azules indican capacidad de carga máxima y mínima ponderada por la superficie de cada UV presente en el campo * Mayor número de vicuñas relevadas durante las dos estaciones.

En el potrero centro se relevaron en promedio 83 vicuñas. Las cargas totales (3,4 EO/ha) superan la capacidad de carga ponderada del potrero (1,8-2,5 EO/ha) (Figura 6.5), aun teniendo en cuenta que las unidades más representadas también presentan elevados niveles de capacidad de carga.

Las llamas no son llevadas al potrero sur, por lo tanto la carga máxima ocurre durante los meses de noviembre y diciembre, cuando pastorean allí todas las ovejas. La carga animal total (4,7 EO/ha) supera la capacidad de carga ponderada (2,1-3,2 EO/ha), Figura 6.6.

Figura 6.5. Cargas animales en el potrero centro de la unidad productiva 2, expresadas en equivalente oveja (EO) para la superficie del potrero. Líneas azules indican capacidad de carga máxima y mínima ponderada por la superficie de cada UV presente en el campo * Mayor número de vicuñas relevadas durante las dos estaciones.

Figura 6.6. Cargas animales en el potrero sur de la unidad productiva 2, expresadas en equivalente oveja (EO) para la superficie del potrero. Líneas azules indican capacidad de carga máxima y mínima ponderada por la superficie de cada UV presente en el campo * Mayor número de vicuñas relevadas durante las dos estaciones.

Unidad productiva 3

Es una propiedad familiar, se encuentra ubicada en una zona llana, con escasas pendientes y subdividida en tres potreros, uno en el sector norte, cercano a la localidad de Piscuno, llamado “la estancia” y dos en el sector sur, “Carayoc”. Presenta una superficie aproximada de 2300 ha, El potrero norte posee un puesto utilizado como vivienda temporal durante la estación húmeda, tiene una extensión de 1600 ha aproximadamente, el SO tiene 500 ha (donde se encuentra el puesto principal) y el SE de 200 ha.

El sector NE del potrero norte fue relevado parcialmente, identificando las unidades de vegetación, aunque no pudieron realizarse los muestreos de cobertura y

biomasa, debido a la imposibilidad de acceder a ese sector por las crecidas del río Santa Catalina.

La unidad vegetación más extensa en el potrero norte es la vegetación ribereña junto al cauce de río Santa Catalina (713,04 ha, 43,67%), seguida por el tolar (588,23 ha, 36,02%), Figura 6.7. En este potrero se encuentra además una estepa mixta de tola y *Festuca ortophylla* “pasto gris”, localizada en zonas de suelos arenosos, y con características similares a los tolares analizados en los capítulos III y V.

En el potrero SE, se encuentran las unidades cangia (159,02, 72,44%) y vegetación ribereña (60,5, 27,56%).

En el potrero SO, las unidades más extensas fueron cangia (216,53 ha, 42,15 %) y tolar (216,5 ha, 42,15%).

Poseen 900 ovejas, 200 de ellas propiedad de la pastora, y 400 llamas. Durante la estación húmeda, las ovejas son llevadas al potrero norte, y durante la estación seca, a los potreros el sur. Las llamas no tienen un pastoreo dirigido, aunque la mayor proporción se concentra en el potrero norte (se consideró una distribución aproximada de 400 animales durante la estación húmeda, es decir la totalidad de la tropa, en la estación seca la mitad en el potrero norte, 150 en el SO y 50 en el SE). Se encuentra alambrado gran parte de su extensión, aunque el estado de conservación es variable. Este año, debido a la intensa sequía, redujeron la cantidad de animales, actualmente mantienen 200 ovejas (la tendencia en los últimos años fue disminuir la carga) y 400 llamas.

Figura 6.7. Ubicación del campo de la unidad productiva 3, las subdivisiones (potreros norte, SO y SE), las unidades de vegetación relevadas, la superficie que ocupan en el predio, su rango mínimo y máximo de capacidad de carga media y la capacidad de carga ponderada por la superficie (resaltada en gris).

En el potrero norte fueron registradas 200 vicuñas. Las cargas en este potrero (0,77 EO/ha) fueron inferiores a la capacidad de carga ponderada (1-1,27 EO/ha) (Figura 6.8). Suelen entrar animales de los vecinos a pastorear, por lo que la carga animal probablemente sea mayor.

Figura 6.8. Cargas animales en el potrero norte de la unidad productiva 3, expresadas en equivalente oveja (EO) para la superficie del potrero. Líneas azules indican capacidad de carga máxima y mínima ponderada por la superficie de cada UV presente en el campo.

En el potrero SE, fueron relevadas 74 vicuñas. Las cargas animales (1,4 EO/ha) excedieron la capacidad de carga mínima ponderada (1,27-1,82 EO/ha), Figura 6.9.

Figura 6.9. Cargas animales en el potrero SE de la unidad productiva 3, expresadas en equivalente oveja (EO) para la superficie del potrero. Líneas azules indican capacidad de carga máxima y mínima ponderada por la superficie de cada UV presente en el campo * Mayor número de vicuñas relevadas durante las dos estaciones.

Las cargas en el potrero SO (1,54 EO/ha), fueron similares a la capacidad de carga mínima ponderada (1,56-2,3 EO/ha), Figura 6.10.

Figura 6.10. Cargas animales en el potrero SO de la unidad productiva 3, expresadas en equivalente oveja (EO) para la superficie del potrero. Líneas azules indican capacidad de carga máxima y mínima ponderada por la superficie de cada UV presente en el campo * Mayor número de vicuñas relevadas durante las dos estaciones.

Unidad productiva 4

Campo de propiedad familiar, que no forma parte de la cooperativa. El área usada para pastoreo del ganado tiene una extensión aproximada de 600 ha, se encuentra cercado con alambrados de diverso estado de conservación. Presenta una subdivisión que divide el campo en dos potreros. Las unidades de vegetación más extensas fueron la estepa de Bb+PA (186,78 ha, 31,1%) y paladar (164,15 ha, 27,3%), Figura 6.11.

Figura 6.11.Ubicación del campo de la unidad productiva 4, las unidades de vegetación relevadas, la superficie que ocupan en el predio, su rango mínimo y máximo de capacidad de carga media y la capacidad de carga ponderada por la superficie (resaltada en gris).

En el predio fueron registradas de 600 ovejas, 50 llamas, y 178 vicuñas. Las cargas animales (1,51 EO/ha) son similares a la capacidad de carga mínima ponderada (1,56-1,98 EO/ha). Sin embargo, a pesar de contar con alambrados internos que separan el campo en dos potreros, los mismos se encuentran deteriorados, por lo que el pastoreo es dirigido por los pastores, concentrándose principalmente en las zonas donde se localizan las unidades más productivas, por lo que las cargas animales probablemente sean mayores, Figura 6.12.

Figura 6.12. Cargas animales en la unidad productiva 4, expresadas en equivalente oveja (EO) para la superficie del potrero. Líneas azules indican capacidad de carga máxima y mínima ponderada por la superficie de cada UV presente en el campo * Mayor número de vicuñas relevadas durante las dos estaciones.

Los tres grupos de unidades productivas que se describen a continuación fueron relevados parcialmente, por lo que el número aproximado de animales y la superficie de los predios fueron estimados a partir de los censos:

Unidades productivas de Morritos

Son campos pertenecientes a una comunidad aborigen, que actualmente se encuentra en litigio por la tenencia de las tierras. Son varias familias cuyos campos de pastoreo no se encuentran alambrados, pero los sectores están definidos para cada grupo familiar, los rebaños no son numerosos.

La unidad de vegetación dominante fue la estepa de Bb+Toli (764,9 ha, 59,2%), reflejando la fisiografía de los campos, mayormente localizados en las serranías.

Figura 6.13.

Fueron relevadas durante los censos 113 llamas, 418 ovejas y 118 vicuñas, en una superficie aproximada de 930 ha. Las cargas no superaron la capacidad de carga ponderada (0,97 EO/ha, respecto a 1,33-1,58 EO/ha), Figura 6.14.

Figura 6.13. Ubicación del área relevada en las unidades productivas de Morritos, las unidades de vegetación relevadas, la superficie que ocupan en el área, su rango mínimo y máximo de capacidad de carga media y la capacidad de carga ponderada por la superficie (resaltada en gris).

Unidades productivas de Morritos

UV

- Bb en ped
- Bb+PA
- Bb+Toli
- Veg ribereña
- Vega

UV	Superficie	%	Ccmin	Ccmax	Ccmin*	Ccmax*
Vega	15,232	1,63	5,17	8,62	0,084	0,141
Bb+Toli	650,81	69,81	1,38	1,47	0,963	1,026
Bb+PA	199,965	21,45	1,12	1,6	0,240	0,343
Bb en ped	1,331	0,14	1,26	1,58	0,002	0,002
Veg ribereña	64,915	6,96	0,64	0,91	0,045	0,063
	932,25	100	1,914	2,836	1,33	1,58

*ponderado por % de superficie de la UV

Figura 6.14. Cargas animales en el área relevada de las unidades productivas de Morritos, expresadas en equivalente oveja (EO) para la superficie del potrero. Líneas azules indican capacidad de carga máxima y mínima ponderada por la superficie de cada UV presente en el campo * Mayor número de vicuñas relevadas durante las dos estaciones.

Unidades productivas localizadas en Puesto Grande

Son varios campos privados, algunos poseen alambrados en diverso estado de conservación, las superficies no son extensas, la superficie relevada fue de 1000 ha. La unidad de vegetación más extensa es la estepa de cangia (428.1 ha, 41.76%), Figura 6.15.

Figura 6.15. Ubicación del área relevada en las unidades productivas de Puesto Grande, las unidades de vegetación relevadas, la superficie que ocupan en el área, su rango mínimo y máximo de capacidad de carga media y la capacidad de carga ponderada por la superficie (resaltada en gris).

Los resultados de los censos indican que hay movimiento de animales entre campos de pastoreo, las mayores cargas fueron relevadas durante la estación seca (1120 ovejas, 657 llamas y 482 vicuñas), lo que indica movimiento de ganado a otros sectores del área durante la estación húmeda. Las cargas animales (2,39 EO/ha) superaron la capacidad de carga ponderada (1,45-1,73 EO/ha), respecto a 1,35-1,55 EO/ha, Figura 6.16.

Figura 6.16. Cargas animales en las unidades productivas localizadas en Puesto Grande, expresadas en equivalente oveja (EO) para la superficie del potrero. Líneas azules indican capacidad de carga máxima y mínima ponderada por la superficie de cada UV presente en el campo * Mayor número de vicuñas relevadas durante las dos estaciones.

Unidades productivas localizadas al sur de Puesto Grande

Son campos privados que se extienden en la dirección a la Laguna de Pozuelos (superando las 2000 ha), presentan alambrados altos para impedir el ingreso de las vicuñas, además realizan pastoreos rotativos entre los potreros. Las cargas ganaderas son elevadas, principalmente de ovinos.

Las densidades de vicuñas nunca superaron una unidad oveja/ha, aún en las unidades productivas donde la capacidad de carga se vio excedida por las cargas ganaderas (Tabla 6.1).

Tabla 6.1. Uso de las unidades productivas respecto a las cargas y su capacidad de carga, y densidad de vicuñas en cada. Recuadros en celeste indican que las cargas no superan la capacidad de carga mínima ponderada de la unidad, recuadros en rosa indican que se supera la capacidad de carga mínima ponderada y en naranja indican que se supera la capacidad de carga máxima ponderada.

Unidad productiva	CC min (EO/ha)	Carga total (EO/ha)	CC max (EO/ha)	Densidad vicuñas (EO/ha)	Vicuñas (EO)	Sup (ha)
U1	1,5	1,74	1,87	0,172	85	495,16
U2-N	1,09	1,11	1,33	0,032	22,3	706
U2-C	1,8	3,40	2,5	0,214	59,8	280
U2 S	2,1	4,69	3,2	0,265	14,4	54,3
U3-N	1,0	0,77	1,27	0,088	144,4	1633
U3-SE	1,27	1,40	1,82	0,241	53,3	221
U3-SO	1,56	1,54	2,3	0,146	72,7	498
U4	1,56	1,51	1,98	0,213	128,2	601
Morritos	1,33	0,97	1,58	0,138	128,2	932
Pto grande	1,45	2,39	1,73	0,376	385,2	1025

- **Desertificación**

Los niveles de degradación de suelo y vegetación variaron de acuerdo a las características fisiográficas y de manejo en cada unidad de vegetación, los indicadores relevados se detallan en la Tabla 6.2. Algunos de los síntomas se muestran en la Tabla 6.3.

Tabla 6.2. Indicadores de degradación de las tierras, relevados por unidad de vegetación y unidad ambiental.

Unidad ambiental	Unidad de vegetación	Indicadores relevados
Sierras Occidentales	Estepas de Bb+Toli y Bb+PA	<ul style="list-style-type: none"> • La cobertura del estrato alto en la unidad Bb+Toli fue de 25,6-31,7% durante la estación seca y húmeda, respectivamente, mientras que la unidad Bb+PA presentó valores de 15.71-20% (Tabla 3.6), evidenciando una degradación moderada de la cobertura vegetal perenne, fueron registrados numerosos arbustos en montículos. • El porcentaje de arena (57,9%, registrado en la unidad Bb+PA, Tabla 3.8) indica un riesgo de erosión eólica alto. • Los valores bajos de pH y CE (Tabla 3.7) indican que no estarían desarrollándose procesos de salinización ni alcalinización de los suelos. • Los rebaños encontrados durante los censos no son numerosos. Considerando la gran extensión de la superficie (1093,99 ha entre las dos unidades), las cargas animales pueden ser consideradas bajas. Sin embargo, teniendo en cuenta la heterogeneidad del relieve de las serranías, la presión ganadera se concentra en

		las cercanías de los cursos de agua y en las zonas de fondo de los pequeños valles, donde la cobertura vegetal es mayor.
Pedemonte	Bb en pedemonte	<ul style="list-style-type: none"> • Presentó niveles de cobertura del estrato alto de 20-22,5% (ES-EH) (Tabla 3.6), indicando degradación moderada de la cobertura vegetal perenne. • Recibe el agua de esorrentía de las serranías, provocando la generación de surcos y cárcavas, lo cual se vería influenciado por bajos niveles de cobertura. • No se evidenciaron síntomas de degradación eólica. • Los niveles de pH y CE reflejan ausencia de síntomas de salinización y alcalinización (Tabla 3.7). • La carga animal en el sector norte de la unidad es mayor a 1 EO/ha, por lo que se considera que estarían alcanzando y aun superando su capacidad de carga.
Pedemonte	Peladar	<ul style="list-style-type: none"> • El estrato alto se encuentra ausente en esta unidad, mientras que el estrato bajo mostro un rango de variación de 41,7-78,5%(Tabla 3.6), durante la estación seca además se registraron numerosos parches de suelo desnudo. • Se registraron numerosos surcos y cárcavas, en particular en zonas con escasa o nula cobertura vegetal, lo cual evidencia síntomas de erosión hídrica.

		<ul style="list-style-type: none"> • El porcentaje de arena indica riesgo moderado de erosión eólica (Tabla 3.8). • Los valores analíticos no reflejan síntomas de salinización ni de alcalinización (Tabla 3.7). • La elevada presión ganadera en las unidades productivas analizadas anteriormente, y que ocupan gran parte de esta unidad, indicaría que las cargas superan su capacidad de carga.
Paleolaguna	Chillagual-Tola+Chill	<ul style="list-style-type: none"> • La cobertura del estrato alto varió entre 18.85-26.4% en los chillaguales y entre 31,43-35% en Tola+Chill, aunque la cobertura del estrato bajo fue siempre superior al 50%, asegurando una cobertura total elevada durante todo el año (Tabla 3.6). • Fueron registraron escasos síntomas de erosión hídrica (surcos y cárcavas). • El porcentaje de arena no superó en las dos unidades el 25%, por lo que el riesgo de erosión eólica es muy bajo (Tabla 3.8). • El pH levemente ácido en ambas se relacionaría con deficiencias en el drenaje (Tabla 3.7). Los valores de CE menores a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indican niveles leves de salinización. • Las dos unidades son consideradas de alto valor forrajero, siendo utilizado también el chillagual como reserva de forraje durante la estación seca. Suelen presentar cargas ganaderas muy altas en los predios analizados, donde se supera la capacidad de carga, considerando que ocupan una superficie

relativamente escasa (274.78 y 86.45 ha) en el área de estudio.

Pedemonte	Estepa de cangia	<ul style="list-style-type: none"> • Presentó valores de cobertura del estrato alto de 19,6-24,1% (Tabla 3.6), mientras que el estrato bajo mostró valores medios de alrededor de 50%, se observaron también parches de suelo desnudo. • Fueron registradas numerosas plantas en montículos, indicando erosión hídrica. • El porcentaje de arena superior al 50%, junto con la cobertura escasa durante la estación seca indican un riesgo de erosión eólica alto (Tabla 3.8). • No se encontraron indicios de alcalinización ni salinización (Tabla 3.7). • Las cargas ganaderas en la unidad fueron variables, aunque se evidenciaron síntomas como plantas del estrato alto muy consumidas, indicando que se estaría cerca del límite de capacidad de carga. Probablemente, la presión de pastoreo más alta esté asociada a las zonas de transición con las unidades de mejor calidad forrajera (como chillaguales, tolares y peladares) debido a la escasez de estrato bajo durante la estación seca.
Paleolaguna	Tolares	<ul style="list-style-type: none"> • Esta unidad presentó los mayores valores de cobertura del estrato alto (35,8-38,3%), junto a una cobertura del estrato bajo superior al 50% (Tabla 3.6). Estos niveles disminuyen el riesgo de

erosión tanto hídrica como eólica (además el porcentaje de arenas es muy bajo).

- Durante la estación húmeda, los anegamientos son frecuentes.
- El pH levemente ácido indicaría deficiencias en el drenaje, mientras que no hay síntomas de salinización (Tabla 3.7).
- Las cargas ganaderas fueron elevadas y superiores a la capacidad de carga en los predios donde se encuentra esta unidad.

Paleolaguna	Vegetación ribereña	<ul style="list-style-type: none"> • Presentan heterogeneidad en la cobertura del estrato alto, sólo la estepa de <i>Ocypoe armata</i> alcanzó el 50%, aunque la cobertura del estrato bajo es muy escasa o nula durante la estación seca, particularmente en los esporales (Tabla 3.6). • Durante la estación húmeda, la erosión hídrica es elevada debido a la influencia del río Santa Catalina, cuyas crecidas pueden aumentar considerablemente el caudal de agua y la presión sobre las orillas. • La escasa cobertura durante la estación seca y los altos porcentajes de arena (75,8%), aumentan el riesgo de erosión eólica (Tabla 3.8). • No se encontraron indicios de salinización ni de alcalinización (Tabla 3.7). • Los bajos niveles de cobertura y biomasa durante la estación seca, indicarían presiones
--------------------	---------------------	---

ganaderas elevadas, teniendo en cuenta la baja capacidad de carga de esta unidad.

Vegas

- Las vegas se localizaron tanto en los valles de las serranías, como en áreas deprimidas del pedemonte.
- Presentaron niveles bajos de cobertura del estrato alto de (8,13-10%), aunque la cobertura del estrato bajo fue superior al 50% (58,8-83,7%) (Tabla 3.6). Sin embargo, presentó numerosos parches de suelo desnudo durante la estación seca, asociados a numerosos síntomas de erosión hídrica, particularmente cárcavas de gran tamaño.
- El porcentaje de arena superior al 50% reflejaría un riesgo alto de erosión eólica, sin embargo, los niveles de cobertura disminuyen ese riesgo (Tabla 3.8).
- Los niveles de pH estarían indicando procesos de acidificación, mientras que los niveles de salinidad son leves (Tabla 3.7).
- Las diferencias entre la cobertura y biomasa de la estación seca y la húmeda, indican que esta unidad es la más pastoreada en el área de estudio, consecuencia de cargas ganaderas elevadas.

Tabla 6.3. Imágenes de síntomas de degradación por unidad de vegetación.

Cárcavas en
vega, estación
seca

Vega

Agua de
escorrentía en
vega durante
estación
húmeda

Bb+Toli

Estación seca,
escasez de
cobertura

Peladar

Estación seca,
parches de
suelo desnudo

Planta (*Ademia*
sp.) consumida

Estepa de cangia

Estación seca,
escaso estrato
bajo.

Plantas muy
consumidas por
los animales,
restos vegetales
retenidos por
plantas del
estrato alto

Plantas consumidas, escasez de cobertura del estrato bajo y plantas en montículos

Diferencia de composición de especies y cobertura vegetal a ambos lados de alambrado

Bb en ped

Estación seca. Parches de suelo desnudo, plantas consumidas

Estación
húmeda,
cárcava,

Vegrib

Erosión eólica

Plantas
consumidas
(estrato bajo y
alto)

Desaparición
del estrato bajo
durante
estación seca.

Vegetación
quemada para
ahuyentar
predadores

- **Discusión**

Los resultados del análisis y caracterización del manejo ganadero en la zona de Santa Catalina concuerdan con la información publicada para la Puna jujeña (Göbel, 2002; Paz et al., 2011; Bergesio et al., 2016), siendo las problemáticas más relevantes para los productores locales el acceso a aguadas y la disponibilidad de forraje para el ganado durante la estación seca. Además, la tenencia de la tierra también surge como una problemática relevante particularmente para la comunidad aborígen presente en el área de estudio (Bergesio et al., 2016).

Las dificultades provocadas por la sequía durante los años 2015 a 2016, reflejan la importancia de las condiciones climáticas para regular la producción forrajera y en consecuencia la ganadera (Genin & Alzérreca, 2006). Las unidades productivas pertenecientes a la cooperativa tuvieron numerosas pérdidas de ganado a causa de la escasez de agua y forraje, viéndose obligados a disminuir las cargas para evitar mermas mayores. Esta situación fue generalizada para toda la región puneña de Jujuy, que provocó pérdidas importantes para los pequeños productores (Anexo Capítulo VI). Sin embargo, esto permitió adecuar las cargas en función de la disponibilidad de forraje y agua, y la disminución de carga animal será propicia para la recuperación de la vegetación cuando se inicie nuevamente la temporada de lluvias.

Las cargas animales estuvieron cercanas en general, a la capacidad de carga media estimada para las unidades de vegetación de la zona, siendo en algunos casos muy superior a la misma. Esto se manifiesta particularmente en las unidades con capacidad productiva elevada, como los peladares y las vegas, pero con escasa o nula presencia de estrato alto, que manifiestan diversos síntomas de erosión, como extensos parches de suelo desnudo (Braun Wilke & Guzmán, 2003; Navone et al., 2006; Lupo et al., 2008), y amplias diferencias entre la cobertura de la estación seca y húmeda. En el caso de los peladares, además, ello se vio también en niveles muy bajos de materia orgánica total en el suelo. Se especula que esta unidad sería una transición degradada del chillagual, dado el contacto presente con dicha unidad y la información aportada por los pobladores encuestados. Las unidades con

capacidades de carga elevadas pero con presencia de estrato alto, también registraron excesos de cargas ganaderas, pero no mostraron muchos indicios de degradación (Tabla 6.3). Las cargas ganaderas son un indicador útil para análisis a escala local, porque permiten identificar los sitios con mayor presión de pastoreo (Cingolani et al., 2008), que en el área demostró ser heterogénea, lo cual probablemente permitió la existencia de sitios menos pastoreados.

La especie que contribuyó a la mayor proporción de las cargas ganaderas fueron los ovinos, seguidos por las llamas y por último, las vicuñas. En casi la totalidad de las unidades productivas donde la capacidad de carga fue excedida, solamente con las cargas de ganado se superaba ese valor (sin considerar las cargas de vicuñas). Es importante destacar que en el caso de la planificación de las cargas animales, resulta relevante hacerlo en función de la especie de ganado que se estará manejando. Esto se debe a que los ovinos consumen una proporción mucho menor de biomasa de las especies del estrato alto respecto a las llamas, lo cual implicaría que el valor de capacidad de carga mínima (estimado según lo desarrollado en el Capítulo V) es un mejor indicador de la capacidad de carga de las unidades de vegetación respecto al valor de capacidad de carga máxima. Asimismo, en los casos de rebaños mixtos, el valor de capacidad de carga adecuado sería el máximo. Las cargas de vicuñas nunca alcanzaron una unidad oveja/ha, siendo las cantidades de animales muy inferiores respecto al ganado.

Los productores que forman parte de la cooperativa, presentaron un manejo similar en cuanto a los movimientos de animales y las mayores cargas en las unidades más productivas. Este manejo se diferenció de los campos de la comunidad aborígen de Morritos, los cuales además se localizaron principalmente en las serranías, contando como unidades más productivas a las vegas, y concentrando la presión ganadera sobre ellas. Sería particularmente interesante analizar y comparar el manejo comunal respecto al cooperativo, profundizando en las diferentes estrategias para definir los sitios y tiempos de pastoreo que realiza cada familia en la comunidad, que les permiten aprovechar el forraje disponible, teniendo en cuenta que la mayor parte de la superficie está ocupada por unidades de vegetación con

capacidades de carga moderadas y bajas. En cuanto a la cooperativa, sería recomendable aprovechar la disminución de las cargas que los productores han realizado como principal criterio de manejo en respuesta a las sequías y establecer cargas adecuadas en función de la capacidad de carga global de cada potrero, para maximizar la disponibilidad de forraje sin provocar un deterioro de la vegetación y del suelo. Entre las prácticas que podrían implementarse en la zona, se destaca el ingreso de los animales a los potreros cuando la vegetación (particularmente las especies de mayor valor forrajero) inicia el período de crecimiento (Stoddart & Smith, 1955; Noy-Meir, 1975) y de ser posible, de fructificación, para asegurar la supervivencia de las plantas y del banco de semillas en el suelo.

Los resultados indican que en el área de estudio existen algunos indicios de desertificación y la presión ganadera estaría ejerciendo un efecto degradatorio sobre la vegetación y los suelos, pero de forma espacialmente heterogénea, concentrándose en las unidades de vegetación con mayor capacidad productiva. Los ambientes con escasa cobertura de estrato alto, elevadas cargas ganaderas y niveles bajos de cobertura vegetal durante la estación seca, son los que mostraron los mayores síntomas de degradación.

Respecto a los herbívoros silvestres como la vicuña, diversos estudios describen una segregación espacial y/o temporal según la disponibilidad de recursos, la presencia de ganado y/o el disturbio antrópico (Renaudeau d'Arc et al., 2000; Arzamendia et al., 2006; Borgnia et al., 2008, 2010; Arzamendia & Vilá, 2015). En este estudio, si bien mostraron preferencia por parcelas dominadas por gramíneas bajas, las vicuñas fueron excluidas o se mantienen en bajas densidades en el parche preferido, cuando la presión de pastoreo es intensa y la capacidad de carga ha sido superada por el ganado. Cuando la capacidad de carga no ha sido sobrepasada, las vicuñas pastorean donde hay mayor cobertura de gramíneas (Arzamendia et al., 2006; Arzamendia & Vilá, 2015). Estos resultados demuestran, además que las vicuñas del área, tienen todavía posibilidades de crecimiento en algunos sectores, aun con las cargas y manejo actual.

Es necesario profundizar sobre la interacción entre herbivoría y vegetación durante ciclos húmedos y secos, a fin de caracterizar más precisamente las consecuencias del pastoreo en función de las variaciones climáticas.

ANEXO CAPÍTULO VI

JUJUY
SALTA
SECCIONES
DEPORTES
PUNA JUJEÑA
SEQUÍA ([HTTP://WWW.ELTRIBUNO.INFO/SEQUIA-A12665](http://www.eltribuno.info/sequia-A12665)) |
PROYECTOS DE ASISTENCIA A PRODUCTORES
A66524)
CUENCA DE POZUELOS ([HTTP://WWW.ELTRIBUNO.INFO/CUENCA-POZUELOS-A48002](http://www.eltribuno.info/cuenca-pozuelos-A48002)) |
PROYECTO DE FORTALECIMIENTO A PEQUEÑOS PRODUCTORES ([HTTP://WWW.ELTRIBUNO.INFO/PROYECTO-FORTALECIMIENTO-PEQUEÑOS-PRODUCTORES-A66525](http://www.eltribuno.info/proyecto-fortalecimiento-pequenos-productores-A66525))

Ayuda de Nación a productores de la Puna por la sequía

26 DE AGOSTO 2016 El objetivo es fortalecer la capacidad productiva de los productores de la Codepo.

LA AYUDA FAVORECERÁ A LOS PRODUCTORES AFECTADOS POR LA SEQUÍA

LA QUIACA (Corresponsal). La SEQUÍA ([HTTP://WWW.ELTRIBUNO.INFO/SEQUIA-A12665](http://www.eltribuno.info/sequia-A12665)) no da tregua en la PUNA JUJEÑA ([HTTP://WWW.ELTRIBUNO.INFO/PUNA-JUJENA-A8173](http://www.eltribuno.info/puna-jujena-A8173)) y la situación es delicada, por lo tanto desde Nación impulsan

PROYECTOS DE ASISTENCIA A PRODUCTORES ([HTTP://WWW.ELTRIBUNO.INFO/PROYECTO-FORTALECIMIENTO-PEQUEÑOS-PRODUCTORES-A66525](http://www.eltribuno.info/proyecto-fortalecimiento-pequenos-productores-A66525)) de la CUENCA DE POZUELOS ([HTTP://WWW.ELTRIBUNO.INFO/CUENCA-POZUELOS-A48002](http://www.eltribuno.info/cuenca-pozuelos-A48002))

En ese marco funcionarios del Ministerio de Agroindustria de la Nación fueron recibidos por el director de Asuntos Municipales, Diego Rotela, para avanzar en la puesta en marcha del proyecto de fortalecimiento a pequeños productores de la cuenca de Pozuelos.

El director nacional de Emergencias y Desastres Agropecuarios, Javier Caniggia Bengolea y su par de Relaciones con Provincias, Municipios y Ongs, Augusto Gherardi Arbizu, se reunieron con Diego Rotela, actual interventor de la Corporación para el Desarrollo de la Cuenca de Pozuelos (Codepo), a fin de articular acciones y avanzar en la concreción del programa que asista a productores integrantes de la Codepo.

"La idea es fortalecer la capacidad productiva de los productores perjudicados por la sequía en la Puna mediante la construcción de pozos de agua. A la vez, se buscará agilizar la provisión de agua destinada a los campos y el ganado a través de la distribución de la misma en camiones cisternas y su depósito en tanques de 10 y 50 mil litros, estratégicamente ubicados" explicaron.

Por otro lado Bengolea añadió "el proyecto está enmarcado en la Ley 26.509 que contempla el cuidado de la agricultura familiar en zonas castigadas por la sequía, como lo que está ocurriendo en estos últimos años en la Puna. Con esto queremos lograr que 700 productores que están nucleados en la cuenca y tengan mayores herramientas para defenderse ante estos tipos de evento" señaló.

En tanto los funcionarios nacionales junto a Rotela recorrieron la zona de la cuenca de Pozuelos para conocer in situ la realidad de los productores y así cerrar el proyecto para su inmediata aplicación

Cabe mencionar la nueva autoridad de la Codepo tiene por delante el desafío de resolver cuestiones estructurales que viene arrastrando hace tiempo, como por ejemplo la falta de una cadena de comercialización, falta de habilitación en el matadero que se comenzó hace 12 años y la transparencia en el manejo de los fondos públicos.

En tanto la nueva gestión busca tener mayor presencia en el territorio y comenzar a trabajar en este momento no solo en la contingencia por la sequía con la descarga de los campos por parte de los productores, sino realizar un plan serio y diversificar la producción de la Codepo.

AFIRMÓ EL SECRETARIO FÉLIX PÉREZ

La sequía en el Norte es tema prioritario en la agenda oficial

El secretario de Coordinación de Agencias de Desarrollo, Félix Pérez, encabezó junto a su equipo técnico, un importante recorrido por las regiones de Puna y Quebrada para observar los trabajos que se están llevando adelante para paliar los graves problemas de sequías que existen en la zona.

Compartir (<http://www.addthis.com/bookmark.php?v=250&pub=vertebrac>)

El secretario de Coordinación de Agencias de Desarrollo, Félix Pérez, encabezó junto a su equipo técnico, un importante recorrido por las regiones de Puna y Quebrada para observar los trabajos que se están llevando adelante para paliar los graves problemas de sequías que existen en la zona.

"Recorrimos distintos lugares, para ver las máquinas que están trabajando en el anillado de la Cuenca de Pozuelos. También visitamos Mina Pan de Azúcar, Santo Domingo, Pozuelos y Rinconada", explicó Pérez, funcionario de la órbita del Ministerio de Desarrollo Económico y Producción que encabeza Juan Carlos Abud Robles. De la misma manera el Secretario ministerial informó que se envió máquinas a distintos puntos del interior, para la limpieza de las aguadas y la recuperación de los pozos que estuvieron abandonados durante años y simultáneamente se brindó a los productores y a las comunidades información referida a los créditos, de hasta 100.000 pesos a los que pueden acceder.

En tal sentido Pérez recordó que "nuestro Gobernador hace tiempo empezó a anunciar los créditos para las personas afectadas por factores climáticos".

Por otra parte, el funcionario hizo particular referencia a que durante el recorrido se identificó todos los pozos perforados hasta 40 o 60 metros de profundidad, detectando 22, de los cuales varios pueden ser recuperados.

Durante la visita mantuvieron dos reuniones, una en Rodeo y otra en Puesto Grande, para tratar las necesidades de estas comunidades. Pérez añadió que "ya está previsto que la próxima semana lleguen las maquinarias a Rodeo para trabajar en la limpieza de las aguadas y la recuperación de las aguas del río".

"En Puesto Grande ya se habilitó un pozo perforado, que fue reparado y ahora vamos a subsanar el tanque australiano y los bebederos, para que la gente pueda acceder a ese lugar", manifestó.

Actualmente se encuentran trabajando maquinarias en Huancar y Olaroz, donde la comunidad y la comisión municipal están encargadas de la fiscalización del trabajo para garantizar la transparencia en la utilización de este recurso.

En cuanto a la asistencia a lugares de difícil acceso, resaltó también que es prioridad de la cartera ministerial la asistencia en los lugares donde las maquinarias no pueden llegar por dificultades en los caminos de acceso. "Se está llevando adelante la coordinación con las comisiones municipales para que estos trabajos se hagan a pico y pala, asistiendo con jornales y buscando preservar los lugares de las aguadas y las vertientes", explicó Pérez.

Destacó por último, las capacitaciones y charlas que se realizan con las comunidades para generar concientización responsabilidad en el uso de este importante recurso.

QUE PASA JUJUY.COM.AR

EL DIARIO DIGITAL DE TODOS LOS JUJEÑOS

(home.aspx)

(<https://www.facebook.com/pages/Que-Pasa-Salta-Qps/126123414129628?ref=hl>)

(<https://twitter.com/QuePasaSalta>)

(<https://plus.google.com/102628192295137831991>)

MENU ≡

#ALERTA 23/05/2016

La sequía no da tregua en la Puna jujeña

Desde la Comisión Municipal de Puesto del Marqués presentaron notas a las autoridades pidiendo por su intervención ante la emergencia que están atravesando.

1 [Comentarios](#)

Facebook (<https://www.facebook.com/sharer/sharer.php?s=100&p%5Burl%5D=http%3A%2F%2Fwww.quepasajuju.com.ar%2F5935->)

Twitter (<https://twitter.com/intent/tweet?url=http://www.quepasajuju.com.ar/5935->)

Google + (<https://plus.google.com/share?hl=en&url=http://www.quepasajuju.com.ar/5935->)

[Enviar por mail](#)

Así lo destacó el Vocal Florencio Erazo, quien expresó la necesidad de una solución rápida, ya que las bajas precipitaciones en la Puna durante este año produjeron un impacto negativo en la producción de la zona, como también en el medio de vida de la población.

“Es muy necesaria el agua, no solo para Puesto del Marqués sino para toda la Puna porque la sequía que tenemos es mucha. Presentamos un proyecto para que vengan los técnicos y nos puedan hacer más aguadas, pero la respuesta debe ser inmediata, no nos sirve si pasa el tiempo, los animales se nos mueren y los productores viven de eso” resaltó el Vocal Erazo.

Por su parte, un productor de Pumahuasi, indicó que la problemática hídrica viene desde el año 2014, afectando principalmente a las pasturas y a los animales, pero también el día a día de la comunidad.

“Esto comenzó hace dos años atrás, afectando sobre todo al pasto, en el 2015 no llovió directamente y eso nos trajo problemas con los animales, pero también a la población porque no hay agua, algo que es tan importante para vivir” resaltó el productor.

Además, indicó que se gestionó ante el Gobierno Provincial la entrega de maíz y alfalfa.

X

Capítulo VII

Discusión y conclusiones

En este trabajo de tesis se analizaron diversos aspectos de los sistemas pastoriles puneños, localizados en un sector de la cuenca de la Laguna de Pozuelos, en la provincia de Jujuy.

Se considera que este trabajo realiza aportes en las siguientes líneas:

- 1) Descripción de la vegetación y suelos del área con utilización de técnicas de cartografía y procesamiento digitales
- 2) Una metodología para la estimación de la biomasa con modelos predictivos
- 3) Un acercamiento novedoso y más preciso al cálculo de la capacidad de carga
- 4) Una verificación a campo de los puntos anteriores.

1) Descripción de la vegetación y suelos del área con utilización de técnicas de cartografía y procesamiento digitales: se llevaron a cabo estudios de base, que describieron por primera vez la vegetación del área con los parámetros “clásicos” del estudio de las comunidades vegetales: cobertura, biomasa, productividad y distribución espacial.

La vegetación mostró un patrón de distribución espacial heterogéneo en la composición de especies, cobertura y productividad, asociado a la geomorfología y propiedades de suelos, lo que concuerda con otros estudios similares (Cabrera, 1957, 1968; Ruthsatz & Movia, 1975). La vegetación, además, mostró indicios de estar afectada por el pastoreo del ganado, el que también presentó una marcada variabilidad espacial. Estos resultados son consistentes con la primera hipótesis de esta tesis: La estructura y composición de la vegetación y su dinámica temporal responden a factores topográficos y edáficos así como a los herbívoros presentes.

El área del presente estudio comprendió tres de las cuatro unidades ambientales descritas para el área norte de la cuenca: Sierras Occidentales, Piedemonte y Peleolaguna (Cendrero et al., 1993), por lo que puede considerarse representativa del gradiente altitudinal de la cuenca.

En el estudio de las unidades de vegetación relacionadas con cursos de agua se puede destacar que en el área de Paleolaguna, la heterogeneidad en los parches de vegetación (alternados con cauces de río y suelo desnudo) fue mayor que en el resto del área de estudio, indicando una posible interacción entre la dinámica de los cursos de agua y el uso del suelo, interesante tema para futuras investigaciones.

Otra unidad asociada a la disponibilidad de agua y de importancia como humedal es la vega, que interviene en los regímenes hídricos locales (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2010; Observatorio Nacional de Biodiversidad, 2014). Las propiedades de las vegas estudiadas en esta tesis son consistentes con lo publicado con anterioridad (Cabrera, 1957, 1968, 1971; Ruthsatz & Movia, 1975; Borgnia et al., 2006), y muestran su importancia para la conservación de la biodiversidad en la Puna. Sin embargo son unidades de intenso uso ganadero y muestran indicios de sobrepastoreo, aunque, según este estudio, en el área de trabajo, aún mantienen altos niveles de productividad, evidenciando un elevado grado de resiliencia.

En forma similar a las vegas, las unidades de vegetación que presentaron también los mayores valores de cobertura y productividad fueron los chillaguales (comunidades dominadas por *F. crysophylla*). Estos pastizales tienen una gran importancia forrajera (especialmente en momentos de escasez) y sorprendentemente no han sido analizados en la bibliografía de la región con gran profundidad. Presentan características muy valiosas desde el punto de vista del pastoreo, tales como su elevada cobertura total durante la estación seca (que es el momento de constricción ambiental) y su función protectora sobre el estrato bajo.

Algunos de los campos estudiados con presencia de chillaguales muestran cierto grado de sobrepastoreo debido principalmente a que se lo usa como reservorio de forraje para el fin de la temporada seca con una gran carga ovina (Figura 7.1)

Figura 7.1. Chillaguas consumidas por llama en la temporada húmeda.

Los dos estratos típicos de la vegetación puneña (alto y bajo) en estepas y pastizales contribuyen a la conservación del suelo evitando la desertificación y mitigando los efectos erosivos del viento y el agua de escorrentía. Esta “protección” ya se señaló para los tolares (Genin & Alzérreca, 2006), pero este trabajo demuestra que este efecto sería similar en todas las unidades con estrato alto, independientemente de las especies que lo conforman. Además, el consumo del estrato alto fue frecuente (en particular durante la estación seca) concordando con lo publicado sobre dieta de herbívoros domésticos y silvestres en la región (Genin et al., 1994, 1995a; Borgnia et al., 2010),

La Puna tiene marcada estacionalidad, con dos períodos bien diferenciados: la estación húmeda (verano-principios de otoño) y la estación seca (fines de otoño-invierno-primavera). Algunas unidades de vegetación son más sensibles y muestran más cambios, tanto de origen climático como a consecuencia del pastoreo. Las dos unidades que mostraron mayor respuesta a la estacionalidad climática fueron las

vegas y los peladares. En estos casos la gran variación de biomasa reflejó el sobrepastoreo en estas dos unidades, con consumos superiores al 50% de la biomasa, que sumados a que el estrato bajo está dominado por gramíneas anuales, mostraron también diversos síntomas de degradación.

Se hipotetiza que los peladares han sido chillaguales que en la actualidad se encuentran degradados, teniendo en cuenta que se localizaron en áreas de relieve y suelos similares, y frecuentemente estas unidades se encontraron lindantes en el terreno.

Las estepas de cangia han sido descritas como resultantes de la colonización de cangia en comunidades vegetales degradadas (Alzérreca et al., 2003; Genin & Alzérreca, 2006; Catorci et al., 2013). En esta tesis se señala que cangia presenta características que permiten considerarla como una especie resistente al pastoreo, consistentes con los resultados obtenidos por Catorzi et al. (2013) y Genin & Alzérreca (2006), Figura 7.2.

Sin embargo, si bien la cangia constituye un recurso forrajero de “emergencia” (Alzérreca et al., 2003), tanto para herbívoros silvestres como domésticos, estas estepas presentaron valores de productividad bajos, lo que disminuye la capacidad de carga promedio del área. Además son recursos subutilizados por herbívoros domésticos y silvestres cuando hay disponibilidad de otras comunidades vegetales que contienen mayor proporción de gramíneas (Arzamendia et al. 2006).

Figura 7.2. a: llamas pastoreando en la estepa de cangia. b: vicuñas pastoreando en la estepa de cangia. Fotografías: Silvina Enrietti.

Los resultados de esta tesis sugieren que las medidas de conservación en el área deberían estar orientadas a disminuir las cargas en las unidades más productivas (vegas, chillaguales y peladares), al menos durante la estación seca e inicios de la estación húmeda para permitir el rebrote de las plantas, como es sugerido para otras zonas áridas (Noy-Meir, 1975).

2) Una metodología para la estimación de la biomasa con modelos predictivos

Con el desarrollo de modelos predictivos de biomasa utilizando variables de fácil medición de parámetros morfológicos de las plantas, de ahora en más, al menos para la zona de trabajo, se podrá profundizar en el estudio de la vegetación, reduciendo los recursos necesarios y por lo tanto pudiendo amplificar el muestreo, incrementando el número de puntos, de modo tal de aumentar la precisión y mejorar el análisis de la variabilidad espacial en futuros estudios. Cuando se compara con otros modelos para zonas áridas (Flombaum & Sala, 2007), el que se presenta en esta tesis muestra un mejor ajuste ya que ha sido diseñado específicamente. Con el desarrollo de estos modelos se confirma la quinta hipótesis que indica que la biomasa de las especies de mayor tamaño individual (pastos cespitosos y arbustos) presentan relación directa con otras variables mensurables de las plantas, pudiendo ser modelada mediante ecuaciones matemáticas.

3) Un acercamiento novedoso y más preciso al cálculo de la capacidad de carga

En el análisis bibliográfico realizado para la redacción de esta tesis, se encontró que tanto el marco conceptual como la estimación de la capacidad de carga estaban generalmente poco detallados y se basaban en indicadores de baja precisión, al menos en los estudios del área andina, donde se extrapolaban trabajos de otros continentes y ecosistemas (Rabinovich et al., 1991; Alzérreca et al., 2003). En esta tesis se intenta un acercamiento novedoso desde el marco de la herbívora como una relación ecológica de predador-presa y realizando un cálculo más preciso en función de la dinámica puntual de la vegetación puneña, la que tiene claramente un pulso de crecimiento sólo en la época lluviosa. Además se analiza la presencia real de las cargas animales en las distintas unidades de vegetación y se comprueban la segunda y tercera hipótesis de trabajo de esta tesis ya que se encontró que los

patrones de distribución del pastoreo por parte de los herbívoros variaron en función de las características de los recursos forrajeros disponibles y del manejo ganadero. Además la capacidad de carga presentó una elevada variabilidad en función de características intrínsecas de las especies dominantes en cada una de las unidades de vegetación y sus cambios en la biomasa vegetal en función de los recursos disponibles (agua y nutrientes), dependientes de los factores climáticos.

4) Una verificación a campo de los puntos anteriores

Esta tesis muestra que si bien existen indicios claros de degradación de las tierras, esta situación es muy heterogénea y depende de varios factores ecológicos y antrópicos. Por lo tanto es imprescindible el acercamiento interdisciplinario para el estudio de los sistemas pastoriles puneños que incluyen ganado camélido tradicional de llamas, ganado introducido, principalmente ovinos, y vicuñas silvestres. Estos estudios, como ya se ha señalado, deben integrar conocimientos de diversas ciencias, incorporando además los saberes locales (Genin et al., 1995b; Vilá, 2014). En esta sección de la tesis se analizó y comprobó la cuarta hipótesis presentada, ya que las distintas unidades de vegetación presentaron diferentes grados de desertificación, dependiendo del tipo de suelo, composición de especies, cobertura vegetal, relieve y cargas ganaderas.

La fuerte influencia del clima en la región, con períodos de sequías que ocurren al menos cada ocho años (Tecchi, 1991), obliga a los pobladores a tomar drásticas medidas de manejo ganadero. En la actualidad, debido a una sequía intensa los productores han bajado su carga de ovinos principalmente. Los resultados de esta tesis doctoral, pueden ser insumos para un asesoramiento técnico a las comunidades locales, de modo tal de manejar los campos dentro de las posibilidades de producción sin llegar a situaciones de degradación. De hecho, el equipo de trabajo ha sido convocado para tratar el tema del manejo de la vegetación, desde una comunidad aborígen (Athu Saphi, de Morritos) en Santa Catalina, una actividad planificada para el primer semestre de 2017.

Claramente lo que ocurre ambientalmente en el área es un momento/espacio en un campo multidimensional que incluye la historia ambiental, la política regional,

provincial y nacional en relación a los productos del área, la cosmovisión de los pueblos originarios y los desarrollos de capacitaciones y tecnologías de diversos actores de los sistemas de asesoramiento productivo.

La composición específica de los herbívoros que pastorean el área responde a los factores antes enunciados. Aunque la información estadística es escasa, los últimos datos publicados del Censo Nacional Agropecuario del año 2008 muestran que el 70% de las llamas del país habitan en la puna jujeña. En existencias ganaderas en la Puna de Jujuy, el primer lugar es ocupado por ovinos con 284456 cabezas (el 55,04 %), lo siguen las llamas con 137532 cabezas (el 26,61 %), luego los caprinos con 15,30 %) y en último lugar los bovinos con 13066 cabezas (el 2,53 %) (Lamas, 2012). La producción de llamas ha aumentado a lo largo del tiempo. Comparando los tres últimos censos de Jujuy (1988, 2002 y 2008), se observa que las llamas han pasado de 97000 a 140000, incrementándose en 45%. Este resultado es alentador, ya que cualquier comparación entre estos años para otras producciones ganaderas demuestra una caída, notable en los ovinos que casi disminuyen a la mitad (Lamas, 2012)

Esta estrategia de disminución de ovinos es la que se propone en situaciones de escasez de vegetación, generada por distintas condiciones ambientales, ya sea climáticas y su interacción con factores físicos del terreno, como antrópicas.

A su vez, se propone como desafío para el desarrollo integral de la puna un nuevo paradigma productivo que incluya a las vicuñas como parte de un sistema multiespecífico, principalmente en el área de estudio donde esta especie es utilizada sustentablemente (Arzamendia & Vilá 2015).

Esta tesis doctoral desde el punto de vista de la vegetación, intenta ser un aporte de base para este nuevo paradigma.

Bibliografía citada

Abraham, E. M. (2003) Desertificación: bases conceptuales y metodológicas para la planificación y gestión. Aportes a la toma de decisión. Zonas Áridas, 7: 19- 68.

Abraham, E. (2006). Indicadores de desertificación para Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Ecuador y Perú. En Abraham, E. y G. Beekman (Eds.), Indicadores de la Desertificación para América del Sur: 189- 208, Mendoza, BID-IIICA.

Abraham, E. M., y Torres, L. M. (2007). Estado del arte en el uso de indicadores y puntos de referencia en la lucha contra la desertificación y la sequía en América Latina y el Caribe. Interciencia, 32, 827–833.

Acebes, P., Traba, J. & Malo, J. E. (2012). Co-occurrence and potential for competition between wild and domestic large herbivores in a South American desert. Journal of Arid Environments, 77(1), 39–44. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.09.003>

Aguiar, M. R. & Sala, O. E. (1999). Patch structure, dynamics and implications for the functioning of arid ecosystems. Trends in Ecology and Evolution, 14(7), 273–277. [http://doi.org/10.1016/S0169-5347\(99\)01612-2](http://doi.org/10.1016/S0169-5347(99)01612-2)

Allmendinger, R. W., Jordan, T. E., Kay, S. M. & Isacks, B. L. (1997). The Evolution of the Altiplano-Puna Plateau of the Central Andes. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 25(1), 139–174. <http://doi.org/10.1146/annurev.earth.25.1.139>

Alonso, R. N. & Viramonte, J. G. (1987). Geología y Metalogenia de la Puna. Estudios Geológicos, 43, 393–407.

Alzérreca, H. A., Prieto, G. C., Laura, J. C., Luna, D. C. & Laguna, S. B. (2001). Características y distribución de los bofedales en el ámbito boliviano. Informe final. La Paz, Bolivia.

Alzérreca, H. A., Prieto, G., Laura, J., Calle, P., Vargas, A. & Loza, F. (2003). Caracterización de tolares en sistemas pastoriles y agro pastoriles del ámbito boliviano del sistema Lago Titicaca, río Desaguadero lago Poopó y salar de Coipasa

(TDPS). En Centro de Investigación en Forrajes “La Violeta” (CIF-FCAyP-UMSS) (Ed.), III Congreso Mundial sobre camélidos y I Taller Internacional de DECAMA-Tomo 1 (pp. 423–438). Potosí, Bolivia.

Andrew, M., Noble, I. & Lange, R. (1976). A non-destructive method for estimating the weight of forage on shrubs. *The Rangeland Journal*, 1(3), 225–231. <http://doi.org/10.1071/RJ9790225>

Anze, V., Chiri, R. & Gonzaga, A. (2003). Soportabilidad de praderas en serranía y planicie durante dos épocas de pastoreo. En CIF, FCA, y P-UMSS (Eds.), *Memorias del III Congreso Mundial sobre Camélidos, 1er. Taller Internacional de DECAMA*. Potosí, Bolivia (pp. 445–450). Potosí, Bolivia.

Arzamendia, Y. & Vilá, B. L. (2006). Estudios etoecológicos de vicuñas en el marco de un plan de manejo sustentable: Cieneguillas, Jujuy. En B. L. Vilá (Ed.), *Investigación, conservación y manejo de vicuñas* (pp. 69–83). Buenos Aires: Proyecto MACS-Argentina.

Arzamendia, Y. & Vilá, B. L. (2015). *Vicugna* habitat use and interactions with domestic ungulates in Jujuy, Northwest Argentina. *Mammalia*, 79(3), 267–278. <http://doi.org/10.1515/mammalia-2013-0135>

Arzamendia, Y. (2008). Estudios etoecológicos de vicuñas (*Vicugna vicugna*) en relación a su manejo sostenido en silvestría en la Reserva de la Biosfera Laguna de Pozuelos (Jujuy, Argentina). Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Córdoba.

Arzamendia, Y., Baldo, J. & Vilá, B. L. (2012). Lineamientos para un Plan de Conservación y uso sustentable de vicuñas en Jujuy, Argentina. San Salvador de Jujuy, Argentina: EDIUNJU.

Arzamendia, Y., Baldo, J. & Vilá, B. L. (2014). Plan de manejo local: Conservación y uso sustentable de vicuñas silvestres (*Vicugna vicugna vicugna*) en campos de la Cooperativa de Productores Agroganaderos de Santa Catalina. Actividades programadas noviembre de 2014. Presentado a la Dirección de Biodiv.

Arzamendia, Y., Baldo, J. & Vilá, B. L. (2015). Informe de resultados: Plan de manejo local: Conservación y uso sustentable de vicuñas silvestres (*Vicugna vicugna*) en campos de la “Cooperativa de Productores Agroganaderos de Santa Catalina”. Informe de resultados actividades Noviembre 2014. Pre.

Arzamendia, Y., Baldo, J., Rojo, V., Samec, C. & Vilá, B. L. (2014). Manejo de vicuñas silvestres en Santa Catalina, Jujuy: investigadores y pobladores en búsqueda de la sustentabilidad y el buen vivir. Cuadernos Del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano - Series Especiales, N 2, Vol1, 8–23.

Arzamendia, Y., Bonacic, C. & Vilá, B. L. (2010). Behavioural and physiological consequences of capture for shearing of vicuñas in Argentina. Applied Animal Behaviour Science, 125(3–4), 163–170.
<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.applanim.2010.04.013>

Arzamendia, Y., Cassini, M. H. & Vilá, B. L. (2006). Habitat use by vicuña *Vicugna vicugna* in Laguna Pozuelos Reserve, Jujuy, Argentina. Oryx, 40(2), 1–6.
<http://doi.org/10.1017/S0030605306000639>

Assaeed, A. M. (1997). Estimation of biomass and utilization of three perennial range in Saudi Arabia. Journal of Arid Environments, (36), 103–111.

Baied, C. A. & Wheeler, J. C. (1993). Evolution of high Andean Puna ecosystems: environment, climate, and culture change over the last 12,000 years in the Central Andes. Mountain Research and Development, 13(2), 145–156.

Baigún, R. J., Bolkovic, M. L., Li Puma, M. C. & Scandalo, R. P. (2008). Primer Censo Nacional de Camélidos Silvestres al norte del Río Colorado, Manejo de Fauna Silvestre en la Argentina (1ra. ed.). Buenos Aires, Argentina: Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

Baldassini, P., Volante, J. N., Califano, L. M. & Paurelo, J. M. (2012). Caracterización regional de la estructura y de la productividad de la vegetación de la Puna mediante el uso de imágenes MODIS. Ecología Austral, 22, 22–32.

- Baldo, J., Arzamendia, Y. & Vilá, B. L. (2013). La vicuña. Manual para su conservación y uso sustentable (1ra. edición, Vol. 53). Buenos Aires, Argentina: CONICET - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F. & Huete, A. R. (1995). A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*, 13, 95–120.
- Baret, F., Guyot, G. & Major, D. J. (1989). TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation. 12th Canadian Symposium on Remote Sensing Geoscience and Remote Sensing Symposium, 3(2), 1355–1358. <http://doi.org/10.1109/IGARSS.1989.576128>
- Begon, M., Townsend, C. R. & Harper, J. L. (2006). *Ecology* (4th ed., Vol. 1). Blackwell Publishing. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bell, R. H. V. (1971). A grazing ecosystem in the Serengeti. *Scientific American*, 225(1), 86–93. <http://doi.org/10.1038/scientificamerican0771-86>
- Bergesio, L., Golovanevsky, L. & González, N. (2016). Propuestas para el estudio y caracterización de los pequeños productores agropecuarios de la Puna jujeña (Argentina). *Pilquen. Sección Ciencias Sociales*, 19(1), 13–28.
- Bianchi, A. R., Yañez, C. E. & Acuña, L. R. (2005). Bases de datos mensuales de precipitaciones del Noroeste Argentino. INTA SAGPyA.
- Bisigato, A. J. & Bertiller, M. B. (1997). Grazing effects on patchy dryland vegetation in northern Patagonia. *Journal of Arid Environments*, 36(4), 639–653. <http://doi.org/10.1006/jare.1996.0247>
- Bonaventura, S. M., Tecchi, R. & Vignale, D. (1995). The vegetation of the Puna Belt at Laguna de Pozuelos Biosphere Reserve in northwest Argentina. *Vegetatio*, (119), 23–31.
- Borgnia, M. (2008). Ecología espacial y alimentación de la vicuña (*Vicugna vicugna*): Interacciones con el ganado doméstico en la Reserva Laguna Blanca, Catamarca. Universidad Nacional de Luján.

- Borgnia, M., Maggi, A. M., Arriaga, M., Aued, B., Vilá, B. L. & Cassini, M. H. (2006). Caracterización de la vegetación en la Reserva de Biósfera Laguna Blanca (Catamarca, Argentina). *Ecología Austral*, (16), 29–45.
- Borgnia, M., Vilá, B. L. & Cassini, M. H. (2008). Interaction between wild camelids and livestock in an Andean semi-desert, 1–9. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.07.012>
- Borgnia, M., Vilá, B. L. & Cassini, M. H. (2010). Foraging ecology of Vicuña, *Vicugna vicugna*, in dry Puna of Argentina. *Small Ruminant Research*, 88, 44–53. <http://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.11.009>
- Bouyoucos, J. (1927). The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils. *Soil Science*, 23, 343–352.
- Box, G. E. P. & Cox, D. R. (1964). An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society*, 26, 211–234.
- Braun Wilke, R. H. & Guzmán, G. (2003). Evidencias, indicadores y agentes de deterioro en las tierras altas de Jujuy. En E. Abraham, D. Tomasini, y P. Maccagno (Eds.), *Desertificación. Indicadores y puntos de referencia en América Latina y Caribe* (pp. 121–129). Mendoza, Argentina: Zeta Editores.
- Braun Wilke, R. H. (1995). *Plantas de interés ganadero de Jujuy y Salta. Noroeste argentino*. San Salvador de Jujuy, Argentina: Univ. Nacional de Jujuy.
- Braun Wilke, R. H. (2001). *Carta de aptitud ambiental de la Provincia de Jujuy*. San Salvador de Jujuy, Argentina: LUKAR Centro de Impresiones.
- Brown, L. R. (2008). *PLAN B 3.0: Mobilizing to Save Civilization*. Forum American Bar Association.
- Buitrago, L. G. (2000). *El Clima de la provincia de Jujuy* (2nd ed.). San Salvador de Jujuy: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy.
- Burkart, R., Bárbaro, N. O., Sánchez, O. & Gómez, D. A. (1999). *Ecorregiones de la Argentina*. Buenos Aires: Administración de Parques Nacionales.

- Buttolph, L. P. & Coppock, D. L. (2013). Influence of deferred grazing and livestock productivity in an Andean livestock system, 41(4), 664–674.
- Cabrera, A. L. (1948). Notas sobre la vegetación de la Puna Argentina. Anales de la Academia Nacional de C.E.F. y N. de Buenos Aires, Tomo XII. Buenos Aires, Argentina.
- Cabrera, A. L. (1957). La vegetación de la Puna Argentina. Revista de Investigaciones Agrícolas, 11(4), 317–512.
- Cabrera, A. L. (1968). Ecología vegetal de la Puna. Colloquium Geographicum (Bonn), 9, 91–116.
- Cabrera, A. L. (1971). Fitogeografía de la república Argentina. Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica, 14, 1–42.
- Cabrera, A. L. (1976). Regiones fitogeográficas argentinas. En W. F. Kugler (Ed.), Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería. Tomo 2, fascículo 1 (2da. edición, pp. 1–85). Buenos Aires, Argentina: Acme.
- Cabrera, A. L., & Willink, A. W. (1983). Biogeografía de América Latina. Monografía N° 13. Washington, DC. USA: Serie Biológica, OEA.
- Cajal, J. L., García Fernández, J., & Tecchi, R. (1998). Bases para la conservación y manejo de la Puna y Cordillera Frontal de Argentina. El rol de las reservas de biósfera. Uruguay: UNESCO.
- Campbell, B. M., Gordon, I. J., Luckert, M. K., Petheram, L. & Vetter, S. (2006). In search of optimal stocking regimes in semi-arid grazing lands: One size does not fit all. Ecological Economics, 60(1), 75–85.
<http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.05.010>
- Castañeda, M. & González, A. (1991). La vegetación de la Cuenca de Pozuelos. En J. García Fernández y R. Tecchi (Eds.), La Reserva de la Biosfera Laguna de Pozuelos. Un ecosistema pastoril en los Andes Centrales (pp. 43–50). Montevideo: PER INBIAL, UNJu -UNESCO.

- Catorci, A., Cesaretti, S., Velasquez, J. L., Burrascano, S. & Zeballos, H. (2013). Management type affects composition and facilitative processes in altoandine dry grassland. *Acta Oecologica*, 52, 19–28. <http://doi.org/10.1016/j.actao.2013.06.005>
- Caughley, G. (1979). What is this thing called carrying capacity? En *North American Elk: Ecology, Behaviour and management* (pp. 2–8).
- Caziani, S. M. & Derlindati, E. J. (1999). Humedales altoandinos del noroeste de Argentina: su contribución a la biodiversidad regional. En *Tópicos sobre Humedales Subtropicales y templados de Sudamérica* (pp. 1–13).
- Cendrero, A., Díaz de Terán, J. R., Gonzalez, D., Mascitti, V., Rotondaro, R. & Tecchi, R. (1993). Environmental Diagnosis for Planning and Management in the High Andean Region: The Biosphere Reserve of Pozuelos, Argentina. *Environmental Management*, 17(5), 683–703.
- Chaneton, E. (2005). La heterogeneidad de la comunidad vegetal en diferentes escalas espaciales. En M. Oesterheld, M. R. Aguiar, C. M. Ghersa, y J. M. Paruelo (Eds.), *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando León* (pp. 19–42). Buenos Aires, Argentina: Editorial Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires.
- Cingolani, A. M., Noy-Meir, I. & Díaz, S. (2005). Grazing effects on rangeland diversity: A synthesis of contemporary models. *Ecological Applications*, 15(2), 757–773. <http://doi.org/10.1890/03-5272>
- Cingolani, A. M., Noy-Meir, I., Renison, D. D. & Cabido, M. (2008). La ganadería extensiva, ¿es compatible con la conservación de la biodiversidad y de los suelos? *Ecologia Austral*, 18, 253–271.
- Clark, C. W. (1973). The Economics of Overexploitation. *Science*, 181, 630–634.
- Clements, F. E. (1916). *Plant Succession: An Analysis of the Development of Vegetation*. Washington, D.C.: Carnegie Institution of Washington.

- Coe, M. J., Cumming, D. H. & Phillipson, J. (1976). Biomass and production of large African herbivores in relation to rainfall and primary production. *Oecologia*, 22(4), 341–354. <http://doi.org/10.1007/BF00345312>
- Conrad, O. (2006). SAGA – Program Structure and Current State of Implementation. En J. Böhner, K. R. McCloy, y J. Strobl (Eds.), *SAGA – Analysis and Modelling Applications* (p. 115: 39-52.). Göttinger Geographische Abhandlungen.
- Conti, M. E., & Giuffrè, L. (2011). *Edafología, bases y aplicaciones ambientales argentinas* (1ra edición). Buenos Aires, Argentina: Editorial Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires.
- Cooke, R. S. C., Woodfine, T., Petretto, M. & Ezard, T. H. G. (2016). Resource partitioning between ungulate populations in arid environments. *Ecology and Evolution*, 6(17), 6354–6365. <http://doi.org/10.1002/ece3.2218>
- Crawley, M. J. (2007). *The R book*. Journal of the American Statistical Association. London: Wiley. <http://doi.org/10.1198/016214502760047131>
- Custred, G. (1979). Hunting technologies in Andean culture. *Journal de La Société Des Américanistes*, 66(1), 7–19. <http://doi.org/10.3406/jsa.1979.2168>
- De Vos, A. (1969). Ecological conditions affecting the production of wild herbivorous mammals on grassland. *Advances in Ecological Research* Vol. 6, 137–182.
- Detling, J. K. (1988). Grassland and savannas: regulation of energy flow and nutrient cycling by herbivores. En L. R. Pomeroy y J. J. Alberts (Eds.), *Concepts of ecosystem ecology* (pp. 131–148). New York: Springer-Verlag.
- Dhont, A. A. (1988). Carrying capacity: a confusing concept. *Acta Oecologica*, 9(4), 337–346.
- Dregne, H. E. (1976). Desertification: symptom of a crisis. En P. Reining (Ed.), *Handbook on Desertification Indicators based on the Science Association's Nairobi Seminar on Desertification* (p. 141). Washington, D.C.: AAAS.

Dulphy, J. P., Dardillat, C., Jailler, M. & Ballet, J. M. (1997). Comparative study of forestomach digestion in llamas and sheep. *Reproduction, Nutrition, Development*, 37(6), 709–25. <http://doi.org/S0926528797824446> [pii]

Echenique, M., Echenique, J., Fava, R., Alcoba, D. & Quiroga Mendiola, M. (2015). La producción y comercialización de carne de la agricultura familiar en la Puna jujeña. (G. E. López, M. C. Vittar, y M. Echenique, Eds.). Ediciones INTA.

Ellis, J. E. & Swift, D. M. (1988). Stability of African Pastoral Ecosystems: Alternate Paradigms and Implications for Development. *Journal of Range Management*, 41(6), 450–459. <http://doi.org/10.2307/3899515>

Eltringham, S. K. (1979). The ecology and conservation of large African mammals. London (UK) Macmillan Press.

FAO/LADA. (2011). Evaluación de la Desertificación en Argentina. Resultados del Proyecto LADA/FAO.

FAO/UNEP. (1984). Provisional methodology for assessment and mapping of desertification. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, United Nations Environmental Programme.

Farfan, R., Fierro, L. C., Huisa, T., Rosales, A. & Bryant, F. C. (1986). Consumo voluntario de forraje de llamas (*Lama glama*) en pastoreo en un pastizal andino del Sur del Perú. En L. C. Fierro y R. Farfan (Eds.), *Investigación sobre pastos y forrajes de Texas Tech University en el Perú*, artículo técnico T-9-468 (pp. 89–98). Lubbock.

Fernández, R. J., Sala, O. E. & Golluscio, R. A. (1991). Woody and herbaceous aboveground production of a Patagonian steppe. *Journal of Range Management*, 44(5), 434–437.

Flombaum, P. & Sala, O. E. (2007). A non-destructive and rapid method to estimate biomass and aboveground net primary production in arid environments. *Journal of Arid Environments*, 69(2), 352–358. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.09.008>

Flores Ochoa, J. A. (1982). Causas que originaron la actual distribucibn espacial de las alpacas y llamas. En (L. Millones & H. Tomoeda, Eds), *El hombre y su ambiente*

en los Andes Centrales. Osaka: National Museum of Ethnology, Semi Ethnological Studies 10, 63-92.

Flores Ochoa, J. A., Portús Pérez, J. & MacQuarrie, K. (Eds.). (1994). Modern day herders: an Andean legacy continues. En *Gold of the Andes: The llamas, alpacas, vicuñas and guanacos of South America* (pp. 101–193). Barcelona.

Fowler, M. E. (1989). *Medicine and surgery of South American camelids*. Iowa: Iowa State University Press.

Frank, D. A. & McNaughton, S. J. (1992). The ecology of plants, large mammalian herbivores, and drought in Yellowstone National Park. *Ecology*, 73(6), 2043–2058.

Fritz, H. & Duncan, P. (1994). On the carrying capacity for large ungulates of African savanna ecosystems. *Proceedings. Biological Sciences/The Royal Society*, 256(1345), 77–82. <http://doi.org/10.1098/rspb.1994.0052>

García, E. E. & Beck, S. G. (2006). Puna. En *Botánica económica de los Andes centrales* (pp. 51–76).

Genin, D. & Alzérreca, H. A. (2006). Campos nativos de pastoreo y producción animal en la puna semiárida y árida andina. *Sécheresse*, 17, 265–274.

Genin, D., Abasto, P. & Tichit, M. (1995a). Uso de los recursos forrajeros por llamas y ovinos. En ORTOM, CONPAC, y IBTA (Eds.), *Wayra Pampa. Un sistema pastoril camélidos-ovinos del altiplano árido boliviano* (pp. 131–143). La Paz, Bolivia.

Genin, D., Picht, H.-J., Lizarazu, R. & Rodriguez, T. (1995b). *Waira Pampa. Un sistema pastoril camélidos-ovinos del altiplano árido boliviano*. (ORTOM, CONPAC, y IBTA, Eds.). La Paz, Bolivia.

Genin, D., Villca, Z. & Abasto, P. (1994). Diet selection and utilization by llama and sheep in a high altitude-arid rangeland of Bolivia. *Journal of Range Management*, 47, 245–248.

Gibson, D. J. (2009). *Grasses and grassland ecology*. Oxford: Oxford University Press.

- Göbel, B. (2001). El ciclo anual de la producción pastoril en Huancar (Jujuy, Argentina). En G. Mengoni Goñalons, D. Olivera, y H. D. Yacobaccio (Eds.), *El uso de los camélidos a través del tiempo* (pp. 91–115). Buenos Aires: GZC/Del Tridente.
- Göbel, B. (2002). La arquitectura del pastoreo: Uso del espacio y sistema de asentamientos en la Puna de Atacama (Susques). *Estudios Atacameños*, 23, 53–76. <http://doi.org/10.4067/S0718-10432002002300005>
- Goirán, S. B., Aranibar, J. N. & Gomez, M. L. (2012). Heterogeneous spatial distribution of traditional livestock settlements and their effects on vegetation cover in arid groundwater coupled ecosystems in the Monte Desert (Argentina). *Journal of Arid Environments*, 87, 188–197. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.07.011>
- Golluscio, R. A. (2009). Receptividad ganadera: Marco teórico y aplicaciones prácticas. *Ecología Austral*, 19(3), 215–232.
- Golluscio, R. A., Deregibus, V. A. & Paruelo, J. M. (1998). Sustainability and range management in the Patagonian steppes. *Ecología Austral*, 8(1), 265–284.
- Guber, S. (2001). La etnografía, método, campo y reflexividad. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). Bogotá: Grupo Editorial Norma. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Guevara, J. C., Estevez, O. R. & Torres, E. R. (1996). Utilization of the rain-use efficiency factor for determining potential cattle production in the Mendoza plain, Argentina. *Journal of Arid Environments*, 33(3), 347–353. <http://doi.org/10.1006/jare.1996.0070>
- Guevara, J. C., Gonnet, J. M. & Estevez, O. R. (2002). Biomass estimation for native perennial grasses in the plain of Mendoza, Argentina. *Journal of Arid Environments*, 50(4), 613–619. <http://doi.org/10.1006/jare.2001.0915>
- Helldén, U. (1991). Desertification-Time for an Assessment? *Ambio*, 20(8), 372–383.
- Hierro, J. L., Branch, L. C., Villarreal, D. & Clark, K. L. (2000). Predictive equations for biomass and fuel characteristics of Argentine shrubs. *Journal of Range Management*, 53(6), 617–621.

- Hill, D., Fasham, M., Tucker, G., Shewry, M. & Shaw, P. (2005). Handbook of Biodiversity Methods. Handbok of Biodiversity Methods. Cambridge, UK: Cambridge University Press. <http://doi.org/10.1017/CBO9780511542084>
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 25(3), 295–309. [http://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](http://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- IGN. (2013). Instituto Geográfico Nacional. Base de datos actualizada.
- Illius, A. W. & Gordon, I. J. (1992). Modelling the nutritional ecology of ungulate herbivores: evolution of body size and competitive interactions. Oecologia, 89(3), 428–434. <http://doi.org/10.1007/BF00317422>
- Illius, A. W. & O'Connor, T. G. (1999). On the relevance of nonequilibrium concepts to arid and semiarid grazing systems. Ecological Applications, 9(3), 798–813.
- Illius, A. W. & O'Connor, T. G. (2000). Resource heterogeneity and ungulate population dynamics. Oikos, 89(2), 283–294. <http://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2000.890209.x>
- INDEC. (2008). Censo Nacional Agropecuario 2008.
- INDEC. (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.
- Isacks, B. L. (1988). Uplift of the Central Andean Plateau and bending of the Bolivian orocline. Journal of Geophysical Research, 93(B4), 3211–3231. <http://doi.org/10.1029/JB093iB04p03211>
- Jackson, M. L. (1982). Análisis químico de suelos (Cuarta). Barcelona: Omega.
- Kiesling, R., Pérez Moreau, A., Pontiroli, A. & Zuloaga, F. O. (1983). Flora de la Provincia de Jujuy. Buenos Aires, Argentina: Colecciones Científicas INTA.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift, 15(3), 259–263. <http://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>

Laker, J., Baldo, J., Arzamendia, Y. & Yacobaccio, H. D. (2006). La vicuña en los Andes. En B. Vilá (Ed.), *Investigación, conservación y manejo de vicuñas* (pp. 37–50). Buenos Aires: Proyecto MACS-Argentina.

Lamas, H. E. (2012). Importancia actual e histórica de la ganadería de altura. En D. Rosinblit (Ed.), *Mapa de Desarrollo de Jujuy* (Primera, pp. 355–418). Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Economía y Finanzas Públicas.

Le Houerou, H. N. & Hoste, C. H. (1977). Rangeland Production and Annual Rainfall Relations in the Mediterranean Basin and in the African Sahelo-Sudanian Zone. *Journal of Range Management*, 30(3), 181–189. <http://doi.org/10.2307/3897463>

Le Houerou, H. N. (1980). The rangelands of the Sahel. *Journal of Range Management*, 33(1), 41–46.

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. & Chipman, J. W. (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation* (5th ed.). New York: Wiley. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Lupo, L. C., Braun Wilke, R. H., Guzmán, G. F., Villafañe, B. S. & Kulemeyer, J. J. (2008). Correlación entre vegetación, deterioro ambiental y registro paleoambiental en sectores de alta montaña. Provincia de Jujuy. Noroeste Argentino. *Agraria. Revista Científica de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 3(10), 41–55.

Maldonado Fonkén, M. S. (2014). An introduction to the bofedales of the Peruvian High Andes. *Mires and Peat*. International Mire Conservation Group and International Peat Society, 1–13.

Marín García, M. L., Revuelta, P. A. & Benito, C. G. (2002). *Análisis químico de suelos y aguas: manual de laboratorio*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Marsett, R. C., Qi, J., Heihnan, P., Biedenbender, S. H., Watson, M. C., Amer, S., Marsett, R. (2006). Remote Sensing for Grassland Management in the Arid Southwest. *Rangeland Ecology y Management*, 59(5), 530–540.

Martínez, M. Z. (1965). Programa Andino de la Provincia de Jujuy: Argentina - (misión). La Quiaca, Jujuy.

Matteucci, S. & Colma, A. (1982). Metodología para el estudio de la vegetación. Serie de biología. Washington, DC. USA: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos.

Mazzarino, M. J., Bertiller, M. B., Sain, C. L. & Laos, F. (1996). Spatial patterns of nitrogen availability, mineralization, and immobilization in northern Patagonia, Argentina. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 10(4), 295–309. <http://doi.org/10.1080/15324989609381445>

McClaran, M. P., McMurtry, C. R. & Archer, S. R. (2013). A tool for estimating impacts of woody encroachment in arid grasslands: Allometric equations for biomass, carbon and nitrogen content in *Prosopis velutina*. *Journal of Arid Environments*, 88, 39–42. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.08.015>

McLeod, S. R. (1997). Is the concept of carrying capacity useful in variable environments? *Oikos*, 79(3), 529–542. <http://doi.org/10.2307/3546897>

McNaughton, S. J. (1976). Serengeti migratory wildebeest: facilitation of energy flow by grazing. *Science*, 191(4222), 92–94. <http://doi.org/10.1126/science.191.4222.92>

McNaughton, S. J., Oesterheld, M., Frank, D. A. & Williams, K. J. (1989). Ecosystem-level patterns of primary productivity and herbivory in terrestrial habitats. *Nature*, 341(6238), 142–144.

Milchunas, D. G., Sala, O. E. & Lauenroth, W. K. (1988). A Generalized Model of the Effects of Grazing by Large Herbivores on Grassland Community Structure. *The American Naturalist*. <http://doi.org/10.1086/284839>

Momo, F. R. & Capurro, A. F. (2006). Ecología matemática: principios y aplicaciones. Buenos Aires: Ediciones Cooperativas.

Montero, R. G. (2004). Población, medio ambiente y economía en la Puna de Jujuy, Argentina, siglo XIX. *Revista de Demografía Histórica*, XXII (I), 185–208.

Morales, M. R. (2011). Arqueología ambiental del Holoceno Temprano y Medio en la Puna Seca Argentina. En BAR International Series 2295 (p. 280).

Morón, E., Alzérreca, H. A. & Genin, D. (1992). Caracterización de un campo nativo de pastoreo en el Altiplano árido de Oruro. En Memorias XI Reunión Asociación Boliviana de Producción Animal (pp. 21–23). Oruro, Bolivia.

Muñoz García, M. A., & Faz Cano, A. (2012). Soil organic matter stocks and quality at high altitude grasslands of Apolobamba, Bolivia. *Catena*, 94, 26–35. <http://doi.org/10.1016/j.catena.2011.06.007>

Muñoz García, M. A., Faz Cano, A. & Zornoza, R. (2013). Carbon stocks and dynamics in grazing highlands from the Andean Plateau. *Catena*, 104, 136–143. <http://doi.org/10.1016/j.catena.2012.11.001>

Muñoz, A. E. & Bonacic, C. (2006). Variación estacional de la flora y vegetación en la precordillera andina de la comuna de Putre. Periodo 2002-2003. *Gayana Botánica*, 63(1), 75–92. <http://doi.org/10.4067/S0717-66432006000100003>

Muñoz, M. A., Faz, A., Acosta, J. A., Martínez-Martínez, S. & Zornoza, R. (2015). Effect of South American grazing camelids on soil fertility and vegetation at the Bolivian Andean grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 207, 203–210. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.005>

Nafus, A. M., McClaran, M. P., Archer, S. R. & Throop, H. L. (2009). Multispecies allometric models predict grass biomass in semidesert rangeland. *Rangeland Ecology y Management*, 62(1), 68–72. <http://doi.org/10.2111/08-003>

Nakamatsu, V., Escobar, J. M. & Elissalde, N. (2001). Evaluación forrajera de pastizales naturales de estepa en establecimientos ganaderos de la provincia de Chubut (Patagonia, Argentina): resultados de 10 años de trabajo. En FAO, INTA, y INIA (Eds.), *Resúmenes del Taller de actualización sobre métodos de evaluación, monitoreo y recuperación de pastizales naturales patagónicos*. Esquel.

Navarro Blaya, S. & Navarro García, G. (2003). *Química agrícola*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Navarro, G. (1993). Vegetación de Bolivia: el Altiplano meridional. Rivasgodaya, 7, 69–98.

Navone, S. M., Bargiela, M., Maggi, A. & Movia, C. P. (2006). Indicadores biofísicos de desertificación en el noroeste argentino: desarrollo metodológico. En E. M. Abraham y G. Beekman (Eds.), Indicadores de la Desertificación para América del Sur (pp. 103–111). Mendoza, Argentina: IICA-BID.

Niamir-Fuller, M., Kerven, C., Reid, R. & Milner-Gulland, E. (2012). Co-existence of wildlife and pastoralism on extensive rangelands: competition or compatibility? *Pastoralism: Research, Policy and Practice*, 2(1), 8. <http://doi.org/10.1186/2041-7136-2-8>

Nielsen, M. O., Kiani, A., Tejada, E., Chwalibog, A. & Alstrup, L. (2014). Energy metabolism and methane production in llamas, sheep and goats fed high- and low-quality grass-based diets. *Archives of Animal Nutrition*, 68(3), 171–185. <http://doi.org/10.1080/1745039X.2014.912039>

Novara, L. J. (2003). Catálogo de la flora de la Puna del Noroeste Argentino. *Aportes Botánicos Salta. Serie Misceláneas*, 2, 1–56.

Noy-Meir, I. (1973). Desert Ecosystems: Environment and Producers. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1), 25–51. <http://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000325>

Noy-Meir, I. (1975). Stability of grazing systems: an application of predator-prey graphs. *The Journal of Ecology*, 63(2), 459–481. <http://doi.org/10.2307/2258730>

Núñez, L., Grosjean, M. & Cartajena, I. (2010). Sequential analysis of human occupation patterns and resource use in the Atacama Desert. *Chungará, Revista de Antropología Chilena*, 42(2), 363–391. <http://doi.org/10.4067/S0717-73562010000200003>

Observatorio Nacional de Biodiversidad. (2014). Humedales de la República Argentina.

- Odum, E. P. & Warrett, G. W. (2006). *Fundamentos de Ecología* (5a. edición). Thompson. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Oosterheld, M., Sala, O. E. & McNaughton, S. J. (1992). Effect of animal husbandry on herbivore-carrying capacity at a regional scale. *Nature*, 356(6366), 234–236.
- Oliveras, I., van der Eynden, M., Malhi, Y., Cahuana, N., Menor, C., Zamora, F. & Haugaasen, T. (2014). Grass allometry and estimation of above-ground biomass in tropical alpine tussock grasslands. *Austral Ecology*, 39(4), 408–415. <http://doi.org/10.1111/aec.12098>
- Orlove, B. (1977). *Alpacas, sheep and men*. London: Academic Press.
- Osborne, J. W. (2010). Improving your data transformations : Applying the Box-Cox transformation. *Practical Assessment, Research y Evaluation*, 15(12), 1–9.
- Panigatti, J. L. (2010). *Argentina: 200 años, 200 suelos*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones INTA.
- Pauchard, A. & Alaback, P. B. (2004). Influence of elevation, land use, and landscape context on patterns of alien plant invasions along roadsides in protected areas of South-Central Chile. *Conservation Biology*, 18(1), 238–248.
- Paz, R., Sossa Valdez, F., Lamas, H. E., Echazu, F. & Califano, L. (2011). *Diversidad, mercantilización y potencial productivo de la Puna jujeña (Argentina)*. Abra Pampa: Ediciones INTA.
- Pietragalla, V., Corso, M. L., Cueva, J., Maccagno, P., Therburg, A., Abraham, E. M., Román, M. (2013). Institucionalización del Monitoreo de la Desertificación en la Argentina: Diseño e Implementación del Observatorio Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación. En 2nd Scientific Conference UNCCD (pp. 133–134).
- PROSAP. (2012). *Estrategia Provincial para el Sector Agroalimentario-EPsA-provincia de Jujuy*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Pucheta, E., Ferrero, E., Heil, L. & Schneider, C. (2004). Modelos de regresión para la estimación de la biomasa aérea en un pastizal de montaña de Pampa de Achala (Córdoba, Argentina). *Agriscientia*, XXI(1), 23–30.

Quantum GIS Development Team. (2013). Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>. Open Source Geospatial Foundation Project.

Quinn, G. P. & Keough, M. J. (2002). Experimental design and data analysis for biologists. <http://doi.org/10.1017/CBO9780511806384>

R Core Team. (2015). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

Rabinovich, J. E., Capurro, A. F. & Pessina, L. L. (1991). Vicuña use and the bioeconomics of an Andean peasant community in Catamarca, Argentina. En J. G. Robinson y K. H. Redford (Eds.), *Neotropica wildlife use and conservation* (pp. 337–359). Chicago University Press.

Rapp, A. (1974). A Review of Desertization in Africa: Water, Vegetation and Man. Secretariat for International Ecology, Stockholm: Secretariat for International Ecology.

Reboratti, C. (2003). La Quebrada. Geografía, Historia y Ecología de la Quebrada de Humahuaca. Editorial La Colmena.

Red List IUCN. (2008). *Vicugna vicugna*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008. [Http://www.iucnredlist.org/details/22956/0](http://www.iucnredlist.org/details/22956/0)

Renaudeau d’Arc, N., Cassini, M. H. & Vilá, B. L. (2000). Habitat use by vicuñas *Vicugna vicugna* in the Laguna Blanca Reserve (Catamarca, Argentina). *Journal of Arid Environments*, 46(2), 107–115. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1006/jare.2000.0662>

Reynolds, J. F. & Stafford Smith, D. M. (2002). Do Humans Cause Deserts? En J. F. Reynolds y D. M. Stafford Smith (Eds.), *Global desertification: do humans cause deserts?* (pp. 1–21). Berlin: Dahlem University Press.

- Rice, D. S. (1993). Late intermediate period domestic architecture and residential organization at El Yaral, Peru. En M. S. Aldenderfer (Ed.), *Andean Domestic Architecture* (pp. 66–82). Iowa: University of Iowa Press.
- Rocca, E. O. (1984). Estudio de suelos de la Puna Jujeña-2da parte. San Salvador de Jujuy, Argentina: OEA- FCA Universidad Nacional de Jujuy.
- Roe, E. M. (1997). Viewpoint: On rangeland carrying capacity. *Journal of Range Management*, 50(5), 467–472. <http://doi.org/10.2307/4003700>
- Rojo, V. (2015). Aplicación de un SIG para el análisis espacial de la distribución de vicuñas silvestres en un sector de la Cuenca de la Laguna de los Pozuelos, Jujuy. Trabajo final carrera Especialización en Teledetección y SIG Aplicados al Estudio del Medio Ambiente. Universidad Nacional de Luján.
- Rojo, V., Arzamendia, Y. & Vilá, B. L. (2012). Uso del hábitat por vicuñas (*Vicugna vicugna*) en un sistema agropastoril en Suripujio, Jujuy. *Mastozoología Neotropical*, 19(1), 127–138.
- Ruthsatz, B. & Movia, C. (1975). Relevamiento de las estepas andinas del noroeste de la Provincia de Jujuy. Buenos Aires: Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Ruthsatz, B. (2012). Vegetation and ecology of the high Andean peatlands of Bolivia. *Phytocoenologia*, 42(3–4), 133–179. <http://doi.org/10.1127/0340-269X/2012/0042-0535>
- Sakai, A. K., Allendorf, F. W., Holt, J. S., Lodge, D. M., Molofsky, J., With, K. A., Weller, S. G. (2001). The population biology of invasive species. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32, 305–332. <http://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114037>
- Sala, O. E. & Austin, A. T. (2000). Methods of estimating aboveground net primary productivity. En O. E. Sala, R. B. Jackson, H. A. Mooney, y R. H. Howarth (Eds.), *Methods in Ecosystem Science* (pp. 31–43). New York: Springer.

- Sala, O. E., Golluscio, R. A., Lauenroth, W. K. & Roset, P. A. (2012). Contrasting nutrient-capture strategies in shrubs and grasses of a Patagonian arid ecosystem. *Journal of Arid Environments*, 82, 130–135. <http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.02.015>
- Sala, O. E., Parton, W. J., Joyce, L. A. & Lauenroth, W. K. (1988). Primary production of the central grassland region of the United States. *Ecology*, 69(1), 40–45. <http://doi.org/10.2307/1943158>
- San Martín, F. (1987). Comparative forage selectivity and nutrition of South American camelids and sheep. Texas Tech University.
- Scarnecchia, D. L. (1990). Concepts of carrying capacity and substitution ratios : a systems viewpoint. *Journal of Range Management*, 43(November), 553–555. <http://doi.org/10.2307/4002363>
- Scarnecchia, D. L. (1998). Viewpoint on objectives, boundaries and rangeland carrying capacity. *Journal of Range Management*, 51(July), 1998–1999.
- Schowengerdt, R. A. (2007). *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing* (3rd edición). Elsevier. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.10.007>
- Schwinning, S. & Parsons, A. J. (1999). The stability of grazing systems revisited: Spatial models and the role of heterogeneity. *Functional Ecology*, 13(6), 737–747. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1999.00382.x>
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. (2010). Cuarto informe nacional para la conferencia de las partes del Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB).
- Servicio Meteorológico Nacional. (2007). Estadísticas clima La Quiaca.
- Squeo, F., Warner, B., Aravena, R. & Espinoza, D. (2006). Bofedales: high altitude peatlands of the central Andes. *Revista Chilena de Historia Natural*, 79, 245–255.
- Stoddart, L. A. & Smith, A. D. (1955). *Range management*. New York: McGraw-Hill Book Company Inc.

- Sullivan, S. & Rohde, R. (2002). On non-equilibrium in arid and semi-arid grazing systems. *Journal of Biogeography*, 29(12), 1595–1618.
- t'Mannetje, L. (2000). Measuring Biomass of Grassland Vegetation. En L. t'Mannetje y R. Jones (Eds.), *Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research* (pp. 151–177). CABI Publishing.
- Talamo, A., Tolaba, J., Trucco, C. & Acuña, E. (2010). Unidades de vegetación composición florística en sectores del Altiplano del noroeste de Argentina. I. Ambientes de estepas. *Ecología en Bolivia*, 45(1), 419.
- Tapia Núñez, M. E. & Flores Ochoa, J. A. (1984). Pastoreo y pastizales de los Andes del Sur del Perú. Lima, Perú: Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria.
- Tecchi, R. & García Fernández, J. (1998). La frontera agropecuaria en un humedal del altiplano argentino. En J. L. Cajal, J. García Fernández, & R. Tecchi (Eds.), *Bases para la conservación y manejo de la Puna y Cordillera Frontal* (pp. 257–272). Montevideo, Uruguay: UNESCO.
- Tecchi, R. (1991). Los ecosistemas puna y suni en la cuenca de la laguna de Pozuelos. En J. García Fernández & R. Tecchi (Eds.), *Reserva de la Biosfera Laguna de Pozuelos: Un ecosistema pastoril en los Andes Centrales*. Montevideo, Uruguay: Univ. Nacional de Jujuy. UNESCO-MAB.
- Tichit, M. & Genin, D. (1997). Factors affecting herd structure in a mixed camelid-sheep pastoral system in the arid Puna of Bolivia. *Journal of Arid Environments*, 36(1), 167–180. <http://doi.org/10.1006/jare.1996.0154>
- UNCCD. (1994). United Nations Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought And/or Desertification, Particularly in Africa (pp. 1–58). <http://doi.org/Accessed online: http://www.unccd.int/convention/menu.php>
- UNCOD A/CONF. (1977). Plan of action to stop desertification. En *Report on the UN Conference on Desertification in Nairobi*.

US Salinity Laboratory. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils. (L. A. Richards, Ed.) Soil Science Society of America Journal. Washington, D.C.: US Department of Agriculture.
<http://doi.org/10.2136/sssaj1954.03615995001800030032x>

Vallentine, J. F. (2000). Grazing Management (2nd Editio). Springfield, Utah: Academic Press.

van der Maarel, E. (2007). Transformation of cover-abundance values for appropriate numerical treatment – Alternatives to the proposals by Podani. Journal of Vegetation Science, 18, 767–770. <http://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2007.tb02592.x>

Verón, S. R., Paruelo, J. M. & Oesterheld, M. (2006). Assessing desertification. Journal of Arid Environments, 66(4), 751–763.
<http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.01.021>

Vesey-Fitzgerald, D. F. (1960). Grazing succession among East African game animals. Journal of Mammalogy, 41(2), 161–172.

Vetter, S. (2005). Rangelands at equilibrium and non-equilibrium: Recent developments in the debate. Journal of Arid Environments, 62(2), 321–341.
<http://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.11.015>

Vilá, B. L. (2012). Camélidos Sudamericanos. Buenos Aires: EUDEBA.

Vilá, B. L. (2014). Una aproximación a la etnozoología de los camélidos andinos. Etnoecológica, 10(2), 43–58.

Vilá, B. L., Arzamendia, Y. & Baldo, J. (2012). Plan de Manejo Local: “Conservación y uso sustentable de vicuñas silvestres (*Vicugna vicugna vicugna*) en campos de la Cooperativa de Productores Agroganaderos de Santa Catalina. Colaboradores: Yacobaccio, H., Rojo, V. y Borgia, M. Pp. 176. Presentado ante la Dirección Provincial de Biodiversidad, Secretaria de Gestión Ambiental de la Provincia de Jujuy, y aprobado por Res. No 122/2012-DPB.

- Vilá, B. L., Arzamendia, Y. & Baldo, J. (2013). Plan de Manejo Local: “Conservación y uso sustentable de vicuñas silvestres (*Vicugna vicugna vicugna*) en campos de la Cooperativa de productores agroganaderos de Santa Catalina”. Actividades planificadas para el 2013. Presentado a la Dirección de Biodiver.
- Vilá, B. L., Bonacic, C., Arzamendia, Y., Wawrzyk, A. C. & Lamas, H. E. (2004). Captura y esquila de vicuñas en Cieneguillas. *Ciencia Hoy*, 80, 44–55.
- Vorano, A. E. & Vargas Gil, J. R. (2002). Evaluación de la situación actual de los procesos de Desertificación de la Puna Salto-Jujeña. Salta: INTA.
- Walkley, A. (1947). A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soil-Effect of variations in digestion conditions and inorganic soil constituents. *Soil Science*, 63, 251–263.
- Wawrzyk, A. C. & Vilá, B. L. (2013). Dinámica de pastoreo en dos comunidades de la Puna de Jujuy, Argentina: Lagunillas del Farallon y Suripujio. *Revista de Antropología Chilena*, 45(2), 349–362. <http://doi.org/10.4067/S0717-73562013000200001>
- Weberbauer, A. (1945). El mundo vegetal de los Andes peruanos: estudio fitogeográfico. Nueva ed., rev. y ampliada, de *Die Pflanzenwelt der peruanischen Anden*. Estación Experimental Agrícola de la Molina, Dirección de Agricultura, Ministerio de Agricultura.
- Westoby, M., Walker, B. & Noy-meir, I. (1989). Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *Journal of Range Management*, 42(4), 266–274.
- Wezel, A., Rajot, J.-L. & Herbrig, C. (2000). Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agro-ecosystems in semi-arid Niger. *Journal of Arid Environments*, 44, 383–398. <http://doi.org/doi:10.1006/jare.1999.0609>
- Wheeler, J. C. & Hoces, D. (1997). Community participation, sustainable use, and vicuña conservation in Peru. *Mountain Research and Development*, 17, 283–287.

Wheeler, J. C. (2006). Historia natural de la vicuña. En B. L. Vilá (Ed.), Investigación, conservación y manejo de vicuñas (pp. 25–35). Buenos Aires, Argentina: Proyecto MACS-Argentina.

Wheeler, J. C., Russel, A. J. F. & Redden, H. (1995). Llamas and Alpacas: Pre-conquest breeds and post-conquest hybrids. *Journal of Archaeological Science*, 22(6), 833–840. [http://doi.org/10.1016/0305-4403\(95\)90012-8](http://doi.org/10.1016/0305-4403(95)90012-8)

Wheeler, J. C., Russel, A. J. F. & Stanley, H. F. (1992). A measure of loss: prehispanic llama and alpaca breeds. *Archivos de Zootecnia*, 41(154), 467–475.

Wiens, J. A. (1989). Spatial scaling in ecology. *British Ecological Society*, 3(4), 385–397. <http://doi.org/10.2307/2389612>

Wrobel, M. L. & Redford, K. H. (2009). Introduction: A Review of Rangeland Conservation Issues in an Uncertain Future. *Wild Rangelands: Conserving Wildlife While Maintaining Livestock in Semi-Arid Ecosystems*, 1–12. <http://doi.org/10.1002/9781444317091.ch1>

Yacobaccio, H. D. & Morales, M. R. (2011). Ambientes pleistocénicos y ocupación humana temprana en la Puna Argentina. *Boletín de Arqueología PUCP*, (15), 337–356.

Yacobaccio, H. D. & Vilá, B. L. (2016). A model for llama *Lama glama* domestication. *Anthropozoologica*, en prensa.

Yacobaccio, H. D. (2001). Cazadores complejos y domesticación de camélidos. En G. L. Mengoni Goñalons, D. E. Olivera & H. D. Yacobaccio (Eds.), *El uso de los camélidos a través del tiempo* (pp. 261–282). Buenos Aires, Argentina: GZC/ICAZ.

Yacobaccio, H. D. (2007). Andean camelid herding in the South Andes: ethnoarchaeological models for archaeozoological research. *Anthropozoologica*, 2(42), 143–154.

Yacobaccio, H. D. (2009). The historical relationship between people and the vicuña. En I. J. Gordon (Ed.), *The vicuña, the theory and practice of community-based wildlife management* (pp. 7–20). Townsville, Australia: Springer.

Zuloaga, F. O. & Belgrano, M. (2015). The Catalogue of Vascular Plants of the Southern Cone and the Flora of Argentina: their contribution to the World Flora. *Rodriguésia*, 66, 989–1024.

Zuloaga, F. O., Rugolo, Z. E. & Anton, A. M. (2012a). Flora vascular de la República Argentina. Poaceae, Volumen 3, Tomo I. Buenos Aires, Argentina: Graficamente Ediciones.

Zuloaga, F. O., Rugolo, Z. E. & Anton, A. M. (2012b). Flora vascular de la República Argentina. Pooideae, Volumen 3, Tomo II. Buenos Aires, Argentina: Graficamente Ediciones.